

Identyfikacja i analiza wybranych czynników wpływających na przebieg robót budowlanych – studium przypadku

Mgr inż. Marta Stolarz, prof. dr hab. inż. Zdzisław Hejducki, Politechnika Wrocławska

1. Wprowadzenie

Długość fazy realizacji projektu budowlanego stanowi znaczną część każdego procesu inwestycyjnego. Ważne jest, aby właściwie zaplanować i zoptymalizować tę fazę, uwzględniając ciągłość robót oraz uwarunkowania technologiczne i organizacyjne. W artykule przedstawiono analizę porównawczą harmonogramu opracowanego przed rozpoczęciem robót i harmonogramu powykonawczego, sporządzonego po zakończeniu prac budowlanych. Analizę przeprowadzono na podstawie danych uzyskanych przez autorkę, w procesie budowy hali przemysłowej, w realizacji której uczestniczyła. W analizie porównawczej uwzględniono dodatkowo: warunki atmosferyczne występujące w czasie prowadzenia prac i przyczyny wpływające na opóźnienia, zaobserwowane na terenie budowy. Celem niniejszego artykułu jest zaproponowanie założeń do metodyki analizy harmonogramów powykonawczych. Podjęto próbę oceny procesów budowlanych z użyciem wskaźników elementarnych i wskaźnika syntetycznego. Zastosowano uproszczone podejście inżynierskie. W rzeczywistości proces harmonogramowania robót odbywa się zwykle w warunkach niepewności. Do oceny i wyboru wariantów realizacyjnych można zastosować wówczas klasyczne kryteria, np. Bayesa-Laplace'a, Walda, Hurwicza i inne [1, 2, 3].

2. Metody organizacji robót budowlanych

Powszechnie znanym i stosowanym narzędziem, służącym do planowania i monitorowania przebiegu robót budowlanych w czasie są harmonogramy [4]. Możemy spotkać się z wieloma ich odmianami, m.in.: inwestorskim, opracowywanym przez kierownika budowy, powykonawczym lub opartym na Katalogach Nakładów Rzeczowych. W rzeczywistości, jak wynika z literatury [5], uzyskane z nich rezultaty w dużej mierze nie pokrywają się ze sobą – np. rzeczywisty czas trwania wybranych prac budowlanych jest zwykle dłuższy niż wyznaczony, dla tych samych prac, za pomocą KNR. Oczywiście wpływ na to może mieć wiele przyczyn, m.in. doświadczenie pracowników, warunki atmosferyczne, aktualność informacji zawartych w KNR, a także właściwa organizacja pracy [6, 7]. Każdy harmonogram powinien uwzględniać m.in. „czynnik ludzki”, technologię prowadzenia robót i sposób zarządzania budową, jak podaje literatura [8].

Dodatkowo ważnym aspektem wspomagającym opracowanie harmonogramu jest wybór odpowiedniej metody organizacji robót. W przypadku wielkich i skomplikowanych przedsięwzięć budowlanych, w harmonogramowaniu których poszukuje się rozwiązań optymalnych, można stosować np. algorytmy metaheurystyczne [9], metody sztucznej inteligencji [10] i wiele innych [11, 12].

W trakcie prowadzenia robót budowlanych, a także po ich zakończeniu, istotne staje się opracowywanie harmonogramów powykonawczych. Stanowią one doskonałe źródło informacji o rzeczywistej organizacji robót i umożliwiają dokonywanie kontroli w trakcie ich przebiegu. Według [13] harmonogram pewnego systemu S jest odwzorowaniem rzeczywistości w taki sposób, że przyporządkowuje on każdemu z zadań odpowiednią ilość zasobów i czasu. W związku z powyższym system zadań dla danego zbioru zasobów może być zdefiniowany jako [13]:

$$S = [J, \prec, T, Z, W] \quad (1)$$

gdzie:

J – zbiór zadań do wykonania,

\prec – relacja częściowego przyporządkowania na J – ograniczenia kolejnościowe,

T – macierz czasów wykonywania robót,

Z – zapotrzebowanie na zasoby,

W – współczynniki (funkcje) kosztów opóźnień zasobów.

Z punktu widzenia oceny rzeczywistego przebiegu robót istotne staje się porównanie harmonogramu przed- i powykonawczego. W tym celu można posłużyć się metodyką oceny organizacji robót [13], która polega na wyznaczeniu wskaźników charakteryzujących rzeczywisty przebieg robót. Poniżej przedstawiono wybrane, podstawowe kryteria dotyczące wykorzystania czasu prowadzonych robót. W artykule, na tym etapie analizy porównawczej, pominięto kryteria kosztowe. Będzie to przedmiotem dalszych badań. Proponuje się następujące kryteria:

- wykonanie kompleksu robót w ustalonym terminie, wyznaczane wg wzoru:

$$K_1 = \begin{cases} T_p / T_R, & \text{gdy } T_p < T_R \\ T_R / T_p, & \text{gdy } T_p \geq T_R \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

T_p – planowany czas realizacji kompleksu robót,

T_R – rzeczywisty czas realizacji kompleksu robót,

- wykonanie procesów budowlanych w planowanym czasie, wyznaczane wg wzoru:

$$K_2 = \frac{\sum_i T_i^R}{\sum_i T_i^R + \Delta T_i^R} \quad (3)$$

gdzie:

T_i^R – planowany czas realizacji i -tej roboty,

ΔT_i^R – przekroczenie/skrócenie czasu realizacji i -tej roboty,

- przekazanie frontów roboczych w planowanym czasie, wyznaczone wg wzoru:

$$K_3 = \frac{\sum_j T_j^F}{\sum_j T_j^F + \Delta T_j^F} \quad (4)$$

gdzie:

T_j^F – planowany termin przekazania j -tego frontu robót,

ΔT_j^F – przekroczenie/skrócenie terminu przekazania j -tego frontu robót.

Wymienione powyżej kryteria elementarne pozwalają na ogólną ocenę przebiegu robót. Dodatkowo możliwe jest zastosowanie tzw. syntetycznego wskaźnika, który umożliwi uwzględnienie uwarunkowań specyficznych dla danego procesu budowlanego [13]:

$$K = \frac{w_1 K_1 + w_2 K_2 + w_3 K_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} \quad (5)$$

gdzie:




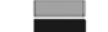




w_1, w_2, w_3 – wagi kryteriów elementarnych K_1, K_2, K_3 .

3. Studium przypadku – analiza harmonogramów

Przedmiotem analizy był przebieg robót ziemnych i fundamentowych budynku hali produkcyjno-magazynowo-biurowej. Główną konstrukcją hali stanowiły: słupy i belki żelbetowe prefabrykowane, ściany murowane nośne, ramy stalowe główne, dźwigary dachowe, płatwie, tężniki dachowe. Fundamenty były wykonywane na siatce osi konstrukcyjnych o wymiarach 7×10 m, z betonu C25/30, na podkładzie z betonu podkładowego C12/15. Największy fundament posiadał wymiary 3×3 m i otulinę: dolną 50 mm i górną 30 mm. Całkowita powierzchnia zabudowy wynosiła ok. 11 000 m².

W ramach analizy porównano ze sobą harmonogram opracowany przed rozpoczęciem robót budowlanych z harmonogramem powykonawczym, sporządzonym na podstawie dokumentacji powykonawczej, dziennika budowy i dokumentacji fotograficznej. Harmonogramy zostały opracowane w programie MS Project i następnie porównane ze sobą.

Fragment zestawienia harmonogramów przed i po wykonaniu robót budowlanych wraz z zaznaczonymi najważniejszymi przyczynami powodującymi powstanie opóźnień przedstawiono na rysunku 1. Kolorem czarnym został zaznaczony czas trwania poszczególnych robót wg harmonogramu kierownika budowy, a kolorem szarym rzeczywiste czasy trwania tych robót. Przyczyny opóźnień ustalono na podstawie własnych obserwacji. W wyniku analizy harmonogramów opracowano zestawienie danych z przebiegu robót, uwzględniające m.in. planowane i rzeczywiste czasy trwania poszczególnych robót, planowany dzień przekazania frontu robót wraz z ewentualnymi przesunięciami. Fragment zestawienia przedstawiono w tabeli 1.

ROBOTY \ CZAS	IX	X	XI	XII	I	II	
Wykonanie stóp w osi A		 ①					
Wykonanie ław w osiach 1-2/Ic-A		 ②					
Wykonanie ław fundamentowych klatki schodowej i windy		 ③					
Wykonanie oczepu w osi Ia		 ④					
Wykonanie pozostałych fundamentów	④						
Wykonanie ławy w osi 6		 ④					
Wykonanie podwalin w osi 1		 ④					
Wykonanie podwalin w osi A	⑤						

 Rzeczywisty czas trwania robót

 Planowany czas trwania robót

① Mniejszy skład brygady roboczej w stosunku do planowanej

② Zmiana technologii wykonywania

③ Brak decyzji inwestora

④ Przesunięcie spowodowane opóźnieniem roboty poprzedzającej

⑤ Wydłużenie spowodowane czynnikiem atmosferycznym, temperatura poniżej -5°C

Rys. 1. Fragment zestawienia harmonogramów wraz z zaznaczonymi czynnikami (opracowanie własne na podstawie MS Project)

Tabela 1. Przebieg wybranych robót budowlanych

Lp.	Nazwa zadania/fronту robót	Liczba dni trwania kompleksu zadań/fronту robót		Wydłużenie/skrócenie kompleksu zadań/fronту robót	Planowany dzień przekazania fronту robót (dzień realizacji zadania)	Przesunięcie przekazania fronту robót (liczba dni)
		Planowane	Rzeczywiste			
1	Fundamenty	90	135	45	-	-
2	Wykonanie wykopów	87	122	35	-	-
3	Wykopy pod stopy w osi 1	21	21	-	34	0
...
7	Wykopy pod stopy w osi A	42	63	-	32	20
...
15	Wykonanie stóp i ław fundamentowych	35	54	19	-	-
...
26	Roboty uzupełniające	51	86	35	-	-
...
31	Wykonanie fundamentów w rejonie zbiornika retencyjnego	14	14	-	48	10
32	Wykonanie stóp w osi 8	14	14	-	77	0

Na podstawie analizy zebranych danych wyznaczono wartości liczbowe kryteriów elementarnych i wskaźników, charakteryzujących rzeczywisty przebieg robót. Przedstawiono je w dalszej części.

3.1. Kryterium wykonania kompleksu robót w ustalonym terminie

Kryterium charakteryzujące wykonanie kompleksu robót w ustalonym terminie K_1 , wyznaczono wg wzoru (2). W analizowanym przypadku, planowany czas realizacji kompleksu robót fundamentowych T_p wynosił 90 dni roboczych, jednak w rzeczywistości uległ on wydłużeniu, aż o 45 dni – rzeczywisty czas realizacji kompleksu robót wyniósł zatem $T_R = 135$ dni. W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano wartość $K_1 = 0,667$:

$$K_1 = \frac{T_p}{T_R} = \frac{90}{135} = 0,667 \quad (6)$$

3.2. Kryterium wykonania procesów budowlanych w planowanym czasie

Kryterium wykonania procesów budowlanych w planowanym czasie K_2 obliczono wg wzoru (3) jako iloraz sumy planowanych czasów poszczególnych robót i czasów rzeczywistych. Analizę przeprowadzono dla wszystkich robót związanych z wykonaniem: wykopów, stóp i ław fundamentowych oraz robót uzupełniających. Po przeprowadzeniu obliczeń uzyskano wartość $K_2 = 0,660$:

$$K_2 = \frac{\sum_i T_i^R}{\sum_i T_i^P + \Delta T_i^R} = \frac{87 + 35 + 51}{122 + 54 + 86} = 0,660 \quad (7)$$

3.3. Kryterium przekazania frontów roboczych w planowanym czasie

Kryterium przekazania frontów roboczych w planowanym czasie K_3 zostało wyznaczone wg wzoru (4). W analizie uwzględniono planowany dzień przekazania j -tego fronту robót (jako

sumę dni, w których planowano przekazać poszczególne roboty) oraz wszystkie przekroczenia lub skrócenia planowanego terminu. W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano wartość $K_3 = 0,785$:

$$K_3 = \frac{\sum_j T_j^F}{\sum_j T_j^F + \Delta T_j^F} = \frac{1279}{1279 + 351} = 0,785 \quad (8)$$

3.4. Syntetyczny wskaźnik dla realizacji analizowanego zadania

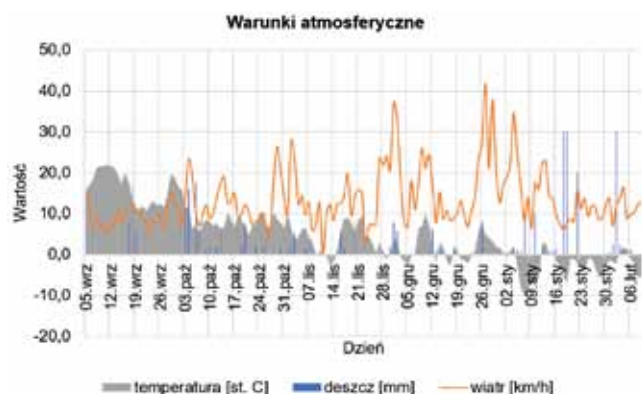
Wskaźnik syntetyczny K , umożliwiający kompleksową ocenę przebiegu robót wyznaczono wg wzoru (5), przyjmując wagi kryteriów elementarnych K_1, K_2, K_3 równe jeden. W związku z tym, wartość wskaźnika $K = 0,704$:

$$K = \frac{w_1 K_1 + w_2 K_2 + w_3 K_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} = \frac{0,667 + 0,660 + 0,785}{3} = 0,704 \quad (9)$$

Analizując otrzymane wartości kryteriów można zauważyć, że średnie wydłużenie poszczególnych robót wynosiło ok. 30% planowanego czasu. Uzyskany końcowy wskaźnik syntetyczny K , który nie jest bliski jedności, świadczy o występowaniu zakłóceń w trakcie realizacji, które miały duży wpływ na termin zakończenia prac. Według własnych obserwacji z procesu realizacji czasy poszczególnych robót zostały odpowiednio dobrane, jednak czynniki losowe takie jak: awarie maszyn, wystąpienie robót dodatkowych, zmiany inwestorskie, spowodowały przesunięcie w czasie niektórych zadań. Było to na bieżąco korygowane przez kierownika budowy, który przygotowywał rewizje harmonogramów wraz z relokacją niektórych pozycji.

3.5. Analiza czynników wpływających na realizację robót

Kolejnym etapem badań, było skonfrontowanie harmonogramów z wybranymi parametrami charakteryzującymi każdy dzień trwania robót. W tym celu zestawiano najważniejsze, średnie wartości dobowe: temperatury powietrza, prędkości wiatru i opadów atmosferycznych – rysunek 2. Następnie



Rys. 2. Zestawienie średnich wartości dobowych: temperatury powietrza, prędkości wiatru i opadów atmosferycznych (opracowanie własne)

porównano poszczególne pozycje, zawarte w harmonogramach, z warunkami atmosferycznymi panującymi w danym okresie oraz zdarzeniami, które wystąpiły na terenie budowy i zostały zidentyfikowane.

Wynikiem analizy porównawczej harmonogramów z uwzględnieniem warunków atmosferycznych i przyczynami opóźnień, jest opracowanie zestawienia, którego fragment zamieszczono w tabeli 2. W zestawieniu tym uwzględniono poszczególne pozycje z harmonogramów wraz z planowanym czasem ich trwania, odchyłką, jaka nastąpiła podczas realizacji

Tabela 2. Charakterystyka wybranych pozycji z harmonogramów

Lp.	Pozycja z harmonogramu	Planowany czas trwania	Wydłużenie, skrócenie, przesunięcie	Przyczyny
1	Wykopy pod stopy w osiach A	6 tyg.	+ 15 dni	Awaria maszyny (2 dni) Przesunięcie spowodowane złą organizacją terenu budowy – droga tymczasowa
2	Wykonanie stóp w osi 1 Wykonanie stóp w osi 7 Wykonanie stóp w osi A	2 tyg. 3 tyg. 3 tyg.	+ 1 dzień + 1 dzień + 2 dni	Niewystarczająca liczba robotników – w stosunku do liczby planowanej
3	Wykonanie ław fundamentowych klatki schodowej i windy	2 tyg.	- 5 dni i przesunięcie + 32 dni	Brak decyzji inwestora w sprawie wyboru dostawcy windy

Tabela 3. Zaobserwowane czynniki, wpływające na tempo prowadzonych prac

Lp.	Czynnik	Zdarzenie
1	Ludzki	Niedbałość w wykonaniu, które prowadziły do wielokrotnych odbiorów zbrojenia tego samego elementu przed samym betonowaniem – brak odpowiedniej jakości wykonania robót
		Zmiany inwestorskie
		Brak decyzji inwestora (wykonanie fundamentu szybu windy zostało wstrzymane do wyboru dostawcy windy)
2	Organizacyjny	Zmiany projektowe, często spowodowane złym wykonaniem niektórych robót, czas oczekiwania na decyzję projektanta, wstrzymane roboty na froncie
		Brak wystarczającej liczby robotników w stosunku do ilości planowanych robót
		Niewłaściwa organizacja transportu
		Przestoje ze względu na awaryjność maszyn i urządzeń
3	Technologiczny	Opóźnienie powstałe ze względu na przebiegającą drogę tymczasową na terenie budowy
		Zmiana technologii wykonania
4	Atmosferyczny	Nieprzewidziane roboty dodatkowe
		Niska temperatura (poniżej -5°C)
		Prędkość wiatru
		Opady deszczu

i zaobserwowanymi przyczynami powodującymi opóźnienia. Na podstawie danych przedstawionych w tabeli sformułowano następujące wnioski:

- podczas wykonywania prac wystąpiły zmiany w projekcie i roboty dodatkowe, które doprowadziły do wydłużenia całkowitego czasu trwania kompleksu prac,
- przyczyny, które wpłynęły na odstępstwa od harmonogramu pierwotnego można podzielić na cztery podstawowe grupy czynników: ludzkie, organizacyjne, technologiczne i atmosferyczne – tabela 3.

4. Podsumowanie

Jak wykazano na wybranym przykładzie, dokładność opracowywanego harmonogramu zależy od właściwego uwzględnienia wszystkich czynników i zdarzeń mogących wpływać na przebieg prac budowlanych. W analizowanym przypadku otrzymano wskaźnik syntetyczny $K = 0,704 < 1$, który świadczy o występowaniu znacznych zakłóceń w trakcie realizacji robót budowlanych. Zidentyfikowane czynniki wpływu na procesy budowlane zawiera tabela 3.

Artykuł stanowi wstęp do dalszych badań rzeczywistego przebiegu procesów budowlanych. Posłużono się wybranymi wskaźnikami oceny (w ujęciu deterministycznym) robót budowlanych z wykorzystaniem danych uzyskanych z obserwacji prowadzonych na placu budowy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gaspars-Wieloch H., Propozycja hybrydy reguł Hurwicza i Bayesa w podejmowaniu decyzji w warunkach niepewności, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Katowice, tom 198, 2014, str. 74–92
- [2] Łoś A., Kryteria podejmowania decyzji inwestycyjnych w warunkach niepewności i ryzyka. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu 2(40)/2014
- [3] MacKinnon J. G., ECON 852 Supplementary Material, 2015
- [4] Hejducki Z., Zarządzanie czasem w procesach budowlanych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2004
- [5] Bac M., Hejducki Z., Analiza skuteczności wykonania harmonogramu robót za pomocą Katalogów Nakładów Rzeczowych, Przegląd Budowlany 5/2017, str. 52–55
- [6] Sinesilassie E. G., Tabish S. Z. S., Jha K. N., Critical factors affecting schedule performance A case of Ethiopian public construction projects – engineers' perspective. Engineering, Construction and Architectural Management. Construction and Architectural Management, tom 24, wydanie 5, str. 757–773, <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2016-0062>
- [7] Serdar D., Maksat O., Syuhaida I., Causes of delay in residential construction projects in Cambodia. Civil & environmental engineering, <https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1291117> 2017
- [8] Mubarak S., Construction project scheduling and control. Wiley, United States, 2015
- [9] Hejducki Z., Podolski M., Harmonogramowanie przedsięwzięć budowlanych z zastosowaniem algorytmów metaheurystycznych, Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki 4/2012, str. 68–79
- [10] Rogalska M., Hejducki Z., The application of time coupling methods in the engineering of construction projects. Czasopismo Techniczne – Technical Transactions, tom 9, str. 67–74, 2017
- [11] Zhou J., Love P. E. D., Wang X., Teo K.L., Irani Z., A review of methods and algorithms for optimizing construction scheduling. Journal of the Operational Research Society, tom 64, wydanie 8, str. 1091–1105, 2013
- [12] Ramazan S., Dimitrakopoulos R., Stochastic Optimisation of Long-Term Production Scheduling for Open Pit Mines with a New Integer Programming Formulation. Advances in Applied Strategic Mine Planning, str. 139–153, 2018
- [13] Bożejko W., Hejducki Z., Uchroński M., Wodecki M., Analiza harmonogramów powykonawczych w budownictwie. Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, str. 474–483, Opole, 2014



infraBIM
V4 VISEGRAD GROUP

MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA
infraBIM czyli BIM W INFRASTRUKTURZE TRANSPORTOWEJ
15-16 listopada 2018, Kraków

Cel konferencji

Spotkanie ekspertów, prezentacja przykładów, wymiana poglądów, demonstracja narzędzi oraz warsztaty w zakresie stosowania cyfrowych technologii związanych z BIM w infrastrukturze transportowej.

Uczestnicy

Inwestorzy i zamawiający, administracja i projektanci, wykonawcy i nadzór, środowisko akademickie oraz dostawcy sprzętu i oprogramowania, zainteresowani integracją infrastruktury w krajach Grupy V4.

Kontakt

Przewodniczący: dr hab. inż. Marek Salamak prof. Politechniki Śląskiej
tel. +48 502 359 037, e-mail: marek.salamak@polsl.pl

Promocja: Sandra Bienia

tel. +48 507 475 028, sandra.bienia@infroteam.eu

Miejsce konferencji: Hotel Vienna House Andel's Cracow

<https://infrabim.info/pl/>

Pani

prof. dr hab. inż. Marii Kaszyńskiej

Przewodniczącej Komitetu Nauki

Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa,

dziekan Wydziału Budownictwa i Architektury

Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego

składamy wyrazy głębokiego współczucia z powodu śmierci męża

dr. hab. inż. Romana Kaszyńskiego prof. nadzw.

nauczyciela akademickiego Wydziału Elektrycznego,

Kierownika Katedry Inżynierii Systemów, Sygnałów i Elektroniki

Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie

Przewodniczący PZITB oraz Koleżanki i Koledzy z PZITB i PB