

*Agata Czarnigowska\*, Anna Sobotka\*\**

## METODA PLANOWANIA I KONTROLOWANIA REALIZACJI PRZEDSIĘWZIĘĆ BUDOWLANYCH: STUDIUM PRZYPADKU

---

### 1. Wstęp

Podczas wykonywania robót budowlanych zwykle następuje dezaktualizacja planów (terminowych i kosztowych) i zachodzi konieczność oceny stanu zaawansowania budowy oraz zastosowania działań naprawczych. Kontrola i ocena zaawansowania przedsięwzięcia w odniesieniu do planowanych terminów i kosztów dokonywana jest zwykle cyklicznie lub w określonych terminach.

Zadaniem realizatora przedsięwzięcia jest jego wykonanie zgodnie z warunkami kontraktu dotyczącymi jakości obiektu, terminów wykonania i kosztów. Z uwagi na specyfikę warunków, w jakich odbywa się realizacja przedsięwzięcia budowlanego i występowanie różnego rodzaju sytuacji nieprzewidzianych (ryzyk), których źródła i skutki należy eliminować, efektywne zarządzanie wymaga nieustannego monitorowania przebiegu procesów budowlanych oraz podejmowania właściwych decyzji i ich wdrażania. Interwencja dokonywana w trakcie trwania procesu, z możliwością wykorzystywania bieżących obserwacji, w tym właściwego reagowania na zmiany w otoczeniu, stanowi istotę sterowania. Przy czym takie celowe oddziaływanie na procesy budowlane – gospodarcze, leży w gestii „układu sterującego” – decydenta, którym jest kierownik (zarządzający) budowy. Zwłaszcza faza wykonania robót budowlanych podlega sterowaniu lub raczej – zarządzaniu operacyjnemu na szczeblu kierownictwa budowy. Decyzje (zmienne sterujące) na placu budowy mogą być wyznaczane w sposób intuicyjny, ale także w trudniejszych, złożonych przypadkach – według usystematyzowanych działań, na podstawie wypracowanych procedur, sposobów, metod, koncepcji, teorii. Do zarządzania budową i sterowania procesami budowlanymi opracowane zostały i są dostępne różnorodne metody i systemy informacyjne wspomagające pracę menedżerów (kierowników) budowy.

---

\* Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury

\*\* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

Celem artykułu jest zaprezentowanie metody wspomagającej zarządzanie operacyjne budowy, która wykorzystuje harmonogramy oparte na modelach sieciowych oraz metodę kontroli postępu robót i budżetu zwaną *Earned Value EV*, a także jej rozwinięcie *Earned Schedule ES*. Obliczone wskaźniki metod *ES* i *EV*, po ich interpretacji, pozwalają na podjęcie decyzji odnośnie do dalszego przebiegu budowy. Zaproponowany sposób postępowania zastosowano w praktyce.

## 2. Opis metody wspomagania zarządzania budową

### 2.1. Etapy postępowania

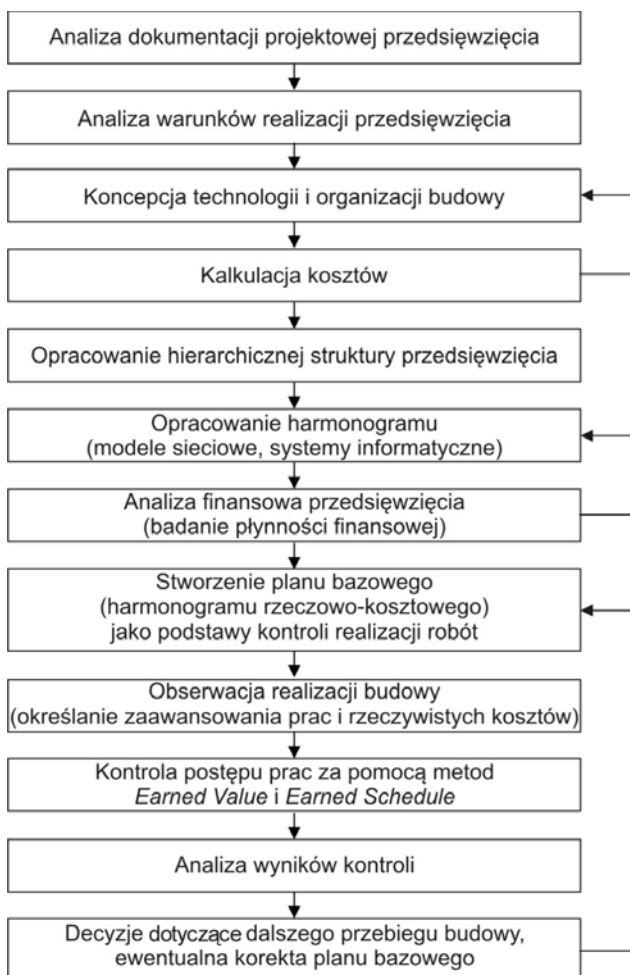
Proponowana metoda wspomagania zarządzania obejmuje następujące etapy (rys. 1.):

- 1) opracowanie koncepcji organizacji budowy na podstawie analizy warunków i analizy dokumentacji projektowej;
- 2) opracowanie kalkulacji kosztów (kosztorysu) uwzględniającej technologie i organizację robót budowlanych;
- 3) utworzenie hierarchicznej struktury realizacji przedsięwzięcia (podział na zadania i procesy budowlane), określenie, na którym poziomie struktury będzie prowadzona ocena postępu robót i kontrola budżetu przedsięwzięcia;
- 4) opracowanie harmonogramu budowy za pomocą systemu np. programu Planista;
- 5) analiza płynności finansowej przedsięwzięcia uwzględniająca umowne warunki płatności w celu ustalenia, czy możliwe będzie finansowanie przedsięwzięcia ze środków własnych, czy konieczne będzie pozyskanie kapitału z zewnątrz;
- 6) określenie, na podstawie obserwacji przebiegu realizacji budowy, stopnia zaawansowania prac; niezbędne jest również pozyskanie informacji o kosztach rzeczywistych wykonanych robót, które pochodzą z faktur za materiały lub też z dokumentów ewidencjonujących czas pracy pracowników; dane te pozyskuje się okresowo, co tydzień lub miesiąc, w zależności od wielkości przedsięwzięcia i od możliwości uzyskania danych o kosztach rzeczywistych;
- 7) na podstawie uzyskanych danych przeprowadzenie kontroli postępu robót i budżetu za pomocą metod *Earned Value* i *Earned Schedule*;
- 8) podjęcie decyzji o dalszym sposobie prowadzenia robót w zależności od wyników kontroli w odniesieniu do założonych terminów i kosztów (celów); aktualizacja harmonogramów;
- 9) wdrożenie decyzji, obserwacja przebiegu robót i wykonanie oceny przedsięwzięcia w kolejnym wyznaczonym terminie.

Przedstawiony schemat postępowania bazuje na znanych i dostępnych metodach planowania i kontroli przedsięwzięć. Planowanie budowy na podstawie harmonogramów, na których zaznaczone są procesy leżące na tzw. drodze krytycznej, decydujące o terminowości realizacji budowy, jest powszechnie stosowane w praktyce i wdrażane za pomocą systemów informatycznych np. *Microsoft Project*, *Planista*. Systemy te zawierają także procedury przygotowujące i wykonujące obliczenia do oceny przebiegu robót.

Natomiast metody kontroli postępu robót i budżetu *EV* i *ES*, opisywane w literaturze przedmiotu i wykorzystywane w praktyce realizacji projektów z innych obszarów gospodarki [1, 4, 8, 19, 23], są mniej znane w środowisku menedżerów budowlanych. Dlatego też metody te będą szerzej omówione w artykule, łącznie z ich krytyczną analizą i oceną.

Zaproponowany sposób postępowania, łączący metodę planowania budowy i kontroli przebiegu robót, zastosowano w praktyce, do obserwacji realizacji rzeczywistego przedsięwzięcia budowlanego w miejscowości Płaza w gminie Chrzanów (woj. małopolskie), obejmującego roboty drogowe. Kontrolę przeprowadzono w czterech kolejnych miesiącach – od stycznia do kwietnia 2009 roku [9]. Wyniki służyły do analizy stanu budowy i stanowiły odniesienie do podejmowania decyzji w działaniach naprawczych (dotrzymania warunków umowy).



Rys. 1. Etapy metody wspomaganie zarządzania budową

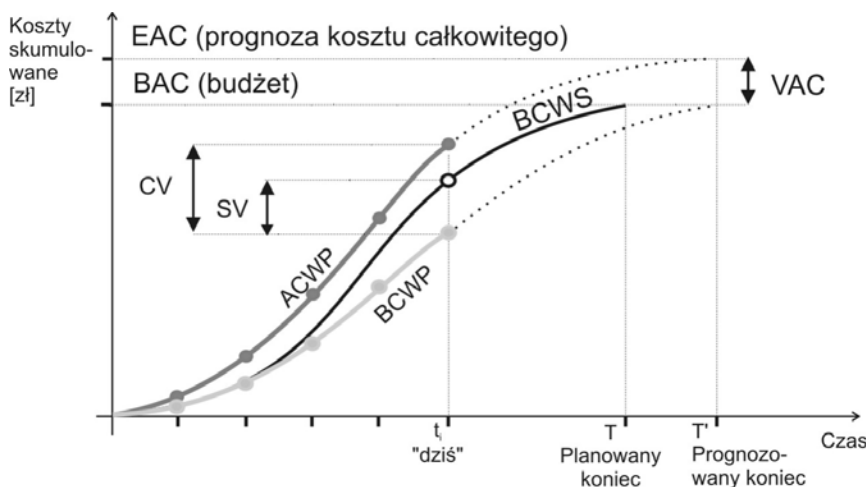
## 2.2. Metoda *Earned Value*

Metodę *Earned Value* opracowano w celu ułatwienia kontroli postępu robót i stanu wykorzystania budżetu oraz wczesnego wykrywania lokalizacji i skali odchyłeń od planu bazowego. Metoda pozwala określić wpływ bieżących odchyłeń od harmonogramu rzeczowo-kosztowego na czas i koszt realizacji całego przedsięwzięcia przez ekstrapolację dotychczasowego postępu [1]. Metoda jest obliczeniowo prosta, a otrzymywane wyniki łatwe do interpretacji. Stosowanie tej metody wymaga dostępu do danych o kosztach zrealizowanych robót i ich analizy. Zaleca się, aby kontrola kosztów była dokonywana często, aby umożliwić wczesne wykrycie zagrożeń i podjęcie działań zapobiegawczych lub naprawczych. Analizę można prowadzić na dowolnym stopniu szczegółowości: w podziale na najdrobniejsze roboty lub na złożone zadania czy etapy przedsięwzięcia, rozważając koszty całkowite lub wybrane grupy kosztów (np. tylko bezpośrednie lub tylko koszty robocizny) w zależności od specyfiki przedsięwzięcia.

Metoda wymaga następujących danych wejściowych [1, 6]:

- *BCWS* – *Budgeted Cost of Works Scheduled* – budżetowy (planowy) koszt planowanych zadań, czyli plan bazowy – zestawienie planowanych skumulowanych kosztów od planowanego rozpoczęcia do planowanego zakończenia przedsięwzięcia;
- *BCWP* – *Budgeted Cost of Work Performed* – budżetowy (planowy) koszt wykonanych zadań, czyli miara faktycznego postępu prac wyrażona w jednostkach pieniężnych, zwany też *Earned Value*;
- *ACWP* – *Actual Cost of Work Performed* – faktyczny koszt wykonanych zadań;
- *BAC* – *Budget at Completion* – kwota budżetu przedsięwzięcia, czyli *BCWS* w chwili planowanego zakończenia;
- *T* – planowany czas trwania przedsięwzięcia.

Wielkości te przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Oznaczenia w metodzie *Earned Value*

Miary postępu prac podczas analizy:

*PC – Percentage Complete* – procentowe zaawansowanie przedsięwzięcia (lub zadania):

$$PC = \frac{BCWP}{BAC} \quad (1)$$

*CV – Cost Variance* – dotychczasowe odchylenie kosztów od planu, mierzone kwotą różnicy między budżetowym kosztem planowanych zadań a faktycznym; ujemna wartość świadczy o przekroczeniu planowanych kosztów:

$$CV = BCWP - ACWP \quad (2)$$

Odchylenie to można wyrazić jako ułamek budżetowego kosztu dotychczas wykonanych zadań:

$$CV\% = \frac{CV}{BCWP} \quad (3)$$

*SV – Schedule Variance* – dotychczasowe odchylenie od harmonogramu, lecz mierzone w jednostkach pieniężnych; ujemna wartość świadczy o opóźnieniu w planowanym ponoszeniu kosztów (przeznaczone na realizację konkretnych robót):

$$SV = BCWP - BCWS \quad (4)$$

Odchylenie to można wyrazić jako ułamek budżetowego kosztu zadań planowanych do momentu analizy:

$$SV\% = \frac{SV}{BCWS} \quad (5)$$

*CPI – Cost Performance Index* – wskaźnik „wykonania budżetu”; mniejszy od jedności świadczy o przekroczeniu kosztów, większy – o oszczędnościach:

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP} \quad (6)$$

*SPI – Schedule Performance Index* – wskaźnik „wykonania harmonogramu”, mniejszy od jedności świadczy o opóźnieniu, większy – o tym, że zadania wykonywane są szybciej niż planowano:

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS} \quad (7)$$

Wielkości używane do „prognozowania”:

*EAC – Estimate at Completion* – szacowany całkowity koszt przedsięwzięcia:

$$EAC = \frac{BAC}{CPI} \quad (8)$$

Prognozowanie kosztów sprowadza się do prostej liniowej aproksymacji bez uwzględniania ryzyka realizacji przedsięwzięcia lub skutków działań korygujących. *EAC* w tej postaci wskazuje jedynie skalę problemu: na ile groźne dla budżetu mogą być bieżące tendencje. Można zakładać różne scenariusze kosztowe dalszego przebiegu przedsięwzięcia według ogólnego wzoru:

$$EAC = ACWP + \frac{BAC - BCWP}{PF} \quad (9)$$

czyli *EAC* jest sumą kosztów dotychczas poniesionych i budżetowej kwoty na pozostałe prace zmodyfikowanej pewnym współczynnikiem *PF*, ujmującym powiązanie przyszłych wyników z dotychczasowymi. Dla prostoty obliczeń aproksymacja jest liniowa – analizy danych ze zrealizowanych przedsięwzięć wykazują, że nieliniowa aproksymacja nie zwiększa dokładności przewidywań [3]. Najczęściej rozważa się następujące podstawowe scenariusze:

- Koszt zadań, które mają nastąpić, będzie taki jak planowano (przyszłe koszty są niezależne od już poniesionych),  $PF = 1$ , czyli:

$$EAC = BAC + CV \quad (10)$$

- Koszt przyszłych zadań wzrośnie/zmaleje proporcjonalnie do bieżącego wskaźnika *CPI* (czyli bieżąca tendencja zmiany kosztu się utrzyma, ignorujemy związek między rzeczywistym czasem a rzeczywistym kosztem), *EAC* obliczymy ze wzoru (10);
- Koszt przyszłych zadań będzie proporcjonalny do tzw. wskaźnika krytycznego (zwanego *critical ratio CR* lub *schedule cost index SCI*), gdy uważa się, że zarówno dotychczasowe tempo prac, jak i tempo przyrostu kosztów będą wpływać na przyszłe postępy przedsięwzięcia:

$$SCI = CPI \cdot SPI \quad (11)$$

Kolejną wielkością jest *TCPI* (*To Complete Performance Index*) – wskaźnik wydajności kosztowej, który należałoby uzyskać i utrzymać od momentu analizy, by przedsięwzięcie nie przekroczyło budżetu. Innymi słowy, jest to stosunek pracy pozostałej do wykonania do pieniędzy pozostałych w budżecie:

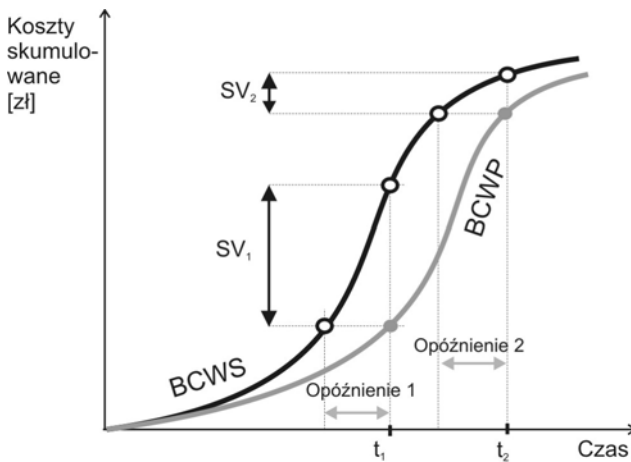
$$TCPI = \frac{BAC - BCWP}{BAC - ACWP} \quad (12)$$

W praktyce stosowania metody *Earned Value* w powyższym ujęciu występują pewne problemy. Są one związane z [5]:

- **Oceną zaawansowania zadań (PC).** Zaawansowanie rzeczowe (*PC*) można jednoznacznie określić jedynie w przypadku robót, których wynik jest wymierny. Na przykład, procent wykonania zadania typu „murowanie ścian parteru” może być określony przez obmiar powierzchni ścian wykonanych dotychczas i jego porównanie z planowaną ilością robót. W kategoriach kosztowych można przyjąć, że koszt jest wprost proporcjonalny do powierzchni. W przypadku analizy na wysokim stopniu scalenia (np. „roboty wykończeniowe kondygnacji” lub „stan zerowy”) zaawansowanie można oszacować jedynie w sposób subiektywny [1, 19].

- **Dostępem do informacji o rzeczywistych kosztach zadań (ACWS).** Zwykle występuje rozbieżność w czasie między realizacją zadania a udokumentowaniem kosztu fakturą lub innym dowodem. Wydatki pieniężne nie pokrywają się często z wykonywaniem zadań. Występujące trudności uzyskania informacji o rzeczywiście poczynionych wydatkach czy otrzymanych fakturach uniemożliwiają wystarczająco częstą analizę i prowadzić mogą do błędów [8]. Występuje też problem z przyporządkowaniem kosztów pośrednich i zysku. Dlatego też z punktu widzenia wykonawcy wygodniej jest analizować tylko koszty bezpośrednie [1, 2].
- **Wnioskowaniem o skutkach odchyleń od harmonogramu na podstawie SV i SPI.** Wskaźniki SV [zł] i SPI [%] z założenia nie są miernikami odchyleń terminowych, lecz jedynie różnicy między planowaną wartością (kosztem) pracy zaplanowanej do wykonania do danej chwili a faktycznie wykonanej. Jak okazuje się w praktyce, jedynie pośrednio i w przybliżeniu da się wykorzystać je do kontroli postępu robót. Jeśli zależność skumulowanych kosztów od czasu nie jest liniowa (a najczęściej nie jest), błędem jest następujący wniosek: im większe ujemne SV (lub im SPI mniejsze od jedności), tym większe jest opóźnienie [4]. Ilustruje to rysunek 3. Ponadto,  $SV = 0$  ( $SPI = 1$ ) w danym momencie analizy może oznaczać dwa zjawiska: zadanie przebiega zgodnie z planem albo zadanie zostało zakończone. Ta właściwość występuje zarówno w przypadku pojedynczych zadań, jak i całego przedsięwzięcia, dlatego na pewnym etapie zaawansowania przedsięwzięcia (ostatnie 30%) SV i SPI już znacznie fałszują obraz postępu, więc nie mogą już być używane jako podstawa wnioskowania o czasie [23].

Problemy te szczegółowo zostały omówione w artykule [5]. Dlatego też wielu badaczy rozwija i udoskonala metodę *Earned Value*, widząc w niej dobre i ważne narzędzie wspomagające zarządzanie przedsięwzięciami [11, 12, 14, 15, 18, 22].



**Rys. 3.** Brak związku między wielkością odchylenia od harmonogramu (SV) a opóźnieniem w kategoriach czasu

### 2.3. Dostosowanie metody *Earned Value* do analiz czasowych

W literaturze przedmiotu podkreśla się, że w zakresie analizy odchyień i prognoz terminowych klasyczna metoda *Earned Value* nie może zastąpić ani szczegółowej analizy kosztów przedsięwzięcia, ani skutków bieżących odchyień dla harmonogramu. Jednak wygoda i prostota użycia *Earned Value* zachęca do poszukiwania podobnych rozwiązań do analizy harmonogramu [5]. W związku z tymi niedogodnościami metody *Earned Value* opracowana została metoda *Earned Schedule* [10, 13, 24]. Istota tej metody jest podobna i oparta na tych samych danych wejściowych (*BCWS*, *BCWP*), lecz odchylenia  $SV(t)$  określane są w skali czasu (rys. 4). Ujemna wartość  $SV(t)$  oznacza opóźnienie.

W literaturze proponuje się kilka metod obliczania odchylenia w skali czasu [5, 23]:

1. Wyznaczenie odchylenia od harmonogramu  $SV$  z wykorzystaniem średniego tempa postępu prac w przedsięwzięciu mierzonego stosunkiem budżetu  $BAC$  do planowanego czasu realizacji  $T$  ze wzoru:

$$SV(t) = SV \cdot \frac{T}{BAC} \quad (13)$$

Pozwala to przejść z jednostek pieniężnych na jednostki czasu, jednak nie uwzględnia faktu, że w ogólnym przypadku zależność między  $SV$  i  $SV(t)$  nie jest liniowa.

2. Wyznaczenie odchylenia od harmonogramu  $SV$  na podstawie rzeczywistego czasu (od początku do momentu analizy  $t$ ) i kosztowego wskaźnika wydajności harmonogramu  $SPI$ :

$$SV(t) = t \cdot (SPI - 1) \quad (14)$$

3. Wyznaczenie odchylenia od harmonogramu  $SV$  na podstawie odległości między  $BCWS$  i  $BCWP$  w poziomie [10,13] obliczanej wg wzoru

$$SV(t) = N + \frac{BCWP - BCWS_N}{BCWS_{N+1} - BCWS_N} \quad (15)$$

gdzie:  $N$  – liczba jednostek czasu od początku analizy do momentu, w którym  $BCWS$  jest mniejszy od  $BCWP$ ;  $BCWS_N$  ( $BCWS_{N+1}$ ) – budżetowy koszt planowanych prac w  $N$ -tej ( $N+1$ ) jednostce czasu.

Znając „czasowe” odchylenie od planu można wyznaczyć  $ES$  (*Earned Schedule*), czyli czas, w którym zgodnie z planem powinna być wykonana praca, którą faktycznie wykonano do momentu analizy (rys. 4.):

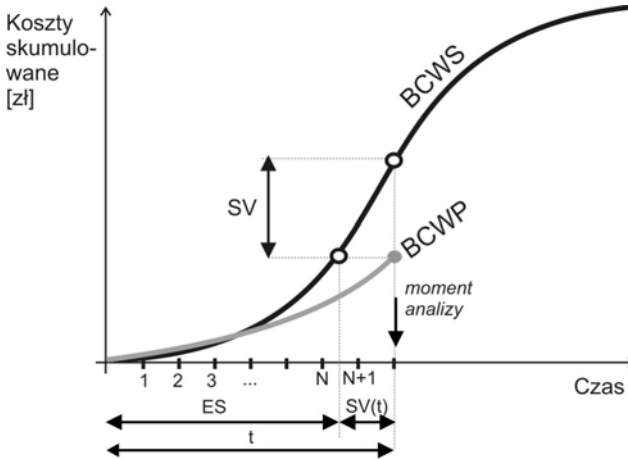
$$ES = t - SV(t) \quad (16)$$

Określenie terminu zakończenia odbywa się podobnie jak w określaniu tzn. przewidywaniu całkowitego kosztu w *Earned Value*:

$$T' = t + \frac{T - ES}{PF} \quad (17)$$



Przewidywany czas trwania przedsięwzięcia obliczymy zatem jako sumę czasu już wykorzystanego ( $t$ ) i czasu planowanego na niewykonane jeszcze prace, skorygowanego pewnym współczynnikiem ( $PF$ ) zależnym od tego, w jakim stopniu obecny stan przedsięwzięcia wpływa na procesy, które należy jeszcze wykonać.



Rys. 4. Obliczanie odchylenia terminowego w metodzie *Earned Schedule* [5]

Najczęściej rozważa się następujące podstawowe scenariusze [23]:

1. Postęp zadań, które mają nastąpić, będzie taki, jak planowano,  $PF = 1$ , czyli:

$$T' = T - SV(t) \quad (18)$$

2. Tempo realizacji przedsięwzięcia będzie zmieniać się zgodnie z obecną tendencją – proporcjonalnie do „czasowego” wskaźnika wydajności harmonogramu  $SPI(t)$ :

$$SPI(t) = \frac{ES}{t} \quad (19)$$

$$T' = t + \frac{T - ES}{SPI(t)} = \frac{T}{SPI(t)} \quad (20)$$

3. Tempo realizacji przedsięwzięcia będzie zmieniać się proporcjonalnie do bieżącego „kosztowo-czasowego” wskaźnika krytycznego  $SCI(t)$ , ponieważ w praktyce występuje współzależność między czasem i kosztem przedsięwzięć:

$$SCI(t) = CPI \cdot SPI(t) \quad (21)$$

$$T' = t + \frac{T - ES}{SCI(t)} \quad (22)$$

### 3. Studium przypadku

**Opis inwestycji.** Opracowaną metodę wspomagania zarządzania budową zastosowano w praktyce podczas realizacji rzeczywistego przedsięwzięcia budowlanego w miejscowości Płaza w gminie Chrzanów, obejmującego budowę chodnika wraz z odwodnieniem, budowę zatoki autobusowej, murów oporowych oraz kładki dla pieszych w ciągu drogi wojewódzkiej nr 781. Inwestorem przedsięwzięcia jest Zarząd Dróg Wojewódzkich w Krakowie, a generalnym wykonawcą przedsiębiorstwo „Handrem”. Umowę dotyczącą inwestycji podpisano dnia 20.10.2008 roku. Przekazanie placu budowy nastąpiło dnia 27.10.2008 roku. Termin realizacji inwestycji upłynął z dniem 20.11.2009 roku.

**Koncepcja organizacji budowy.** Do wykonania robót dobrano po dwie brygady pięciosobowe i siedmiosobowe. Brygady podzielone są na zespoły robocze i składają się z robotników o ogólnych kwalifikacjach. Oprócz tego na budowie będą pracować dwie brygady podwykonawców, do wykonania robót specjalistycznych. Pierwsza z nich odpowiedzialna będzie za rozbiórkę istniejących i budowę nowych słupów energetycznych oraz przełożenie linii niskiego i średniego napięcia. Druga odpowiada za zabezpieczenie skarp za pomocą samowierzących iniekcyjnych gwoździ gruntowych.

**Kalkulacja robót.** Do określenia wartości kosztorysowej inwestycji w pierwszej kolejności wykonano przedmiar robót na podstawie dokumentacji projektowej. Następnie sporządzono kosztorys ofertowy za pomocą programu *Rodos 6.0*. Przyjęto poziom cen IV kwartału 2008 na podstawie cennika *Sekocenbud*. Wartość kosztorysowa inwestycji wyniosła 4,07 mln zł (brutto).

**Stworzenie hierarchicznej struktury projektu.** Hierarchiczną strukturę przedsięwzięcia realizowanego w Płazie prezentuje rysunek 5. Wartości nad strzałkami wyrażają liczbę pracowników przydzielonych do zadania, litera P oznacza, że robotę wykonuje podwykonawca. Decydujący wpływ na wybór poziomu szczegółowości struktury miał dostęp do informacji o kosztach rzeczywistych poszczególnych zadań.

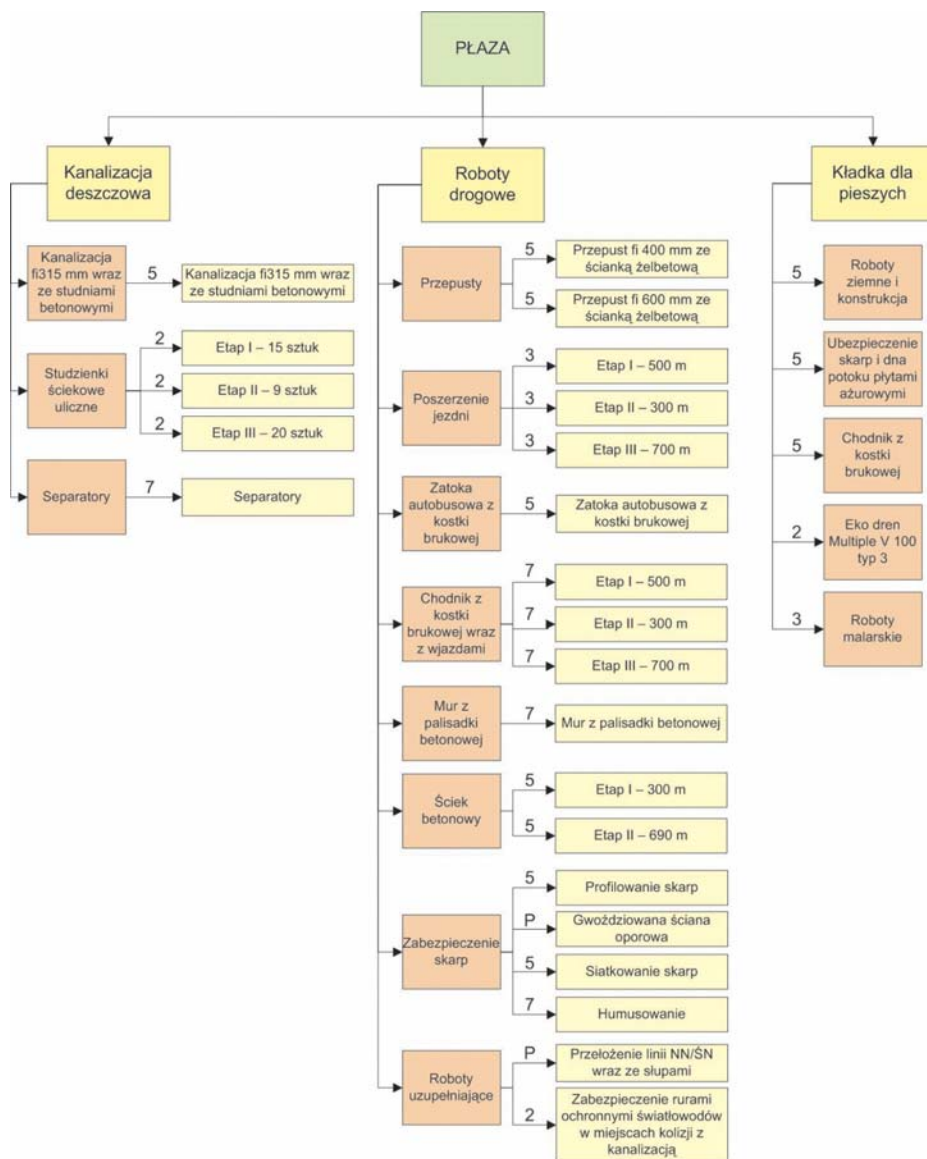
**Opracowanie harmonogramu budowlanego.** Harmonogram przedsięwzięcia wykonano w programie *Planista 6.5.9*. Wydzielono w nim zadania zgodnie z hierarchiczną strukturą projektu. Ustalono, że robotnicy będą pracować na jedną zmianę, średnio po 9 godzin dziennie, wliczając soboty. Termin rozpoczęcia robót określono na 4.11.2008 roku. Z harmonogramu wynikało, że planowana data zakończenia robót to 30.10.2009 roku, czyli trzy tygodnie przed terminem wyznaczonym przez zamawiającego.

**Określenie sposobu pomiaru postępu robót.** Dla każdego zadania niezbędne jest określenie sposobu przydzielania wartości uzyskanej (pomiaru stopnia zaawansowania prac). Postęp robót, których wynik jest wymierny, określano na podstawie obmiaru technicznego. W pozostałych przypadkach stosowano metodę wzrostu stałego:

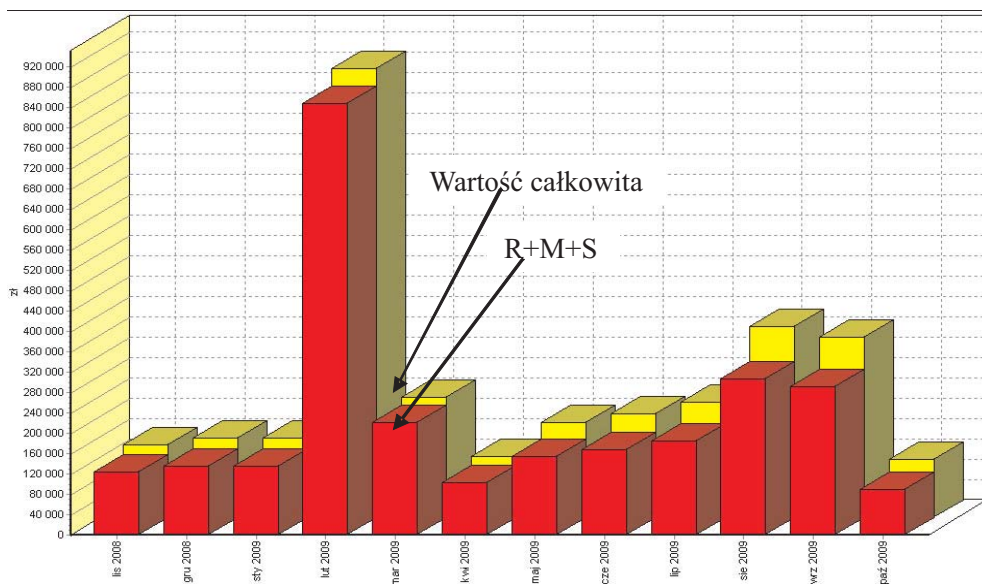
- „50–50”, w której 50% pracy uznane jest za zakończone tuż po starcie zadania, pozostałe 50% przydzielane jest po jego zakończeniu,
- „0–100”, w której zadanie traktuje się jako całość, w momencie zakończenia zadania przynajmniej się mu wartość uzyskaną w wysokości 100%.

**Analiza płynności finansowej przedsięwzięcia.** Przy realizacji przedsięwzięcia budowlanego bardzo ważnym zagadnieniem jest jego płynność finansowa. Należy przeprowadzić analizy ekonomiczne mające na celu ustalenie budżetu przedsięwzięcia i rozkładu za-

potrzebowania na kapitał w czasie jego realizacji [16]. Z takich badań można stwierdzić, czy możliwe jest finansowanie projektu z kapitału przedsiębiorstwa, czy konieczne będzie zaciąganie kredytu. W przypadku przedsięwzięcia realizowanego w Płazie przeprowadzono analizę płynności finansowej w programie *Planista 6.5.9*. Na podstawie tej analizy stwierdzono, że przedsięwzięcie może być finansowane ze środków własnych przedsiębiorstwa. Rysunki 6, 7 i 8 przedstawiają harmonogramy finansowe monitorowanej inwestycji.

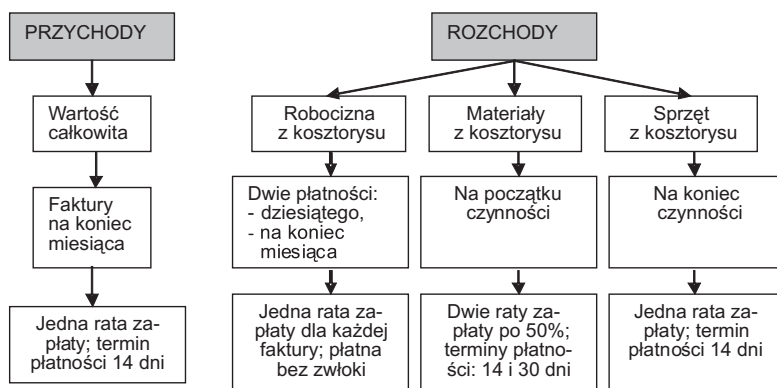


Rys. 5. Hierarchiczna struktura projektu [9]



Rys. 6. Wykres rozkładu kosztów w czasie w układzie miesięcznym.

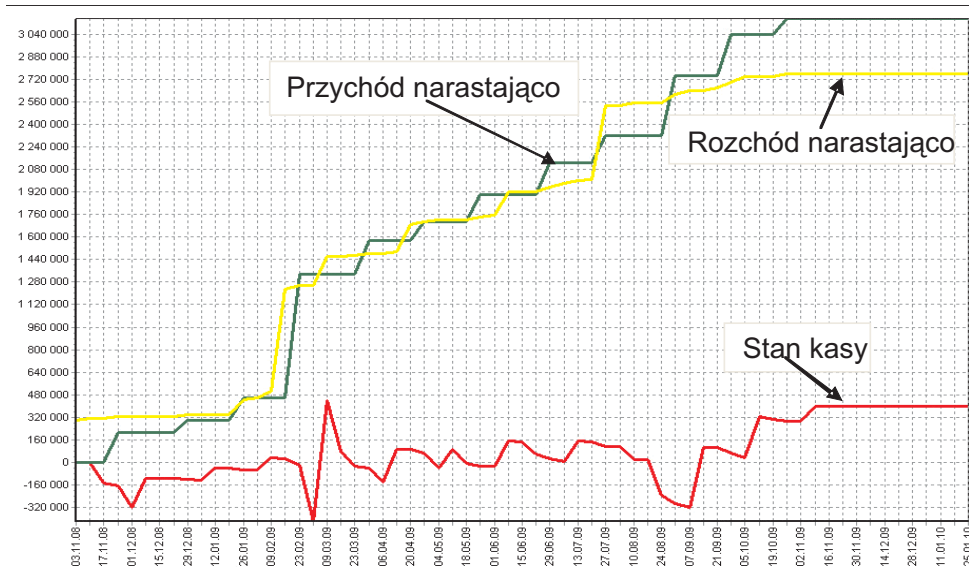
Źródło: wydruk z *Planisty*



Rys. 7. Model „A” obrotu finansowego.

Źródło: procedura programu *Planista 6.5.9*

**Kontrola postępu robót.** W przypadku realizowanego przedsięwzięcia (rys. 9) przeprowadzono kontrolę w odstępach miesięcznych, rejestrując postęp robót na koniec każdego miesiąca począwszy od stycznia, a skończywszy na kwietniu 2009 roku. Analizę przeprowadzono na podstawie kosztów R+M+S. Rejestrację postępu robót przeprowadzono w programie *Planista 6.5.9*.



Rys. 8. Wykres przepływu pieniędzy według modelu „A” obrotu finansowego w układzie tygodniowym

Źródło: wydruk z programu *Planista*



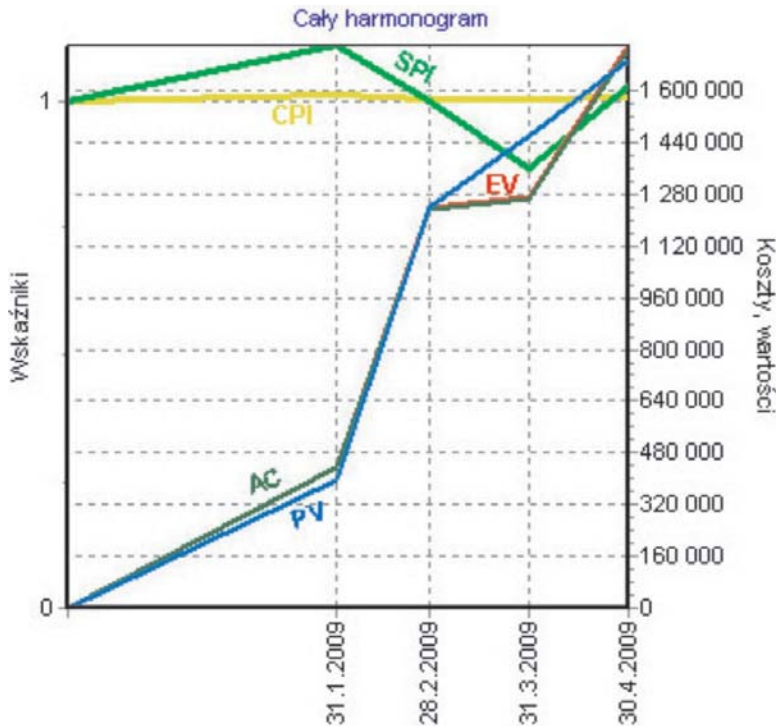
Rys. 9. Fotografie z wykonywanych robót drogowych: a) gwoździowanie skarp; b) profilowanie skarp; c) przebudowa przepustu drogowego; d) wykonywanie kładki dla pieszych

**Analiza postępu robót metodą *Earned Value*.** W programie *Microsoft Excel* wyznaczono parametry metody *Earned Value* dla poszczególnych etapów rejestracji, uwzględniając całość przedsięwzięcia. Zestawienie wyników prezentuje tabela 1.

TABELA 1

**Zestawienie wyników analizy metodą *Earned Value* dla poszczególnych etapów rejestracji**

Nazwa parametru	Oznaczenie	Sposób obliczania	Etap rejestracji				Jednostka
			31.01.09	28.02.09	31.03.09	30.04.09	
Budżet na zakończenie projektu	<i>BAC</i>	–	2 760 514	2 760 514	2 760 514	2 760 514	zł
Koszty planowane	<i>BCWS</i>	–	394 661	1 242 251	1 462 426	1 693 655	zł
Wartość uzyskana	<i>BCWP</i>	–	438 526	1 241 552	1 270 158	1 742 334	zł
Koszty rzeczywiste	<i>ACWP</i>	–	432 850	1 235 250	1 263 970	1 730 890	zł
Odchylenie harmonogramu	<i>SV</i>	$SV = EV - PV$	43 864	-699	-192 268	48 678	zł
Wskaźnik harmonogramu	<i>SPI</i>	$SPI = EV/PV$	1,11	1,00	0,87	1,03	-
Odchylenie kosztów	<i>CV</i>	$CV = EV - AC$	5 676	6 302,11	6 188,26	11 444,53	zł
Wskaźnik kosztów	<i>CPI</i>	$CPI = EV / AC$	1,01	1,01	1,00	1,01	-
Wskaźnik krytyczny	<i>SCI</i>	$CR = CPI \cdot SPI$	1,13	1,00	0,87	1,04	-
Szacowany całkowity koszt przedsięwzięcia	<i>EAC</i>	$EAC = AC + (BAC - EV) / CPI$	2 724 784	2 746 502	2 747 065	2 742 382	zł
Szacowany koszt do zakończenia projektu	<i>ETC</i>	$ETC = (BAC + -EV) / CPI$	2 291 934	1 511 252	1 483 095	1 011 492	zł
Odchylenie końcowe	<i>VAC</i>	$VAC = BAC + -EAC$	35 730	14 012	13 449	18 132	zł
Wskaźnik wydajności kosztowej na zakończenie projektu	<i>TCPI</i>	$TCPI = (BAC + -EV)/(BAC - AC)$	99,76	99,59	99,59	98,89	%



Rys. 10. Prezentacja wyników analizy metodą *Earned Value*

Źródło: wydruk z programu *Planista*

Na podstawie tabeli 1 i rysunku 10 można stwierdzić, że 31.01.2009 prace były zaawansowane bardziej niż zaplanowano w harmonogramie ( $SV > 0$  i  $SPI > 1$ ).  $CV > 0$  i  $CPI > 1$  informują, że przedsięwzięcie realizowano taniej niż zakładano tzn. wydano mniej pieniędzy niż planowano w terminie. Tak więc roboty są opóźnione (albo uzyskano oszczędności). Jeżeli wskaźnik wydajności kosztowej utrzymywałby się na bieżącym poziomie, to „oszczędność” na koniec przedsięwzięcia wynosiłaby ponad 35 tys. zł.

W lutym  $SV < 0$  i  $CV > 0$ , co oznacza, że przedsięwzięcie opóźnia się, lecz prace realizowane były poniżej budżetu. Trzeba jednak zauważyć, że w styczniu wskaźnik harmonogramu wynosił 1,11, a w lutym miał wartość 1,00, więc cała wypracowana w styczniu oszczędność czasu została roztrwoniona. Wskaźnik wydajności kosztowej miał wartość poniżej 100%, co informuje, że w przedsięwzięciu wydawana była odpowiednia ilość pieniędzy w stosunku do wykonanej pracy. Jeżeli wydajność kosztowa utrzymywałaby się na bieżącym poziomie (z bieżącym wskaźnikiem  $CPI$ ), to projekt zakończyłby się z oszczędnością 14 tys. zł. Analizując dane dla kolejnego dnia kontrolnego, należy zauważyć, że projekt był bardzo opóźniony w stosunku do harmonogramu. Informuje o tym odchylenie harmonogramu wynoszące prawie 200 tys. zł i wskaźnik harmonogramu znacznie poniżej 1.

Metoda *Earned Value* jednak nie pozwala na wyznaczenie opóźnienia w jednostkach czasu.

Z analizy budżetu projektu wynika, że na pracę dotychczas wykonaną zostało wydane mniej, niż to początkowo zakładano ( $CV > 0$ ). Gdyby wydajność pozostała na obecnym poziomie, przedsięwzięcie zakończyłoby się nawet z oszczędnościami około 13,5 tys. zł. Trzeba jednak pamiętać, że analizę przeprowadzono dla kosztów w układzie R+M+S. Nie uwzględniono tu kosztów pośrednich, które wyraźnie wzrastają w momencie, gdy budowa się przedłuża.

Budowa na koniec marca była znacznie opóźniona, jednak udało się to zniwelować w kwietniu. Ostatecznie na koniec analizowanego okresu przedsięwzięcie było zaawansowane bardziej, niż przewidywano ( $SV > 0$  i  $SPI > 1$ ), wydając przy tym mniej pieniędzy, niż zakładano ( $CV > 0$  i  $CPI > 1$ ). Jeżeli te trendy się utrzymają, to zakończy się ono z oszczędnościami ok. 20 tys. zł.

**Analiza metodą *Earned Schedule*.** Podstawowym problemem w metodzie *Earned Value* jest fakt, że parametry i wskaźniki dotyczące kontroli postępu robót są wyrażone w jednostkach pieniężnych zamiast w jednostkach czasu. Powoduje to, że nie da się określić faktycznego opóźnienia lub przyspieszenia przedsięwzięcia. Nie można bowiem zakładać, że im większe ujemne odchylenie harmonogramu, tym większe opóźnienie, bo zależność kosztów od czasu nie jest liniowa [1, 13]. Na podstawie metody *EV* można jedynie wnioskować, czy projekt jest opóźniony, czy przyspieszony, nie da się jednak określić bezwzględnej ich wartości.

Zastosowanie metody *Earned Schedule* pozwala wyeliminować niedociągnięcia *Earned Value*. Przeprowadzono analizę metodą *Earned Schedule* dla danych z wszystkich wcześniej wymienionych dni kontrolnych. Zestawienie wyników analizy zawiera tabela 2.

Analizując dane z tabeli 2 z dnia 31.01.2009, można zauważyć, że przedsięwzięcie było zaawansowane bardziej niż planowano. Świadczy o tym dodatnie odchylenie harmonogramu  $SV(t)$  i wskaźnik wykonania harmonogramu w jednostkach czasu  $SPI(t) > 1$ . Jeżeli projekt utrzymywałby się na dotychczasowym poziomie wydajności czasowej ( $TSPI = 0,99$ ), to zakończyłoby się o 6 dni wcześniej, niż zakładano.

W dniu kontrolnym 28.02.2009 postęp przedsięwzięcia był praktycznie zgodny z harmonogramem, co potwierdza  $SV(t) = 0$  i  $SPI(t) = 1$ . Również wyznaczona data zakończenia przedsięwzięcia zgadzała się z przewidywanym terminem. Sytuacja w kolejnym dniu kontrolnym była bardzo niekorzystna. Przedsięwzięcie było znacznie opóźnione, o czym świadczy ujemne odchylenie harmonogramu  $SV(t)$  i wskaźnik wykonania harmonogramu  $SPI(t)$  poniżej jedności. Jeżeli wartość wskaźnika wydajności czasu utrzymałaby się na bieżącym poziomie ( $TSPI = 1,13$ ) to przedsięwzięcie opóźniłoby się o 2,5 miesiąca i zakończyłoby się 15.01.2010 roku.

W miesiącu kwietniu nastąpiło przyspieszenie wykonywanych robót. Nie dość, że zostały nadrobione zaległości powstałe w marcu, to jeszcze zdołano wykonać więcej, niż było zaplanowane w harmonogramie. Odchylenie harmonogramu wynosiło  $SV(t) = 0,24$  miesiąca, a wskaźnik jego wykonania  $SPI(t) = 1,04$ . Jeżeli wydajność czasu  $TSPI$  utrzymałaby się dalej na poziomie 0,96, to przedsięwzięcie zakończyłoby się 17.10.2009 roku, czyli 13 dni przed planowanym terminem.



TABELA 2

Zestawienie wyników analizy metodą *Earned Schedule*

Nazwa parametru	Oznaczenie	Sposób obliczenia	Etap rejestracji				Jedn.
			31.01.09	28.02.09	31.03.09	30.04.09	
Czas bieżący	$t$	–	3,00	4,00	5,00	6,00	mie- siące
Data rozpoczęcia	–	–	4.11.2008	4.11.2008	4.11.2008	04.11.2008	–
Planowany czas trwania projektu*	$T$	–	11,83	11,83	11,83	11,83	mie- siące
Pełne okresy	$N$	–	3	3	4	6	mie- siące
Wartość uzyskana	$BCWP$	–	438 526	1 241 552	1 270 158	1 742 334	zł
Koszty planowane w okresie C	$BCWSN$	–	394 661	394 661	1 242 251	1 693 655	zł
Koszty planowane w okresie C+1	$BCWSN +1$	–	1 242 251	1 242 251	1 462 426	1 898 260	zł
<i>Earned Schedule</i>	$ES$	$ES = C + (EV + -PV(C))/(PV(C+1) + -PV(C))$	3	4,00	4,13	6,24	mie- siące
Odchylenie harmonogramu w jednostkach czasu	$SV(t)$	$SV(t) = ES - t$	0,05	0,00	-0,87	0,24	mie- siące
Wskaźnik wykonania harmonogramu w jednostkach czasu	$SPI(t)$	$SPI(t) = ES / t$	1,02	1,00	0,83	1,04	–
Szacowany całkowity czas przedsięwzięcia	$T'$	$EAC(t) = T / SPI(t)$	11,63	11,84	14,34	11,38	mie- siące
			354,00	360,00	437,00	347,00	dni
Oszacowana data zakończenia przedsięwzięcia	$IEDC$	$IEDC = Data rozpoczęcia + EAC(t)$	24.10.09	30.10.09	15.01.10	17.10.09	–

TABELA 2 cd.

Nazwa parametru	Oznaczenie	Sposób obliczenia	Etap rejestracji				Jedn.
			31.01.09	28.02.09	31.03.09	30.04.09	
Końcowe odchylenie czasu	$VAC(t)$	$VAC(t) = PD + EAC(t)$	0,20	0,00	-2,50	0,45	mie- siące
			6,00	0,00	-75,00	13,00	dni
Szacowany czas do zakończenia projektu	$ETC(t)$	$ETC(t) = EAC(t) - t$	8,63	7,84	9,34	5,38	mie- siące
			266,00	244,00	290,00	170,00	dni
Wskaźnik wydajności czasu na zakończenie projektu	$TSPI$	$TSPI = (PD - ES) / (PD - t)$	0,99	1,00	1,13	0,96	-

\* Przy wyznaczaniu planowanego czasu trwania przedsięwzięcia uwzględniono, że projekt nie rozpoczął się z początkiem miesiąca, lecz cztery dni później, a planowana data zakończenia wypada dzień przed końcem miesiąca, stąd wartość 11,83 zamiast 12,00.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Celem pracy było zastosowanie znanych metod planowania i oceny przebiegu robót według usystematyzowanej metodyki przydatnej w zarządzaniu operacyjnym realizacją przedsięwzięcia budowlanego. Zaproponowany model postępowania został sprawdzony w praktyce [21] dzięki możliwości obserwacji budowy i dostępu do potrzebnych danych, przy współpracy z kierownictwem budowy. Postępowanie zgodne z zaproponowaną metodyką pozwoliło na monitorowanie realizacji budowy, analizę zbieranych informacji dających dobrą podstawę do podejmowania właściwych decyzji w działaniach naprawczych ewentualnych rozbieżności planowanych oraz rzeczywistych terminów i kosztów budowy.

Na podstawie analizy przedsięwzięcia można zauważyć, że cały czas inwestycja realizowana była poniżej pierwotnie oszacowanego budżetu. Sytuację tę tłumaczy fakt znacznych obniżek na rynku materiałów budowlanych w okresie realizacji inwestycji (kryzys na rynkach światowych). Jeżeli chodzi o czas trwania przedsięwzięcia, trzeba zauważyć, że realizacja przebiegała w sposób bardzo nierównomierny. Wpływ na opóźnienie miały przede wszystkim złe warunki pogodowe. Jednakże na podstawie wyników uzyskanych na koniec kwietnia można było przewidywać, że przedsięwzięcie ma duże szanse na zakończenie zgodnie z przewidywanym terminem i nieznacznie poniżej zaplanowanego budżetu. W rzeczywistości analizowane przedsięwzięcie zostało wykonane wcześniej niż przewidywał termin w umowie i taniej.

W wielu krajach metoda *Earned Value* jest wykorzystywana w zarządzaniu przedsięwzięciami inwestycyjnymi, np. jest obowiązek stosowania jej w inwestycjach Ministerstwa Obrony w USA [7], także zalecana jest w zarządzaniu kosztami publicznych przedsięwzięć

w Polsce [17, 18]). Jest prezentowana w wielu podręcznikach do *project management* oraz umieszczana w specjalistycznych programach wspomagających zarządzanie (np. *Planista*). Idea metod *EV* i *ES* pozwala jedynie wspomagać obiektywne monitorowanie przebiegu, określenie statusu zadań i całości przedsięwzięcia (czy są opóźnienia, czy są przekroczenia kosztów). *Earned Value* i *Earned Schedule* mają umożliwić wczesne wykrywanie problemów oraz zgrubne określenie potencjalnego zagrożenia wynikającego z tych odchyień – aby spośród wykrytych odchyień dokonać wyboru tych najbardziej istotnych.

Natomiast możliwość wykonywania obliczeń w przypadku metody *ES* i *EV* w programach służących do sporządzania i aktualizowania harmonogramów oraz połączenie otrzymywanych informacji jest dopiero w pełni przydatnym narzędziem. Umożliwia ono monitorowanie przebiegu budowy, umiejscowienie na harmonogramach procesów z zakłóceniami przebiegu, określenie ich przyczyn i stanowi podstawę do podejmowania właściwych decyzji przez zarządzających w kierowaniu robotami budowlanymi.

#### LITERATURA

- [1] *Burke R.*: Project Management. Planning and Control Techniques. John Wiley & Sons, 2006
- [2] *Cass D.J.*: Earned Value Programs for US Dept. of Energy Projects. Cost Engineering 2000, Vol 42, No 2, s. 24-43
- [3] *Christensen D.S.*: Using performance indices to evaluate the estimate at completion. Journal of Cost Analysis and Management, 1994 (Spring), s. 17–24
- [4] *Corovic R.*: Why EVM is not good for schedule performance analyses (and how it could be...). The Measurable News, Winter 2006–2007, [www.earnedschedule.com/papers](http://www.earnedschedule.com/papers)
- [5] *Czarnigowska A.*: Kontrola postępu realizacji przedsięwzięcia metodą *Earned Value*. PZITB – Warsztaty Inżynierów Budownictwa: Problemy przygotowania i realizacji inwestycji budowlanych, Puławy 2008, s. 99
- [6] *Dalkowski B.T.*: W trosce o publiczne pieniądze. Zarządzanie projektami metodą *Earned Value*. Materiały III Konferencji Project Management, [www.smp.org.pl/files/3dalkowski1.pdf](http://www.smp.org.pl/files/3dalkowski1.pdf)
- [7] Earned Value Management Implementation Guide. Washington: United States of America Department of Defense, DOD 1997
- [8] *Evensmo J., Karlsen J.T.*: Earned Value based forecasts – some pitfalls. 2006 AACE International Transactions
- [9] *Grochal D.*: Model sterowania realizacją przedsięwzięcia budowlanego z wykorzystaniem metody *Earned Value*. Praca magisterska pod kierunkiem A. Sobotki, AGH, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, 2009
- [10] *Henderson K.*: *Earned Schedule*: a breakthrough extension to *Earned Value* management. Proceedings of PMI Global Congress Asia Pacific, January 2007 [www.earnedschedule.com/papers](http://www.earnedschedule.com/papers)
- [11] *Iranmanesh S.H. and Hojati Z.T.*: Designing a progress simulator for estimation of project completion cost and time. Proceedings of the International Conference on project management (ICoPM) Petaling Jaya, Malaysia, November 18–20, 2008, s. 120–127
- [12] *Leu S.S., Lin Y.C., Chen T.A., Ho Y.Y.*: Improving traditional *Earned Value* management by incorporating statistical process chart. Proceedings of ISARC 2006 Taiwa, 2006, s. 275–280.
- [13] *Lipke W., Henderson K.*: *Earned Schedule* – an emerging enhancement to EVM. [www.pmicos.org/topics/EVMDEC07.pdf](http://www.pmicos.org/topics/EVMDEC07.pdf)
- [14] *Lipke W., Zwikael O., Henderson K., Anbari F.*: Prediction of project outcome: the application of statistical methods to *Earned Value* management and *Earned Schedule* performance indexes. International Journal of Project Management 27(4), 2009, s. 400–407
- [15] *Lucas J.A.*: *Earned Value* analysis – why it doesn't work. AACE Inter. Transactions, EVM.01, 2008.
- [16] *Minasowicz A.*: Efektywność i zarządzanie finansami w budownictwie. Wydawnictwo Poltex, Warszawa 2009

- [17] Projekt celowy Nr 6T07 2004 C/6413 „Krajowy system zarządzania budowlanymi przedsięwzięciami inwestycyjnymi finansowanymi z udziałem środków publicznych i pomocowych Unii Europejskiej”, kierownik projektu *J. Kulejewski*, [www.mi.gov.pl/2-48240e204cbfb.htm](http://www.mi.gov.pl/2-48240e204cbfb.htm)
- [18] *Robert A.M.*: The contribution of *Earned Value* management to project success on contracted efforts: a quantitative statistics approach within the population of experienced practitioners. *Journal of Contract Management* 2007, 4, s. 21–33
- [19] *Ruskin A.M.*: Two issues concerning the use of *Earned Value* measurements. *Engineering Management Journal* 2004, 16(3), s. 26–30
- [20] *Sobańska I.* (red.): *Rachunkowość w przedsiębiorstwie budowlanym*. Wydawnictwo Difin, Warszawa 2006
- [21] *Sobotka A., Grochal D.*: Sterowanie realizacją przedsięwzięcia budowlanego z wykorzystaniem metod planowania i kontroli przebiegu robót. PZITB – Warsztaty Inżynierów Budownictwa: Problemy przygotowania i realizacji inwestycji budowlanych, Puławy 2009
- [22] *Valle J., Soares C.*: The use of *Earned Value* analysis (EVA) in the cost management of construction projects. 2008 – IBEC, Rio de Janeiro, Brazil.
- [23] *Vandevoorde S., Vanhoucke M.*: A comparison of different project duration forecasting methods using *Earned Value* metrics. *International Journal of Project Management* 2006, 24, s. 289–302
- [24] *Van De Velde R.*: Time is up: assessing schedule performance with *Earned Value*. *PM World Today* – October 2007 (Vol. IX, Issue X), [www.earnedschedule.com/papers](http://www.earnedschedule.com/papers)