

Metody ilościowe w zarządzaniu projektem na przykładzie kontraktu budowlanego

<https://doi.org/10.33141/po.2008.11.10>

Przeład Organizacji, Nr 11 (826), 2008, ss. 35-38

www.przeładorganizacji.pl

Towarzystwo Naukowe Organizacji i Kierownictwa (TNOiK)

Tomasz Stryjewski

Wprowadzenie

Przedsiębiorstwo jest szczególnie ważnym podmiotem życia gospodarczego. To ono gromadzi i przetwarza czynniki produkcji na produkty i usługi. Wydaje się jednak, że w dzisiejszych czasach podział przedsiębiorstw na produkcyjne i usługowe zaciera się coraz bardziej. Dostosowanie do nowych potrzeb, wyzwania konkurencji i nowych rynków sprawiają, że często produkcja jest prowadzona w małych seriach na zamówienie, co ma właściwości działalności usługowej. P. F. Drucker wyróżnił trzy systemy produkcji prowadzone w przedsiębiorstwach [Drucker, 2005, s. 159]:

- produkcja jednostkowa,
- produkcja masowa,
- produkcja w procesie ciągłym.

Celem artykułu jest prezentacja metod kontroli kosztów w przedsiębiorstwie działającym na podstawie produkcji jednostkowej na przykładzie przedsiębiorstwa budowlanego.

Optymalizacja kontraktu budowlanego

Kontrakt w przedsiębiorstwie budowlanym jest rodzajem projektu wykonywanego na zlecenie. Niezależnie od wykonania samego projektu budowlanego (budynku, drogi itp.), kontrakt jest przedsięwzięciem jednorazowym. Zarządzający kontraktem muszą optymalizować decyzje w fazie przygotowań ze względu na różne, newralgiczne czynniki. Do tych czynników należy przede wszystkim koszt, ale również zużycie materiałów trudno dostępnych. Optymalizacja kontraktu następuje również ze względu na czas. Kontrakt składa się z kilku faz organizacyjnych: koncepcji (wykonuje inwestor), wyceny, projektowania (w zależności czy kontrakt zawiera również wykonanie projektu budowlanego), przygotowania produkcji (harmonogramy, przydział pracowników itp.), produkcji (budowa). W każdym z tych etapów dokonuje się optymalizacji i kontroli. Jednakże nacisk na optymalizację kładziony jest w fazach przygotowawczych, a na kontrolę we wszystkich fazach.

Model logitowy w opisie zachowania przedsiębiorstwa wobec podwykonawców

W przedsiębiorstwie przeprowadzono badanie wpływu poszczególnych elementów oferty podwykonawców na prawdopodobieństwo uzyskania przez nich kontraktu. Badanie przeprowadzono dla grupy podwykonawców ubiegających się o prace budowlane w branży elektrycznej oraz sanitarnej na jednej z budów badanego przedsiębiorstwa. Analizowano wpływ takich elementów oferty, jak: procentowe odchylenie od oczekiwanej ceny – budżetu, termin wykonania w dniach (wszystkie terminy wykonania zawarte w ofertach mieściły się terminie naznaczonym przez inwestora), zgodność technologii – zmienna 0-1, termin płatności w dniach, kompleksowość oferty podwykonawcy – zmienna 0-1, liczba posiadanych referencji z danego zakresu na prawdopodobieństwo przejścia oferenta do ostatecznych negocjacji, z których wyłoniony zostanie jeden wykonawca na poszczególne rodzaje robót.

W badaniu wykorzystano model logitowy, który jest szczególnym przypadkiem funkcji logistycznej, której poziom nasycenia wynosi 1 [por. Wiśniewski, 1986, s. 138]. Transformacja logitowa polega na zamianie prawdopodobieństwa z przedziału (0,1) na przedział $(-\infty, +\infty)$, tj. na logity w następujący sposób [Koško, Osińska, Stempińska, 2007, s. 180]:


$$L_i = \ln \frac{P_i}{1-P_i}, \text{ a następnie wartość logitów } L_i \text{ podstawia}$$

się w miejsce zmiennej objaśnianej w modelu ekonometrycznym. Jeżeli zapiszemy liniowy model ekonometryczny o postaci:

$$Y = X\alpha = \ln \frac{P}{1-P}$$

gdzie: X jest macierzą argumentów (tu zmiennych objaśniających), α jest wektorem ocen parametrów, a P jest prawdopodobieństwem wyrażonym jako:

$$P = \frac{\exp Y}{1 + \exp Y}, \text{ to uzyskując rozwiązanie ze względu}$$

na P , otrzymujemy funkcję logistyczną o postaci: 

$$P = \frac{1}{1 + \exp[-(X\alpha)]}$$

W modelu logitowym zmienność argumentów obserwowanych w przedziale $[0, \infty)$, wyrażonych w jednostkach naturalnych, wartościowych lub względnych, wywołuje zmienność zmiennej objaśnianej w przedziale $(0, 1)$ [Wiśniewski, 1986, s. 138].

Wyniki estymacji modelu logitowego dla równania opisującego prawdopodobieństwo przejścia przez podwykonawcę do ostatecznej rundy negocjacji przedstawia model 1:

$$\text{wybór} = 1 / (1 + \exp[-(-3,47 + 3,04 \times \text{po} + 23,83 \times \text{oc})])$$

gdzie: wybór – oznacza zmienną 0-1 (1 – oznacza przejście do ostatecznej rundy negocjacyjnej, 0 – odpadnięcie z negocjacji), po – zmienna 0-1 (1 – oznacza fakt przedstawienia oferty na pełen zakres prac), oc – oznacza procentowe odchylenie ceny oferenta od oczekiwanej ceny wyjściowej. Pozostałe miary dopasowania dla modelu 1:

1. Liczba przypadków „poprawnej predykcji” – 13 (z 16)
2. Pseudo R2 McFaddena = 0,51367
3. Oceny parametrów są istotne statystycznie.

Największe prawdopodobieństwo uzyskania kontraktu ma podwykonawca prezentujący ofertę na pełen zakres robót i z najniższą ceną. Model 1 potwierdza zatem fakt optymalizacji kosztowej (wpływ odchylenia cenowych o ujemnej dużej sile na prawdopodobieństwo uzyskania kontraktu przez podwykonawcę), jak również optymalizacji organizacyjnej, przez zatrudnianie firm oferujących pełen zakres prac w danej branży.

Metoda EVM

Optymalizacja działań i ich kontrola sprawiają, że w przedsiębiorstwie o produkcji charakteryzującej się jednorazowością nie wystarcza prowadzenie jedynie rachunkowości finansowej. System sprawozdawczy opiera się na rachunkowości zarządczej. Jednym z przykładów jest metoda Earned Value Management (EVM) [por. Fleming, Koppelman, 2002; Anbari, 2003; Warhoe, 2004; Vargas, 2005; Zimmerman, 2006]. Metoda ta nawiązuje do koncepcji ścieżki krytycznej (CPM) [zob. Wagner, 1980]. Opiera się ona na „wartości zrealizowanej” – *earned value*, jako wartości prac zrealizowanych na podstawie odpowiedniego harmonogramu i budżetu. Metoda ta jest wykorzystywana do tworzenia informacji istotnych dla menedżera projektu w procesie kontroli przyszłych kosztów wykonywanego projektu. Informacje te służą do oceny – czy projekt jest realizowany zgodnie z zatwierdzonym budżetem i harmonogramem prac. Metoda EVM opiera się na dwóch zasadach: następuje

podział na autonomiczne, powiązane ze sobą zadania oraz jasno definiuje się zakres odpowiedzialności w projekcie [Zimmerman, 2006]. Zaletą metody EVM jest:

- integracja wykonywanych zadań z ich kosztem i harmonogramem wykonania,
- możliwość zarządzania ryzykiem projektu,
- możliwość obiektywnego oszacowania stopnia zaawansowania projektu (zaawansowania rzeczowego, kosztowego, przychodowego i terminowego),
- możliwość przewidywania przyszłych działań, zarówno w sferze rzeczowej, jak i finansowej.

Metoda ta posługuje się kilkoma kategoriami [Fleming, Koppelman, 2002; Anbari, 2003; Warhoe, 2004; Vargas, 2005]:

PV – *planned value*, budżet zadań w poszczególnych okresach (PV_t)

$$PV_t = PV \times WH(\%)$$

WH(%) – wskaźnik zaawansowania projektu wynikający z harmonogramu,

EV – *earned value*, wartość zadań zakończonych do momentu sprawozdania według wartości budżetu,

$$EV = PV \times WZ(\%)$$

WZ(%) – wskaźnik zaawansowania projektu w dniu pomiaru,

AC – *actual cost*, poniesiony koszt zakończonych zadań,

ETC – *estimate to complete*, przewidywane koszty okresów przyszłych.

Posługując się powyższymi kategoriami w metodzie EVM dokonuje się pomiarów kontrolnych za pomocą miar:

✓ odchylenie od kosztów

$$CV = EV - AC$$

✓ odchylenie od harmonogramu

$$SV = EV - PV$$

✓ wskaźnik kosztów

$$CPI = \frac{EV}{AC}$$

✓ wskaźnik wykonania planu

$$SPI = \frac{EV}{PV}$$

✓ przewidywane koszty projektu

$$EAC = AC + ETC$$

W związku z faktem, że wartość *ETC* nie jest do końca znana, przewidywane koszty projektu można szacować w sposób niezależny od tej wartości za pomocą wzoru:

$$IEAC = AC + \frac{(PV - EV)}{CPI}$$

Metoda EVM, skupia się w dużej mierze na kontroli projektu w momencie jego pomiaru, kontroli zgodności z harmonogramem. Natomiast najważniejszym elementem wynikającym z tej metody jest estymacja łącznych kosztów projektu EAC. W przypadku kontraktu budowlanego można inaczej zapisać wzór na EAC:

$$EAC = KZ + SKN$$

gdzie: *KZ* – koszt zakontraktowanych zadań według podpisanych umów z podwykonawcami, *SKN* – szacunek kosztów niezakontraktowanych. Dokonywany jest on najczęściej metodą ekspercką na podstawie ofert rynkowych.

Taki szacunek kosztu całkowitego projektu jest mniej zależny od czasu, gdyż umowy podpisane są najczęściej na całość zadania (co potwierdza model 1). Koszt umowy pozwala z bardzo dużym prawdopodobieństwem oszacować przewidywany koszt wykonania zadania, jest ona bowiem dobrym estymatorem kosztu wykonania zadania.

Powyższy wzór należałoby rozszerzyć dodatkowo o element ryzyka związany z czasem. Opóźnienie w stosunku do harmonogramu w poszczególnych zadaniach może skutkować opóźnieniem inwestycji budowlanej, a to z kolei kosztami karnymi. Zatem pełny wzór na szacunek kosztów inwestycji budowlanej zaprezentowano poniżej:

$$EAC = KZ + SKN + \Delta T \times KO \times \alpha$$

gdzie: *KO* – odsetki karne za dzień zwłoki, *T* – opóźnienie inwestycji w dniach, α – zmienna 0–1 określająca wystąpienie opóźnienia dla całej inwestycji.

Różnice pomiędzy *IEAC* a *EAC* wynikają ze sposobu estymacji tego kosztu. W przypadku *EAC* koszty *SKN* szacowane są metodą ekspercką (w tym przypadku przez kierownika kontraktu na podstawie zebranych ofert rynkowych i jego wiedzy). *IEAC* szacuje koszty poprzez inercję kształtowania się relacji kosztowych w poprzednich okresach, stosując swego rodzaju wygładzanie. Jednak w przypadku kontraktu budowlanego koszty nie przyrastają liniowo, przez co metoda ta przynosi znacznie gorsze efekty.

Tab. 1. Zestawienie metod szacowania całkowitego kosztu inwestycji budowlanej w badanym przedsiębiorstwie

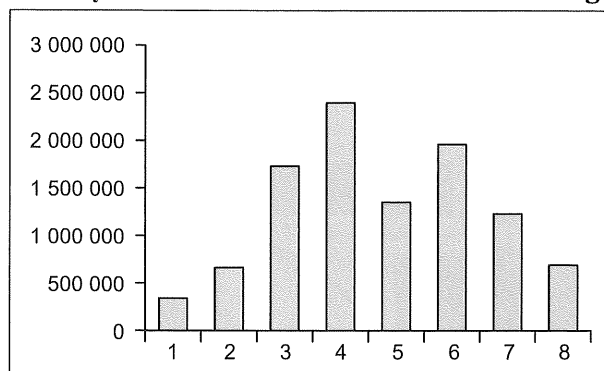
Miesiąc	PV	PV _t	EV	AC	IEAC	EAC	CPI	KZ	SKN
3/2007	11 058,00	3 975,65	3 975,65	2 750,72	7 650,94	11 058,00	1,45	5 814,00	5 244,00
4/2007	11 058,00	5 076,27	5 076,27	5 157,16	11 234,21	11 003,00	0,98	6 024,00	4 979,00
6/2007	11 058,00	10 381,24	10 733,51	8 482,85	8 739,30	10 985,00	1,27	10 775,00	210,00
8/2007	11 058,00	11 058,00	10 898,00	10 414,40	10 567,30	10 898,00	1,05	10 898,00	0,00

Źródło: opracowanie własne.

Prognozowanie kosztu kontraktu

Koszty kontraktu kształtują się zgodnie z cyklem jego życia [por. Duncan, 1996, s. 12]. Początkowo rosną, aby po osiągnięciu maksymalnej wielkości spadać. Kształtowanie się kosztów dla badanego kontraktu przedstawia wykres 1.

Wykres 1. Indeks kosztów w poszczególnych miesiącach trwania kontraktu budowlanego

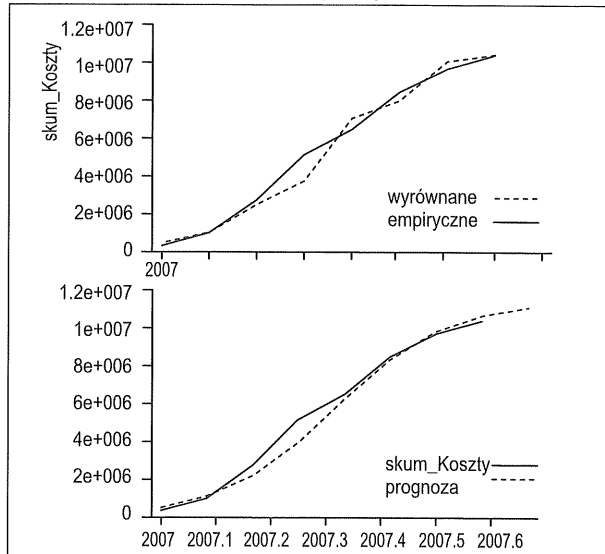


Źródło: obliczenia własne na podstawie danych z badanego przedsiębiorstwa.

Z momentem zakończenia kontraktu nie kończy się jego rozliczenie. Podpisane przez kierownika kontraktu faktury wpływają jeszcze przez co najmniej miesiąc. Dlatego też istotnym elementem modelu opisującego kształtowanie się kosztów kontraktu budowlanego jest umiejętność prognozowania wielkości kosztów, przy małej próbie (kontrakt budowlany w badanym przedsiębiorstwie trwa średnio od 12 do 14 miesięcy, badany projekt trwał 8 miesięcy). Tak mała próba znacznie utrudnia możliwość modelowania kosztów przedsięwzięcia budowlanego.

Skumulowane koszty można opisać za pomocą krzywej logistycznej, tzn. krzywej w formie odwróconej o 90° litery S. W ekonometrii podstawowym sposobem modelowania kosztów jest uzależnienie ich kształtowania się od wielkości produkcji. W przypadku kontraktu budowlanego podjęto próbę modelowania skumulowanych kosztów kontraktu (*AC* – *actual cost*) od procentowego zaawansowania rzeczowego wykonania kontraktu liczonego narastająco od początku budowy (*WZ*(%) – wskaźnik zaawansowania projektu w dniu pomiaru).

Wykres 2. Rzeczywiste i teoretyczne wartości kształtowania się skumulowanych kosztów (AC) dla modelu opisanego przez stopień zaawansowania (wykres u góry) i opisanego przez trend wraz z prognozą kosztów na 1 miesiąc po fizycznym zakończeniu budowy (wykres u dołu)



Źródło: obliczenia własne na podstawie danych z badanego przedsiębiorstwa.

Wyniki estymacji modelu logistycznego z wykorzystaniem 8 obserwacji 2007: 01–2007: 08 prezentuje model 2:

$$AC = \frac{1,14569e + 007}{\{1 + \exp[-(-3,29 + 5,63 \times WZ(\%))]\}}$$

Podstawowe statystyki dla oryginalnych danych:

1. Błąd standardowy reszt = 664931
2. Skorygowany R2 = 0,970867
3. Oceny parametrów modelu są istotne statystycznie
4. Brak autokorelacji reszt.

Model 2 dobrze opisuje kształtowanie się wielkości kosztów w zależności od stopnia zaawansowania kontraktu. Jednak istnieje dalej problem predykcji kosztów, jakie pojawiają się po fizycznym zakończeniu kontraktu budowlanego, kiedy nie można zwiększyć stopnia zaawansowania powyżej 100%. Koszty te są konsekwencją różnicy w czasie pomiędzy datą fizycznego wykonania a dniem fakturowania.

Zbadano zatem możliwość opisanie i predykcji skumulowanych kosztów (AC) za pomocą modelu logistycznego zmiennej czasowej t. Rozwiązanie takie prezentuje model 3.

$$AC = \frac{1,14569e + 007}{\{1 + \exp[-(-3,86 + 0,81 \times t)]\}}$$

Podstawowe statystyki dla oryginalnych danych:

1. Błąd standardowy reszt = 559589
2. Skorygowany R2 = 0,979366
3. Oceny parametrów modelu są istotne statystycznie
4. Brak autokorelacji reszt.

Wartość prognozy dla 9. miesiąca w przypadku zastosowania modelu trendu logistycznego dla sku-

mulowanych kosztów wynosi: 11088,77. Wartość tej prognozy kształtuje się na poziomie budżetu kosztów (tabela 1). Można uznać tę wartość za prawdopodobną. Należy pamiętać o bardzo małej próbie, na podstawie której dokonywano prognozy.

Wnioski

Optymalizacja i kontrola projektu wiąże się z analizą kosztów. Zarówno kosztów wynikających z samych działań w projekcie, jak również kosztów czasu, ponieważ każde działanie lub jego zaniechanie ma wpływ na koszty projektu. Analiza ta może odbywać się za pomocą różnych metod. Każda z nich ma swoje wady oraz zalety i, jak pokazano w artykule, każda może mieć przewagę nad inną w różnych fazach projektu. Zaprezentowana metoda estymacji kosztów kontraktu budowlanego oparta na wartości umów z podwykonawcami i szacunku kosztów niezakontraktowanych sprawdza się jako narzędzie zarządzania kosztami podczas trwania projektu. Predykcja kosztów za pomocą modelu ekonometrycznego pozwala na szacowanie poziomu kosztów po zakończeniu kontraktu.

dr Tomasz Stryjewski

Wyższa Szkoła Informatyki i Ekonomii
Towarzystwa Wiedzy Powszechnej w Olsztynie

BIBLIOGRAFIA

- [1] ANBARI F. T., *Earned Value Project Management Method and Extensions*, „Project Management Journal”, December 2003.
- [2] DRUCKER P. F., *Praktyka zarządzania*, MT Biznes, Warszawa 2005.
- [3] DUNCAN William, R., *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, PMI Standards Committee, Project Management Institute, PA 19082 USA, 1996.
- [4] FLEMING Q. W., KOPPELMAN J. M., *Using Earned Value Management*, Cost Engineering vol. 44/no. 9, September 2002.
- [5] OSIŃSKA M., KOŚKO M., STEMPIŃSKA J., *Ekonometria współczesna*, TNOiK Dom Organizatora, Toruń 2007.
- [6] VARGAS R. V., *Using Earned Value Management Indexes as Team Development Factor and a Compensation Tool*, Cost Engineering vol. 47/no. 5, May 2005.
- [7] WAGNER H., M., *Badania operacyjne*, PWE, Warszawa 1980.
- [7] WARHOE S. P., *The Basics of Earned Value Management*, CSC. 07 AACE International Transactions 2004.
- [8] WIŚNIEWSKI J. W., *Ekonometryczne badanie zjawisk jakościowych. Studium metodologiczne*. UMK, Toruń 1986.
- [9] ZIMMERMAN L. V., *Don't Create Variances During Planning*, EVM. 09 AACE International Transactions, 2006.

Summary

The article presents the project management using quantitative methods on the example of the contract in building industry. The optimization of activities towards subcontractors was analyzed using logit model. This analysis shows the main areas of optimization, namely the costs and the organization of activities during the building process. The Earned Value Management concept and its modification are shown as a tool for the project management and control. In the last part of the article the logistic function model is used to describe the costs of projects and its prediction.