

# Analiza czasowo-kosztowa organizacji robót budowlanych

Mgr inż. Mariusz Szóstak, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego,  
Politechnika Wrocławska

## 1. Wprowadzenie

W procesie inwestycyjnym w budownictwie wyróżnia się następujące etapy: programowanie, projektowanie, realizację i eksploatację. Na podstawie wielu publikacji stwierdzić można, że faza realizacji ma istotny wpływ na czas cyklu procesu inwestycyjnego. Dlatego też bardzo ważne jest opracowanie odpowiedniej metody prowadzenia robót budowlanych. Czynnikiem określającym opłacalność przedsięwzięcia budowlanego jest czas i koszt. Czas jest wielkością, którą można zmierzyć, wyrazić w postaci godzin, dni, tygodni, jednak ze względu na jego nieodwracalność i ciągłość, nie możemy go zaoszczędzić lub zmagazynować [2]. Czas jest również jednym z czynników kosztotwórczych.

## 2. Metody organizacji robót budowlanych

Realizacja dwóch identycznych pod względem rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych obiektów budowlanych wymagać może różnych rozwiązań techniczno-organizacyjnych. Założenia przyjęte na etapie realizacji obiektu zależą od wielu różnych czynników, między innymi od lokalizacji obiektu, istniejących warunków geograficznych i hydrogeologicznych, możliwości wykonawcy. Nawet najdrobniejsze różnice w przyjętych na etapie planowania rozwiązaniach mogą skutkować wydłużeniem lub skróceniem czasu realizacji. Dlatego też każda budowa ma indywidualny charakter, a planując realizację obiektu budowlanego poszukuje się optymalnego rozwiązania dla konkretnych warunków realizacyjnych, spełniającego przyjęte rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe [3].

W literaturze przedmiotu znane są następujące, podstawowe metody organizacji robót budowlanych: równoległego wykonania, kolejnego wykonania oraz metody potokowe. Potokową metodę pracy równomiernej zastosować można wówczas, gdy możliwe jest prowadzenie robót budowlanych przez wyspecjalizowane brygady robocze na wydzielonych działkach roboczych w określonym stałym rytmie czasowym. Jeżeli nie można zagwarantować stałego rytmu roboczego, wówczas pomocne są metody potokowe różnorytmiczne i nierytmiczne uwzględniające sprzężenia czasowe. Są to następujące metody [4]:

- metoda z zerowymi sprzężeniami między środkami realizacji (MSC I), oparta na założeniu, że wyspecjalizowane brygady robocze po zakończeniu roboty na jednej działce roboczej przechodzą bez przestojów na następną działkę roboczą,
- metoda z zerowymi sprzężeniami między frontami roboczymi (MSC II), oparta na założeniu, że na danej działce roboczej natychmiast po zakończeniu poprzedzającego frontu robót rozpoczynają się bez przestojów roboty kolejnego frontu,
- metoda z równoczesnym uwzględnieniem obu rodzajów sprzężeń (MSC III), tj. między środkami realizacji oraz frontami roboczymi, umożliwiającą wyznaczenie ścieżki krytycznej.

Metody potokowej organizacji robót budowlanych mają zastosowanie w przypadku, gdy możliwy jest podział zadania inwestycyjnego na pojedyncze obiekty budowlane, stanowiące działki robocze o takiej samej lub podobnej technice wykonania lub jeżeli realizowane są obiekty liniowe, np. drogi, autostrady lub inne.

Do planowania realizacji obiektów budowlanych zastosować można również metody planowania sieciowego, między innymi metodę CPM, PERT i inne. Metody te polegają na podziale realizowanego zadania na elementy o mniejszej złożoności, skonstruowaniu struktury sieci zależności oraz wyznaczeniu tzw. ścieżki krytycznej, determinującej czas trwania całego przedsięwzięcia. W metodzie CPM zakłada się, że czas potrzebny na wykonanie robót jest zdeterminowany. Wiemy jednak, że czas prowadzenia robót budowlanych zależy w dużej mierze od wielu różnych czynników, między innymi od warunków atmosferycznych. Niekorzystne warunki, takie jak: długie opady deszczu, silne podmuchy wiatru, długo utrzymujące się ujemne temperatury powietrza powodować mogą powstanie utrudnień podczas wykonywania prac i wydłużyć czas wykonania.

Probabilistyczny charakter czasu trwania robót budowlanych założono w metodzie PERT. W metodzie tej istotne jest przyjęcie odpowiedniego do analizowanej sytuacji rozkładu prawdopodobieństwa czasu wykonania robót. Może to być rozkład beta symetryczny lub asymetryczny, rozkład normalny lub trójkątny. Przy czym należy określić trzy wartości czasu: pesymistyczny, optymistyczny oraz najbardziej prawdopodobny [5].

Na etapie planowania robót może to być jednak trudne do określenia i przysparzać wielu kłopotów.

Poza analizą ilościową czasu trwania przedsięwzięcia budowlanego, ważnym zagadnieniem jest określenie całkowitych kosztów realizacji projektu oraz jego finansowanie w czasie. Analizę taką, przy założeniu, że czas wykonania robót budowlanych przyjmuje wartości zdeteterminowane, przeprowadzić można przy użyciu metody planowania sieciowego CPM-COST [1]. Aby zobrazować zależność między czasem i kosztem wykonania obiektu przeprowadzono, dla wybranego przedsięwzięcia budowlanego, prostą analizę porównawczą różnych wariantów organizacji robót budowlanych.

### 3. Metodyka przyjęta do obliczeń

Podmiotem analizy była realizacja kompleksu trzech budynków mieszkalnych charakteryzujących się podobnym rozwiązaniem konstrukcyjno-materiałowym. Były to budynki o podłużnym układzie konstrukcyjnym, 2-klatkowe, czterokondygnacyjne, podpiwniczone. Ściany zaprojektowano z pustaków ceramicznych szczelinowych, stropy z kanałowych żelbetowych płyt prefabrykowanych, dach drewniany dwuspadowy kryty papą na deskowaniu.

Dla przedmiotowych budynków opracowano trzy warianty organizacji robót budowlanych, a następnie zbadano wpływ długości zmiany roboczej na całkowity czas oraz koszt realizacji. Obliczenia przeprowadzono w dwóch etapach. Celem etapu I było znalezienie takiego rozwiązania w obszarze znanych metod organizacji robót budowlanych, które wskazałoby najkrótszy czas realizacji robót. Celem etapu II było zbadanie wpływu zmian w długości czasu trwania zmiany roboczej na przebieg ścieżki krytycznej oraz koszt realizacji robót. Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- analizowany kompleks trzech obiektów podzielono na sześć działek roboczych, na których wydzielono osiem ciągów technologicznych stanowiących roboty wykonywane przez wyspecjalizowane brygady robocze;
- założono, że czas realizacji robót przyjmuje wartości zdeteterminowane. Założenie takie znacznie uprościło proces obliczeń. Dla każdego wyszczególnionego na działce roboczej ciągu robót ustalono, na podstawie katalogów nakładów rzeczowych (KNR), nakłady pracy zasobów ludzkich niezbędnych do ich wykonania. Dla przyjętych założeń organizacyjnych dotyczących składów brygad roboczych oraz długości zmiany roboczej obliczono czas potrzebny do wykonania robót. Przyjęto jednodzianowy, 8-godzinny czas pracy brygad;
- obliczono czas realizacji robót budowlanych dla trzech wariantów organizacji robót odpowiadających trzem podstawowym metodom potokowym opisanym w punkcie 2. Spośród otrzymanych wyników wybrano metodę o najkrótszym czasie wykonania. Metoda ta była podstawą dalszych analiz.

W etapie II przeanalizowano w jaki sposób wydłużenie czasu zmiany roboczej dla robót leżących na ścieżce krytycznej wpłynie na skrócenie całkowitego czasu realizacji kompleksu obiektów, i w jakim stopniu taki zabieg wpłynie na zwiększenie kosztu wykonania. Kolejne obliczenia wykonano przy następujących założeniach:

- procedura skracania czasu wykonania dotyczy tylko robót leżących na ścieżce krytycznej;
- skrócenie wyjściowych czasów trwania poszczególnych zadań powinno uwzględniać możliwości techniczno-organizacyjne wykonawcy;
- każdą czynność można skracać tylko do momentu, gdy czas jej wykonania osiągnie wartość graniczną [1], oznaczającą najkrótszy możliwy ze względów techniczno-organizacyjnych czas wykonania danej czynności;
- przyjęto, że skrócenie czasu wykonania uzyskać można poprzez wydłużenie czasu dniówki roboczej;
- w niniejszej analizie przyjęto, że czas pracy brygad roboczych dla robót znajdujących się na ścieżce krytycznej można wydłużyć do 10 godzin. Wydłużenie dniówki roboczej dla danej brygady spowoduje skrócenie czasu realizacji robót i jednocześnie podniesienie kosztów pracy. Zgodnie z §1, art. 151 Kodeksu pracy [6] „za pracę w godzinach nadliczbowych, oprócz normalnego wynagrodzenia przysługuje dodatek w wysokości [...] 50% wynagrodzenia”;
- wysokość stawki robocizny za pracę w godzinach nadliczbowych przyjęto w formie niemianowanej wynoszącej 1,5 (150% normalnego wynagrodzenia), tak aby była ona niezależna od zmiennej stawki godzinowej w różnych przedsiębiorstwach. Uzyskana z obliczeń wartość pomnożona przez rzeczywistą stawkę godzinową, charakterystyczną dla danego obszaru Polski, da realny całkowity koszt pracy brygad roboczych.

### 4. Analiza czasowa

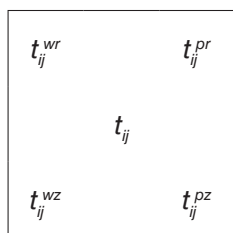
W tabeli 1 zamieszczono wyniki obliczeń czasu realizacji robót uzyskane dla trzech potokowych metod organizacji.

**Tabela 1.** Zestawienie wyników analizy [opracowanie własne]

Lp.	Metoda	Charakterystyka metody	Czas [dni]
1	MSC I	metoda z zerowymi sprzężeniami między środkami realizacji	746
2	MSC II	metoda z zerowymi sprzężeniami między frontami roboczymi	702
3	MSC III	metoda z równoczesnym uwzględnieniem sprzężeń między środkami realizacji i frontami roboczymi	686

Stwierdzono, że najkorzystniejszy czas realizacji kompleksu obiektów uzyskano dla metody uwzględniającej jednoczesne sprzężenia między środkami realizacji i frontami roboczymi (MSC III). Tabela 2 zawiera macierz charakterystyk czasowych uzyskanych w tej

metodzie. Interpretację danych liczbowych zawartych w poszczególnych komórkach macierzy przedstawiono na rysunku 1.



**Rys. 1.** Interpretacja macierzy charakterystyk czasowych, wg [4]

gdzie:

$t_{ij}$  – czas trwania i-tej roboty budowlanej na j-tej działce roboczej,

$t_{ij}^{wr}$  – najwcześniejszy termin rozpoczęcia i-tej roboty budowlanej na j-tej działce roboczej,

$t_{ij}^{pr}$  – najpóźniejszy termin rozpoczęcia,

$t_{ij}^{wz}$  – najwcześniejszy termin zakończenia,

$t_{ij}^{pz}$  – najpóźniejszy termin zakończenia.

Całkowity czas realizacji kompleksu obiektów determinują roboty leżące na ścieżce krytycznej. Roboty te zaznaczono kolorem czerwonym. Dalsze skrócenie czasu realizacji kompleksu, przy zachowaniu założeń metody MSC III, wymaga poniesienia dodatkowych nakładów finansowych związanych z zaangażowaniem dodatkowych zasobów odnawialnych, a mianowicie zasobów ludzkich.

Celem dalszych badań i analiz było znalezienie takiego rozwiązania, które dałoby największe skrócenie czasu re-

alizacji całego kompleksu przy poniesieniu najmniejszych dodatkowych nakładów finansowych. Poszukiwanie takiego rozwiązania przeprowadzono metodą iteracyjną. Dla kolejnych robót krytycznych, zaznaczonych w wejściowej macierzy czasów przedstawionej w tabeli 2 przeprowadzono procedurę skracania czasu obliczając jednocześnie całkowity czas realizacji robót oraz koszty.

W tabeli 3 przedstawiono charakterystyki czasowe dla macierzy wyjściowej uzyskanej po przeprowadzeniu procedury iteracyjnej i skróceniu wszystkich czasów robót leżących na ścieżce krytycznej do wartości granicznych.

## 5. Analiza kosztowa

Dla rozwiązań uzyskanych w kolejnych krokach iteracyjnych obliczono koszty robocizny. Posłużono się metodą planowania sieciowego CPM-COST. Metoda ta pozwala na prowadzenie analiz czasowych planu sieciowego z możliwością sumowania środków produkcji. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe wykresy skumulowanych kosztów robocizny, uzyskane dla trzech podstawowych metod potokowej organizacji robót oraz dwóch wariantów metody MSC III z uwzględnieniem procedury skracania czasu robót leżących na ścieżce krytycznej.

Krzywe S oznaczone jako MSC I, MSC II, MSC III uzyskane zostały dla trzech podstawowych metod potokowych. Z przebiegu tych krzywych wynika, że koszt całkowity realizacji kompleksu robót nie ulega zmianie, jednak rozłożenie w czasie kosztów skumulowanych jest inne. Przebiegi krzywych MSCII i MSC III są zbliżo-

**Tabela 2.** Macierz charakterystyk czasowych uzyskana dla metody z jednoczesnym uwzględnieniem sprzężeń między środkami realizacji i frontami roboczymi [opracowanie własne]

	RZ roboty ziemne		RF roboty fundamentowe		KKP konstrukcja kondygnacji powtarzalnych		KPD konstrukcja, pokrycie dachu		DE docieplenie, elewacja		P posadzki		RM roboty malarskie		RW roboty wykończeniowe	
Działka D	0	6	6	40	40	115	115	157	157	211	211	248	248	283	283	291
	6		34		75		42		54		37		35		8	
	0	6	6	40	40	115	228	270	270	324	414	451	465	500	636	644
Działka C	6	12	40	77	115	197	197	243	243	302	302	342	342	379	379	387
	6		37		82		46		59		40		37		8	
	72	78	78	115	115	197	278	324	324	383	451	491	500	537	644	652
Działka E	12	19	77	116	197	281	281	329	329	389	389	430	430	467	467	476
	7		39		84		48		60		41		37		9	
	151	158	158	197	197	281	335	383	383	443	491	532	537	574	652	661
Działka F	19	26	116	153	281	362	362	408	408	465	465	504	504	540	540	549
	7		37		81		46		57		39		36		9	
	237	244	244	281	281	362	397	443	443	500	532	571	574	610	661	670
Działka A	26	32	153	188	362	440	440	484	484	540	540	578	578	613	613	621
	6		35		78		44		56		38		35		8	
	321	327	327	362	362	440	456	500	500	556	571	609	610	645	670	678
Działka B	32	38	188	221	440	514	514	556	556	609	609	645	645	678	678	686
	6		33		74		42		53		36		33		8	
	401	407	407	440	440	514	514	556	556	609	609	645	645	678	678	686

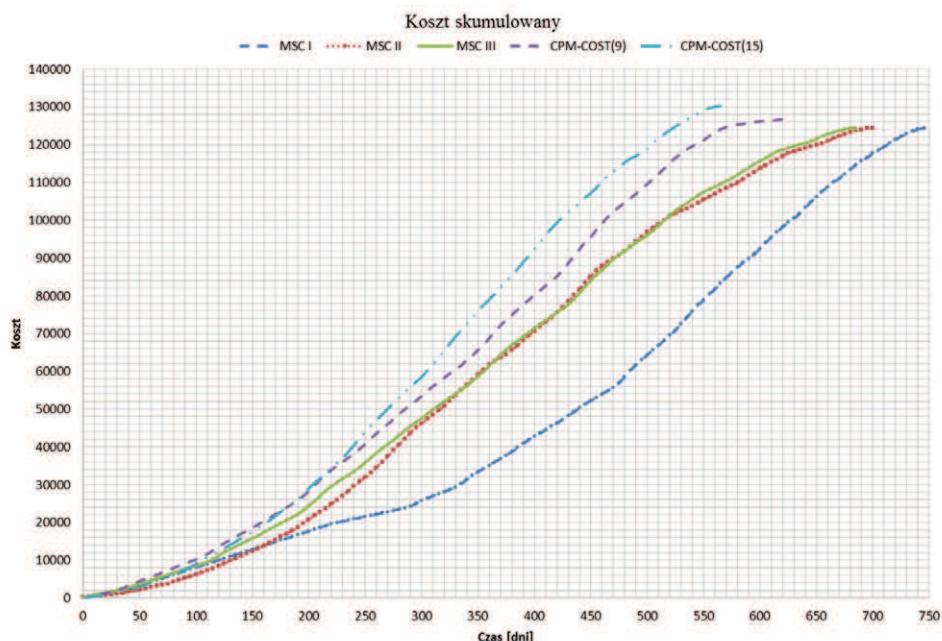
**Tabela 3.** Macierz charakterystyk czasowych uzyskana dla metody z jednoczesnym uwzględnieniem sprzężeń między środkami realizacji i frontami roboczymi po przeprowadzeniu procedury skracania czasu robót krytycznych [opracowanie własne]

	RZ roboty ziemne		RF roboty fundamentowe		KKP konstrukcja kondygnacji powtarzalnych		KPD konstrukcja, pokrycie dachu		DE docieplenie, elewacja		P posadzki		RM roboty malarskie		RW roboty wykończeniowe	
Działka D	0	5	5	33	33	95	95	137	137	191	191	228	228	263	263	271
	5			28		62		42		54		37		35		8
	0	5	5	33	33	95	128	170	170	224	299	336	349	384	514	522
Działka C	5	11	33	70	95	162	162	208	208	267	267	307	307	344	344	352
		6		37		67		46		59		40		37		8
	52	58	58	95	95	162	178	224	224	283	336	376	384	421	522	530
Działka E	11	18	70	109	162	232	232	280	280	340	340	381	381	418	418	427
		7		39		70		48		60		41		37		9
	116	123	123	162	162	232	235	283	283	343	376	417	421	458	530	539
Działka F	18	25	109	146	232	299	299	337	340	397	397	436	436	472	472	481
		7		37		67		38		57		39		36		9
	188	195	195	232	232	299	305	343	343	400	417	456	458	494	539	548
Działka A	25	31	146	181	299	362	362	398	398	454	454	492	492	527	527	535
		6		35		63		36		56		38		35		8
	258	264	264	299	299	362	364	400	400	456	456	494	494	529	548	556
Działka B	31	37	181	214	362	422	422	456	456	500	500	529	529	556	556	562
		6		33		60		34		44		29		27		6
	323	329	329	362	362	422	422	456	456	500	500	529	529	556	556	<b>562</b>

ne. Krzywa S oznaczona jako CPM-COST(9) uzyskana została w 9. kroku iteracji, natomiast krzywa S oznaczona jako CPM-COST(15) uzyskana została po przeprowadzeniu pełnej procedury skracania czasu robót krytycznych, tj. w 15. kroku iteracji.

Na podstawie wyników uzyskanych z przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że wprowadzenie zmian w organizacji pracy brygad roboczych wykonujących roboty leżące na ścieżce krytycznej, polegających na wy-

dłużeniu dniówki roboczej, pozwala na znaczne skrócenie czasu realizacji kompleksu robót. W analizowanym przykładzie zwiększenie kosztów robocizny o 4,7% spowodowane wydłużeniem zmiany roboczej i pracą w godzinach nadliczbowych spowodowało skrócenie czasu realizacji całego kompleksu aż o 18,1%. Takie rozwiązanie może dać wymierne korzyści związane z wcześniejszą eksploatacją obiektów. W tabeli 3 zamieszczono dane liczbowe przedstawiające charakterystyki



**Rys. 2.** Skumulowany koszt robocizny dla poszczególnych wariantów organizacji robót [opracowanie własne]

**Tabela 3.** Zestawienie otrzymanych wartości czasu i kosztów [opracowanie własne]

Lp.	Metoda	Czas [dni]	Zmiana czasu realizacji $\Delta T$ [%]	Wskaźnik zmian czasu $w_T$ [-]	Wskaźnik kosztu [-]	Zmiana kosztu $\Delta K$ [%]	Wskaźnik zmian kosztu $w_K$ [-]	$w_K/w_T$
1	MSC I	746	+ 8,2	1,082	124 376,00	0,0	1,00	0,92
2	MSC II	702	+ 2,3	1,023	124 376,00	0,0	1,00	0,98
3	MSC III	686	0,0	1,00	124 376,00	0,0	1,00	1,00
4	CPM-COST(i)	633	- 7,7	0,923	126 679,00	+ 1,8 %	1,018	1,10
5	CPM-COST	562	- 18,1	0,819	130 226,00	+ 4,7 %	1,047	1,28

czasowe i kosztowe analizowanych wariantów organizacji robót budowlanych.

Otrzymane wyniki potwierdzają tezę, że szacowany czas prowadzenia robót budowlanych oraz ich koszt zależy od przyjętej metody organizacji robót budowlanych. Ilość oraz wartości porównawczych wskaźnika kosztu  $w_K$  oraz wskaźnika czasu  $w_T$  informuje o intensywności ponoszonych kosztów w jednostce czasu.

## 6. Podsumowanie

Przeprowadzone obliczenia i analizy pozwoliły sformułować następujące wnioski:

1. Istnieje wiele metod, które można zastosować do zaplanowania realizacji nowych inwestycji. Metody te pozwalają na oszacowanie czasu i kosztów realizacji przedsięwzięcia. Do planowania realizacji kompleksu obiektów, składającego się z wielu działek roboczych można zastosować potokowe metody organizacji robót.
2. Najkrótszy czas realizacji kompleksu obiektów można uzyskać, jeżeli do zaplanowania przebiegu robót zastosuje się metodę potokową uwzględniającą jednocześnie sprzężenia między środkami realizacji i frontami roboczymi. W metodzie tej czas realizacji determinują roboty leżące na ścieżce krytycznej.
3. Poprzez skrócenie czasu wykonania robót leżących na ścieżce krytycznej do wartości granicznych można uzyskać efekty w postaci dalszego skrócenia czasu realizacji całego kompleksu. Zabieg taki powoduje zmniejszenie rezerw czasu dla robót leżących poza ścieżką krytyczną.

4. Skrócenie czasu wykonania robót leżących na ścieżce krytycznej można uzyskać między innymi poprzez wydłużenie dziennego czasu pracy brygad roboczych zaangażowanych przy wykonywaniu tych robót. Zabieg ten związany jest ze zwiększeniem nakładów finansowych na ich realizację.

5. Do analizy czasowo-kosztowej realizacji kompleksu robót pozwalającej na wybór najlepszego rozwiązania w określonych warunkach realizacji robót można zastosować metodę planowania sieciowego z jednoczesną analizą kosztów o nazwie CPM-COST.

6. Z przeprowadzonych analiz wynika, że szacowany czas trwania i koszt realizacji inwestycji zależy w dużym stopniu od przyjętej metody prowadzenia robót budowlanych.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Gaspars H., Analiza czasowo-kosztowa (CPM-COST). Algorytm a model optymalizacyjny. Badania Operacyjne i Decyzyjne 2006/1. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006
- [2] Hejducki Z., Zarządzanie czasem w procesach budowlanych z zastosowaniem modeli macierzowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004
- [3] Jaworski K., Metodologia projektowania realizacji budowy. Wydawnictwo Naukowe
- [4] Mrozowicz J., Metody organizacji procesów budowlanych uwzględniające sprzężenia czasowe. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 1997
- [5] Połowski M., Probabilistyczne aspekty procesu budowlanego (cz. 2). Przegląd Budowlany 12/2006, s. 49–53
- [6] Ustawa z 26 czerwca 1974 r. – Kodeks pracy (Dz. U. 197 Nr 24 poz. 141 z późn. zm.) stan prawny na 31 stycznia 2013 r.

[www.przegladbudowlany.pl/archiwum](http://www.przegladbudowlany.pl/archiwum)



**Archiwum od ręki**  
archiwalne spisy treści  
na stronach [www](http://www.przegladbudowlany.pl)