

## PROGNOZOWANIE CZASU ZAKOŃCZENIA INWESTYCJI NA PODSTAWIE JEJ BIEŻĄCEGO ZAAWANSOWANIA

**Mieczysław Połoński**

Katedra Geoinżynierii

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

e-mail: mieczyslaw\_polonski@sggw.pl

**Streszczenie:** Jednym z najważniejszych obowiązków menadżera budowy na etapie prowadzenia robót budowlanych, jest kontrola jej zawansowania w stosunku do planowanych terminów i budżetu. Metodą pozwalającą na efektywne śledzenie tych parametrów na tle zaawansowania rzeczowego jest metoda wartości wypracowanej (EVM). W artykule zwrócono szczególną uwagę na prognozowanie czasu zakończenia inwestycji. W literaturze można spotkać kilka metod zastosowania wybranych wskaźników EVM do prognozowania czasu dokończenia robót budowlanych. Celem artykułu było pokazanie najważniejszych z nich oraz sprawdzenie na przykładzie dużego obiektu budowlanego realizowanego w ostatnich latach w Warszawie uzyskiwanych tymi metodami wyników oraz wskazanie rozwiązania, które w analizowanych warunkach wykazało największą zgodność prognozy z rzeczywistym czasem trwania robót.

**Słowa kluczowe:** wartość wypracowana, earned schedule, prognozowany czas, obiekt budowlany

### WSTĘP

Jednym z najważniejszych obowiązków menadżera budowy na etapie prowadzenia robót budowlanych, oprócz dbania o zgodność realizowanych robót z projektem i jakość wykonywanych elementów i konstrukcji, jest kontrola jej zawansowania w stosunku do planowanych terminów. Na obecnym etapie złożoności robót budowlanych, przy występowaniu różnego rodzaju ryzyk [Skorupka 2009] oraz zaangażowania znacznych środków finansowych, poszukuje się metod ilościowych, które pozwoliłyby skutecznie powiązać ocenę stanu zaawansowania rzeczowego robót z przewidywanymi kosztami oraz planowanymi

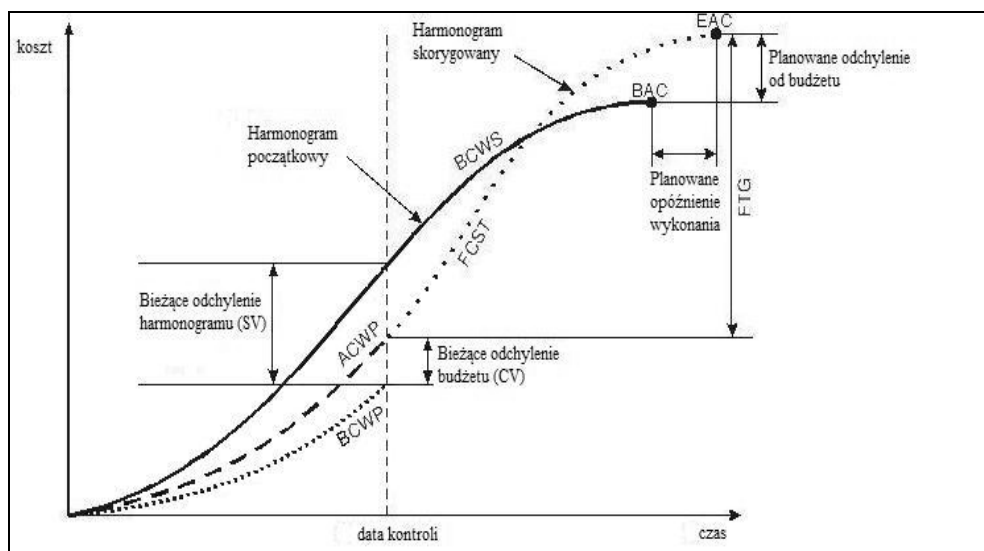
terminami realizacji poszczególnych etapów robót i całego przedsięwzięcia. Jedną z takich technik jest metoda wartości wypracowanej nazywana w literaturze Earned Value Management (EVM).

Założenia samej metody EVM, szczególnie ukierunkowane na kontrole planowanych i ponoszonych kosztów są dobrze opisane w literaturze, więc w artykule podane zostaną podstawowe informacje pozwalające na wprowadzenie w nieco odmienną tematykę, związaną z prognozowaniem czasu trwania inwestycji, wykonywaną jednak z zastosowaniem podstawowych parametrów używanych w metodzie EVM.

### PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA METODY EARNED VALUE

Celem opracowania metody EVM było powiązanie rzeczowego zaawansowania stanu robót i poniesionych kosztów na tle wartości planowanych. Istotę założeń metody Earned Value przedstawiono na rysunku 1 (więcej informacji o metodzie EVM można znaleźć w [Webb 2008, Wilkens 1999]).

Rysunek 1. Elementy metody Earned Value



Źródło: Wilkens, 1999

Krzywa ilustrująca przebieg *BCWS*, czyli planowany koszt planowanej pracy wyznaczana jest podczas fazy planowania projektu, a jej zakończeniem jest *BAC*, czyli planowany budżet projektu. Krzywe ilustrujące przebieg *BCWP*, czyli planowany koszt wykonanej pracy oraz *ACWP*, czyli rzeczywisty koszt wykonanej pracy wyznaczane są podczas realizacji projektu i mogą zostać ustalone jedynie do dnia kontroli. Dane z krzywych *ACWP*, *BCWS* i *BCWP* stanowią podstawę do

obliczania dalszych wskaźników. Z punktu widzenia prognozowania czasu inwestycji najważniejszymi są dwa:

- *SV* (Scheduled Variance - odchylenie od harmonogramu) - jest to wskaźnik w funkcji kosztów, którego wartość ujemna oznacza opóźnienie wyrażone przez kwotę niewykorzystanego budżetu,

$$SV = BCWP - BCWS \quad (1)$$

- *SPI* (Schedule Performance Index - wskaźnik wykonania harmonogramu) - jest to wskaźnik wykonania harmonogramu w funkcji czasu (mniejszy od 100 % oznacza opóźnienie).

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS} \quad (2)$$

Na podstawie ww wykresu można również zapoznać się z odchyleniami od budżetu oraz harmonogramu zarówno w dniu kontroli, jak również wartościami prognozowanymi na zakończenie projektu. To, co jest bardzo istotne dla procesu prognozowania dalszego przebiegu budowy to fakt, że badania na ponad 700 dużych amerykańskich projektach wykazały, że przy niespełna 15% - 20% zaawansowaniu projektu użycie metody EVM daje możliwość przewidzenia wyniku końcowego z dużą dokładnością i to niezależnie od typu monitorowanego kontraktu, programu czy usługi [Szczurowski 2008].

## METODY WYZNACZANIA CZASU ZAKOŃCZENIA INWESTYCJI

W opisywanych w artykule metodach przewidywany czas, jaki zajmie realizacja całej inwestycji (*ETTC* - Estimated Time At Completion) składa się z dwóch składników: czasu, jaki upłynął od rozpoczęcia prac do dnia aktualizacji (*AD* - Actual Duration) oraz przewidywanego czasu jaki zajmie dokończenie projektu (*PDWR* - Planned Duration of Work Remaining).

$$ETTC = AD + PDWR \quad (3)$$

Składnik *AD* nie budzi wątpliwości i zawsze jest wartością znaną i pewną. Element *PDWR* jest natomiast wartością przewidywaną, obarczoną niepewnością i podlegającą różnym metodom estymacji. Sposób jego wyznaczania zależy od przyjętej metody oraz w każdej metodzie dodatkowo od rodzaju wskaźnika, za pomocą którego chcemy odwzorować tempo przyszłych robót. Otrzymany wynik w dużej mierze zależy właśnie od wyboru tego wskaźnika, który powinien być ustalony na podstawie dotychczasowego przebiegu robót, prognozy tempa przyszłych prac, doświadczenia i wiedzy menadżera projektu.

W klasycznej metodzie EVM czas potrzebny do zakończenia robót prognozowano na podstawie następującej formuły [Webb 2008]:

$$PDWR = \frac{PD - (AD * SPI)}{SPI} \quad (4)$$

gdzie  $PD$  (Planned Duration) - planowany czas realizacji inwestycji,  $SPI$  (Schedule Performance Index) - wskaźnik wykonania harmonogramu (2). Jednak podczas licznych badań stwierdzono, że ta formuła niezbyt efektywnie wyznacza poszukiwany czas zakończenia robót i w literaturze podano kilka innych metod jego obliczania.

W artykule skupiono się na trzech podstawowych metodach prognozowania: PVM (Planned Value Method), EDM (Earned Duration Method) i ESM (Earned Schedule Method). Poniżej podano wzory do wyznaczania prognozowanego czasu wszystkimi trzema metodami. We wzorach starano się zachować oryginalne oznaczenia, używane przez autorów tych metod, a odwołania do synonimów używanych oznaczeń podano w objaśnieniach do wzorów.

### Planned Value Method (PVM)

Autorem tej metody jest Anbari [2003]. Podobnie, jak w pozostałych opisanych poniżej metodach, rozróżnił on trzy możliwe scenariusze przebiegu niewykonanych dotychczas robót:

- Jeżeli pozostały czas do zakończenia ma być zgodny z planem

$$ETTC_{PV1} = PD - TV \quad (5)$$

gdzie  $TV$  (Time Variance)

$$TV = \frac{SV}{PV_{Rate}} = \frac{SV * PD}{BAC} = \frac{(EV - PV)}{BAC} * PD \quad (6)$$

gdzie  $SV$  (Schedule Variance) - odchylenie od harmonogramu, czyli różnica między  $BCWP$  i  $BCWS$  ( $I$ ),  $PV_{Rate}$  (Planned Value Rate) - średni, planowany przerób przypadający na przyjętą jednostkę czasu np. miesiąc,  $EV$  (Earned Value) - wartość wypracowana oznaczana też  $BCWP$ ,  $PV$  (Planned Value) - planowany koszt planowanej pracy czyli końcowa wartość  $BCWS$ ,  $BAC$  (Budget At Completion) - planowany koszt wykonania obiektu.

- Jeżeli pozostały czas do zakończenia robót ma być zgodny z aktualnym tempem prowadzenia robót odniesionym do planowanych kosztów, należy odwołać się do wskaźnika  $SPI$  (2)

$$ETTC_{PV2} = \frac{PD}{SPI} \quad (7)$$

- Jeżeli pozostały czas do zakończenia robót ma być zgodny nie tylko z dotychczasowym tempem odniesionym do planowanych kosztów, lecz również uwzględniać faktyczne przeroby finansowe na budowie, należy zastosować wskaźnik  $SCI$

$$ETTC_{PV3} = \frac{PD}{SCI} \quad (8)$$

gdzie  $SCI$  (Schedule Cost Index lub  $CR$  - Critical Ratio) - wskaźnik krytyczny

$$SCI = SPI * CPI \quad (9)$$

gdzie *CPI* (Cost Performance Index) - wskaźnik wykonania budżetu

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP} \quad (10)$$

### Earned Duration Method (EDM)

Autorem tej metody jest Jacob [2003]. Sumaryczny czas całej inwestycji składa się z dwóch elementów: czasu jaki już upłynął *AD* oraz czasu jaki jest potrzebny na zakończenie robót *PDWR* z indeksem wskazującym na metodę Earned Duration:

$$ETTC_{ED} = AD + PDWR_{ED} \quad \text{gdzie} \quad (11)$$

$$PDWR_{ED} = \frac{(PD - ED)}{PF} \quad (12)$$

gdzie *ED* (Earned Duration) to wypracowany czas, czyli czas, jaki pierwotnie był planowany na zrealizowanie tego, co zostało wykonane

$$ED = AD * SPI \quad (13)$$

a *PF* (Performance Factor) to wskaźnik wykonania zależny od charakteru obiektu, pozwalający ocenić czy dotychczasowe tempo prac zostanie utrzymane.

Jeżeli zakładamy, że tempo planowanych prac zostanie utrzymane wówczas możemy założyć *PF=1* i wówczas:

$$PDWR_{ED1} = (PD - ED) \quad (14)$$

$$ETTC_{ED1} = AD + PDWR_{ED1} = AD + PD - AD * SPI = PD + AD * (1 - SPI) \quad (15)$$

Jeżeli zakładamy, że tempo planowanych prac będzie takie jak dotychczas, wówczas możemy założyć *PF=SPI* i wówczas:

$$PDWR_{ED2} = \frac{(PD - ED)}{SPI} \quad (16)$$

$$ETTC_{ED2} = AD + PDWR_{ED2} = AD + \frac{(PD - AD * SPI)}{SPI} = \frac{PD}{SPI} \quad (17)$$

Jeżeli natomiast zakładamy, że tempo planowanych prac będzie wypadkową nie tylko dotychczas utrzymywanego tempa prac, ale również dotychczasowego przerobu finansowego, wówczas możemy założyć *PF=SCI* i wówczas:

$$PDWR_{ED3} = \frac{(PD - ED)}{SCI} \quad (18)$$

$$ETTC_{ED3} = AD + PDWR_{ED3} = AD + \frac{(PD - ED)}{SCI} = \frac{PD}{SCI} + AD * \left(1 - \frac{1}{CPI}\right) \quad (19)$$

Jeżeli obliczenia należy wykonać w okresie, gdy termin aktualizacji *AD* przekroczył termin planowany zakończenia robót *PD* (czyli realizacja trwa już dłużej niż planowano) we wzorach (14), (16) i (18) wartość *PD* należy zastąpić *AD* czyli otrzymamy formuły:

$$PDWR_{ED1} = (AD - ED); PDWR_{ED2} = \frac{(AD - ED)}{SPI}; PDWR_{ED3} = \frac{(AD - ED)}{SCI} \quad (20)$$

W metodzie EDM wprowadzony został dodatkowo jeszcze jeden wskaźnik nazwany *TCSPI* (To Complete Schedule Performance Index). Wskazuje on dodatkowy wysiłek, jaki należy podjąć, aby ukończyć projekt w założonym terminie.

$$TCSPI = \frac{(PD - ED)}{(PD - AD)} \quad (21)$$

Jeżeli termin zakończenia robót został przesunięty, za wartość *PD* w mianowniku można wstawić nowy, dyrektywny termin zakończenia robót, nazywany *LRS* (Letest Revised Schedule). Wówczas dodatkowy wysiłek można obliczyć formułą:

$$TCSPI(LRS) = \frac{(PD - ED)}{(LRS - AD)} \quad (22)$$

### Earned Schedule Method (ESM)

W metodzie ESM (której autorem jest Lipke [2009]) kluczowym parametrem jest tzw. *ES* (Earned Schedule) czyli czas, jaki pierwotnie był planowany na zrealizowanie tego, co zostało wykonane (podobnie jak parametr *ED* w metodzie EDM, jednak jego sposób wyznaczania jest nieco inny). W klasycznej metodzie Earned Value odchylenie od harmonogramu *SV* (1) było mierzone „w pionie”, wzdłuż osi rzędnych, jako różnica *BCWP - BCWS* i wyrażane w jednostce walutowej. W ten sposób poprzez jednostki wyrażone w pieniądzu starano się pokazać opóźnienie (przyśpieszenie) wykonywanych robót. Taki sposób wyznaczania opóźnienia często był podnoszony jako jeden z głównych zarzutów w stosunku do metody Earned Value. W metodzie ESM parametr *ES* wyznaczany jest ze wzoru:

$$ES = C + \frac{(EV - PV_C)}{(PV_{C+1} - PV_C)} \quad (23)$$

gdzie *C* to liczba okresów aktualizacji od początku robót do dnia bieżącej aktualizacji, w których skumulowana wartość *PV* (czyli planowany koszt planowanej pracy, *BCWS*) w kolejnych okresach aktualizacji od początku robót jest mniejsza od bieżącej, skumulowanej wartości *EV* (czyli wartości wypracowanej *BCWP*), *EV* - skumulowana wartość wypracowana (*BCWP*) w okresie bieżącej aktualizacji a *PV<sub>C</sub>*, *PV<sub>C+1</sub>* to skumulowana wartość *PV* (*BCWS*) w okresie *C*, *C+1* itd.

Znając wartość *ES* wyznaczamy *PDWR* i *ETTC*:

$$ETTC_{ES} = AD + PDWR_{ES} \quad \text{gdzie} \quad (24)$$

$$PDWR_{ES} = \frac{(PD - ES)}{PF} \quad (25)$$

gdzie  $PF$  (Performance Factor) podobnie jak w metodzie EDM to wskaźnik wykonania zależny od charakteru obiektu, pozwalający ocenić czy dotychczasowe tempo prac zostanie utrzymane. W zależności od oceny projektu stosujemy:

- jeżeli zakładamy, że tempo planowanych prac zostanie utrzymane wówczas możemy założyć  $PF=1$  i wówczas:

$$PDWR_{ES1} = (PD - ES); ETTC_{ES1} = AD + PDWR_{ES1} = AD + PD - ES \quad (26)$$

- jeżeli zakładamy, że tempo planowanych prac będzie takie jak dotychczas, wówczas możemy założyć  $PF=SPI(t)$  i wówczas:

$$PDWR_{ES2} = \frac{(PD - ES)}{SPI(t)} \quad (27)$$

$$\text{gdzie } SPI(t) = \frac{ES}{AD} \quad (28)$$

- jeżeli natomiast zakładamy, że tempo planowanych prac będzie wypadkową nie tylko dotychczas utrzymywanego tempa prac, ale również dotychczasowego przerobu finansowego, wówczas możemy założyć  $PF=SCI(t)$  i wówczas: [Vandevoorde, Vanhoucke 2006]

$$PDWR_{ES3} = \frac{(PD - ES)}{SCI(t)} \text{ gdzie} \quad (29)$$

$$SCI(t) = SPI(t) * CPI \quad (30)$$

W metodzie tej, podobnie jak w metodzie EDM, również można wyznaczyć indeksy  $TCSPI$  (To Complete Schedule Performance Index):

$$TCSPI(t) = \frac{(PD - ES)}{(PD - AD)} \quad (31)$$

$$TCSPI(t) - LRS = \frac{(PD - ES)}{(LRS - AD)} \quad (32)$$

gdzie  $LRS$  (Letest Revised Schedule) to nowy, dyrektywny termin zakończenia robot.

## BADANIA EMPIRYCZNE

Obliczenia, które przeprowadzono miały dwa podstawowe cele:

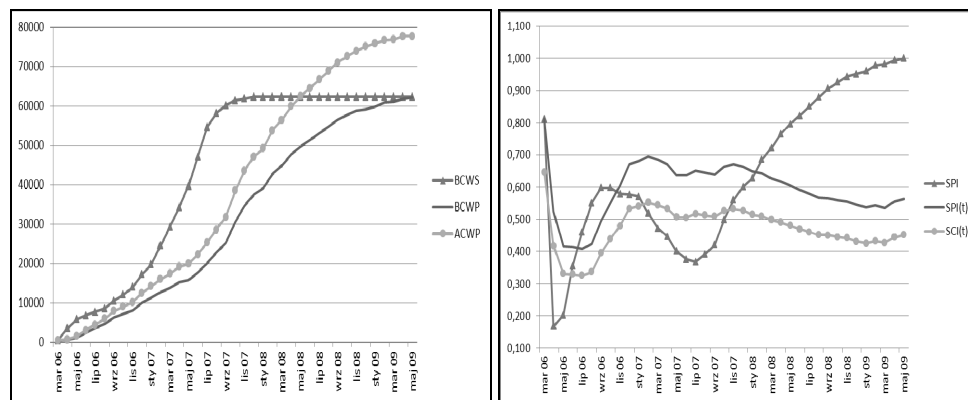
- porównanie uzyskanych opisanymi powyżej metodami wartości prognozowanych czasów zakończenia robót w zmieniających się warunkach, w zależności od zaawansowania robót na budowie,
- sprawdzenie, który z trzech używanych we wszystkich analizowanych metodach wskaźników  $PF$  najlepiej nadaje się do wyznaczenia prognozy.

Obiekt, dla którego dysponowano niezbędnymi danymi i na podstawie którego przeprowadzono wszystkie opisane obliczenia [Komendarek 2010,

Połośki, Komendarek 2011], to samodzielny, duży, kubaturowy budynek użyteczności publicznej wyposażony we wszystkie niezbędne instalacje. Budynek posiada dwie kondygnacje podziemne i dziewięć kondygnacji nadziemnych. Powierzchnia całkowita budynku to ok. 16500 m<sup>2</sup>, powierzchnia użytkowa - 9600m<sup>2</sup> a kubatura 75000m<sup>3</sup>. Realizacja inwestycji zaplanowana została przez Generalnego Wykonawcę na 23 miesiące (rozpoczęcie - marzec 2006, zakończenie - grudzień 2007) a koszt realizacji na 62,267 mln. zł. Faktyczne zakończenie robót nastąpiło w maju 2009 roku po 39 miesiącach od rozpoczęcia robót a całkowity koszt robót wyniósł 77,627 mln zł. Śledzenie miesięcznych raportów na temat rzeczowego postępu robót oraz sporządzanych krzywych *BCWP* i *ACWP* na tle znanej od początku krzywej *BCWS*, pozwoliło na bieżąco dokonywać oceny ponoszonych wydatków na tle wartości planowanych, a w efekcie prognozować m.in. czas, jaki zajmie realizacja całej inwestycji (*ETTC*).

Wszystkie obliczenia wykonano samodzielnie w programie Excel, na podstawie przedstawionych powyżej wzorów, stosując miesięczne raporty zawierające dane na temat planowanych kosztów *BCWS*, zaawansowania rzeczowego, wartości wypracowanej *BCWP* oraz faktycznie poniesionych kosztów za wykonane prace *ACWP*. Przy wyznaczaniu wartości *ES* i *SPI(t)* w metodzie *ESM* skorzystano z arkusza obliczeniowego do wyznaczania tych parametrów udostępnionego przez Like [2006], przy czym arkusz ten został przez autora nieco zmodyfikowany. Poniżej w postaci wykresów przedstawiono skondensowane, najważniejsze rezultaty badań.

Rysunek 2. Wartości podstawowych parametrów charakteryzujących przebieg robót w czasie budowy



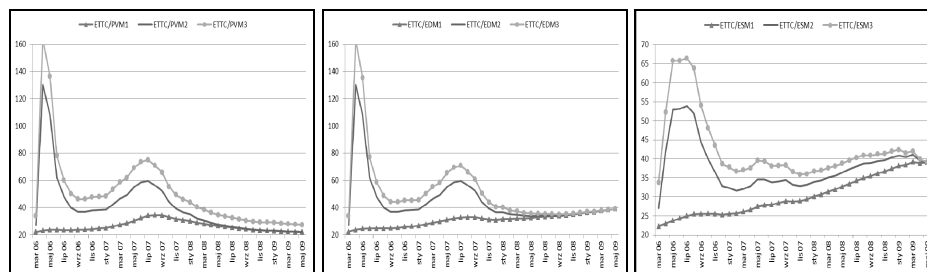
Źródło: obliczenia własne

Na rys. 2 z lewej strony przedstawiono przebieg wartości podstawowych monitorowanych parametrów a więc planowanych kosztów *BCWS*, wartości wypracowanej *BCWP* i realnie ponoszonych kosztów *ACWP*. Jak można zauważyć wartość *BCWP* od planowanego terminu zakończenia robót (12.2007) utrzymuje



się na stałym poziomie, natomiast krzywe *BCWP* i *ACWP* rosną do czasu faktycznego zakończenia prac (05.2009), przy czym ponoszone koszty wyraźnie przekraczają wartości planowane. Na tym samym rysunku z prawej strony przedstawiono przebieg wartości głównych wyliczanych wskaźników, na podstawie których, oblicza się całkowity planowany czas trwania inwestycji *ETTC*. Przebieg wartości wskaźników *SPI(t)* i *SCI(t)* w czasie jest dosyć podobny, tylko nieco przesunięty co do wartości (wskaźnik *SPI(t)* jest nieco większy od *SCI(t)*), natomiast wskaźnik *SPI* przyjmuje zupełnie inne wartości, szczególnie od momentu planowanego zakończenia robót.

Rysunek 3. Prognozowany całkowity czas trwania inwestycji *ETTC* wyznaczony metodami PVM, EDM i ESM przy różnych scenariuszach wyznaczania parametru *PF*



Źródło: obliczenia własne

Na rys. 3 przedstawiono zestawienie zmieniającego się przebiegu prognozowanego całkowitego czasu trwania inwestycji *ETTC* wyznaczonego metodami PVM, EDM i ESM, przy czym w każdej z tych metod rozpatrzono trzy możliwe scenariusze: pierwszy, gdy wskaźnik wykonania *PF* zakłada przebieg dalszych robót zgodny z planem; drugi, gdy wskaźnik *PF* ma być zgodny z dotychczasowym tempem prowadzenia robót oraz trzeci, gdy wskaźnik *PF* ma być zgodny nie tylko z dotychczasowym tempem prac, lecz również uwzględniać faktyczne uzyskiwane przeroby finansowe na budowie. We wszystkich trzech metodach łatwo zauważyć na samym początku robót charakterystyczny skok planowanych wartości *ETTC* nawet do ok. 160 miesięcy (dla drugiego i trzeciego scenariusza wskaźnika *PF*), przy czym w metodzie ESM jest on znacznie mniejszy, bo sięga maksymalnie 66 miesięcy. Skok ten jest spowodowany bardzo wolnym tempem prowadzonych robót w kilku pierwszych miesiącach budowy, co natychmiast przekłada się na prognozowany czas trwania robót. Jednak w dalszych miesiącach we wszystkich metodach wartości *ETTC* znacznie spadają i wahają się w granicach ok. 20 do 70 miesięcy. Rozpatrując każdą metodę oddzielnie należy zauważyć, że w przypadku metody PVM po przekroczeniu planowanego terminu zakończenia robót, prognozowane czasy *ETTC* cały czas spadają (i to przy wszystkich rodzajach wskaźników *PF*) wbrew wyraźnej tendencji faktycznego wydłużania robót. Taki wynik w dużej mierze podważa wiarygodność

uzyskiwanych wyników tą metodą. W metodach EDM i ESM tej tendencji już się nie zauważa.

W metodzie EDM po przekroczeniu planowanego terminu zakończenia prognozowane wartości *ETTC* są bardzo zbieżne dla wszystkich scenariuszy parametru *PF*, jednak biorąc pod uwagę prognozę wyznaczoną na pół roku przed planowanym zakończeniem robót (07.2007), odbiega ona dosyć znacznie od ostatecznej wartości.

Wyraźnie najlepsze rezultaty osiągnięto metodą ESM przy zastosowaniu drugiego i trzeciego scenariusza wskaźnika *PF*. Szacowane wartości prognozowanego czasu *ETTC* są najbardziej stabilne i już po roku prowadzenia robót (to znaczy po ok. 30% faktycznego czasu realizacji prac) ustalają się w zakresie ok. 35-40 miesięcy, co potwierdziło się w praktyce.

## PODSUMOWANIE

Dysponując wiarygodnym harmonogramem planowanych robót budowlanych oraz prowadząc właściwie opracowaną metodycznie kontrolę postępu prac można wiarygodnie prognozować całkowity czas trwania robót a tym samym termin zakończenia budowy. Do wyznaczenia takiej prognozy należy dysponować regularnymi, wiarygodnymi raportami na temat rzeczowego zaawansowania planowanych robót, kosztów planowanych *BCWS*, wartości wypracowanej *BCWP* oraz faktycznych ponoszonych kosztów *ACWP*. Tak zebrane dane stanowią podstawę do wyliczenia dalszych wskaźników obrazujących w syntetycznej formie przebieg prac na budowie i wyznaczenia prognozy terminu zakończenia robót *ETTC*.

Rozpatrując uzyskane wyniki obliczeń na szczególną uwagę zasługuje metoda Earned Schedule (ESM). Pozwala ona najbardziej stabilnie i wiarygodnie prognozować całkowity czas trwania inwestycji, przy czym wskazane jest równoczesne rozpatrywanie drugiego i trzeciego scenariusza przebiegu dalszych robót (wskaźnika *PF*) a więc opartego na założeniu utrzymywania dotychczasowego tempa prac (wyznaczonego wskaźnikiem *SPI(t)*) oraz równoczesnego uwzględnienia dotychczasowego tempa robót i przerobu finansowego (wyznaczonego wskaźnikiem *SCI(t)*). Przy wykonywaniu obliczeń tą metodą pomocny jest arkusz obliczeniowy udostępniony przez autora tej metody [Lipke 2006] do obliczania wartości *ES* i *SPI(t)*, a dalsze obliczenia można wykonać samemu np. w programie Excel w oparciu o podane w artykule wzory.

Wskazane jest prowadzenie dalszych badań nad możliwością prognozowania czasu trwania robót budowlanych, szczególnie z uwzględnieniem ich specyficznych warunkach realizacji, zwłaszcza metodą ESM.

**BIBLIOGRAFIA**

- Anbari F. (2003) Earned value method and extensions, *Project Manage Journal*, Dec. 34(4), p.12–23.
- Jacob D. (2003) Forecasting project schedule completion with earned value metrics, *The Measurable News* (March), 1. p. 7–9.
- Lipke W. (2009) Project Duration Forecasting ...a comparison of Earned Value Management methods to Earned Schedule, *The Measurable News* (May) 2, p. 24-31.
- Lipke W. (2006) <http://www.earnedschedule.com/Calculator.shtml>
- Komendarek P (2010) Bieżąca kontrola kosztów wykonania robót budowlanych na przykładzie budowy Naczelnego Sądu Administracyjnego przy ul. Boduena w Warszawie, maszynopis, SGGW.
- Połośki M., Komendarek P. (2011) Bieżąca kontrola kosztów realizacji obiektu budowlanego metodą earned value, *Metody ilościowe w badaniach ekonomicznych*, Tom XII/2 - s. 279-290.
- Skorupka D. (2009) Method of planning construction projects taking into account risk factors, *Operations Research and Decision*, Wrocław, p. 119-128.
- Szczurowski L. (2008) Metoda Earned Value - materiał wykładowy <http://www.ioz.pwr.wroc.pl/pracownicy/szczurowski/piwz/EV.pdf>
- Webb A. (2008) Wartość wypracowana w praktyce, PROED, Warszawa.
- Wilkens T. (1999) Earned Value, Clear and Simple, Primavera Systems, materiały w formacie PDF.
- Vandevoorde S., Vanhoucke M. (2006) A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics. *International Journal of Project Management* 24 (2006) s. 289–302.

**FORECASTING CIVIL STRUCTURE DURATION  
ON THE BASIS OF PROGRESS OF WORKS**

**Abstract:** During construction works one of the most important duties of a project manager is to control progress of construction works with relation to scheduled deadlines and budget. A method allowing following both of aforementioned indicators with relation to progress of works is the EVM. This article focuses on forecasting civil structure duration. In literature one can find various methods of how to use chosen indicators to forecast civil structure duration. The aim of this article is to list few most important of this methods and show results of each, using the example of a large enclosed structure constructed in Warsaw in last years. The article reveals one method which, in given situation, proved to be the most accurate against real time of duration of construction works.

**Keywords:** earned value, earned schedule, forecasting duration, civil structure