

ANYSZ Hubert¹
BENEDYSIUK Tomasz²

Wpływ warunków miejskich na harmonogram budowy na przykładzie budowy obiektu biurowego

WSTĘP

Rzetelne opracowanie harmonogramu budowy wymaga od inżyniera dokładnej analizy warunków w jakich mają być prowadzone prace budowlane. Szczególnie nawarstwienie niekorzystnych czynników często występuje w warunkach miejskich, a ich nieuwzględnienie może w konsekwencji prowadzić do niedotrzymania deklarowanego terminu zakończenia prac budowlanych lub też może generować dodatkowe koszty. W niniejszej pracy zaproponowano metodykę badania wpływu warunków miejskich na harmonogram budowy, zawarto omówienie niekorzystnych czynników związanych z warunkami miejskimi, zaproponowano sposób ich analitycznego uwzględnienia w harmonogramie, a także podano wyniki zestawienia harmonogramu budowy przygotowanego bez uwzględnienia wpływu warunków miejskich z harmonogramem uwzględniającym takie czynniki.

1 METODA BADAWCZA

1.1 Definicje

W niniejszej pracy warunki miejskie zdefiniowano jako wszystkie te warunki, które nie występują na idealnym placu budowy, czyli takim, który ma powierzchnię nieograniczającą w żaden sposób prowadzonych prac, oraz na który nie mają wpływu żadne czynniki zewnętrzne związane z oddziaływaniem otoczenia budowy czy infrastrukturą zewnętrzną. Na podstawie tak przyjętej definicji, można podzielić warunki miejskie na dwie kategorie:

- warunki wewnętrzne - związane z ilością miejsca na placu budowy,
- warunki zewnętrzne - związane z oddziaływaniem otoczenia na budowę.

1.2 Metodyka

Aby zbadać wpływ warunków miejskich, sporządzono przedmiar dla robót żelbetowych budowy Centrum Personalizacji Dokumentów Ministerstwa Spraw Wewnętrznych przy ulicy Smyczkowej 10 w Warszawie, a następnie opracowano dwa harmonogramy na podstawie dwukrotnie wyznaczonych składów бригад roboczych:

- harmonogram nr 1 – dla budowy idealnej, nieuwzględniający wpływu warunków miejskich,
- harmonogram nr 2 – uwzględniający warunki miejskie.

Następnie porównano obydwie harmonogramy pod kątem łącznego czasu trwania budowy oraz czasów cząstkowych przypadających na konkretny rodzaj robót

1.3 Założenia do obliczania harmonogramów

W przedmiarze oraz harmonogramach uwzględniono jedynie roboty żelbetowe, będące 1. etapem inwestycji. Nie uwzględniono jednak takich robót jak izolacje pionowe ścian kondygnacji -1, szczelnego połączenia płyty fundamentowej ze ścianami, wykonania kanalizacji podposadzkowej czy założenia instalacji odgromowej. Założono, że tego typu roboty albo trwają zbyt krótko aby mieć wpływ na harmonogram, albo też, jak wykonanie izolacji ścian piwnicy i zasypanie wykopu, mogą być wykonywane i przerywane w dowolnym momencie – zawsze wtedy kiedy pozwala na to harmonogram zatrudnienia. Pozwala to na bieżącą korektę harmonogramu zatrudnienia zgodnie z tym, co aktualnie dzieje się na frontach robót. Dodatkowo, opierając się na faktycznej organizacji

¹Politechnika Warszawska, Wydział inżynierii Lądowej, 00-637 Warszawa, ul. Armii Ludowej 16, h.anysz@il.pw.edu.pl

²Politechnika Warszawska, Wydział inżynierii Lądowej, 00-637 Warszawa, ul. Armii Ludowej 16, tomasz.benedusiuk@gmail.com

pracy przy budowie Centrum Personalizacji Dokumentów, ustalono następujące założenia wspólne dla obydwu harmonogramów:

- w każdą ośmiogodzinną zmianę w pracy robotników wkomponowana jest godzinna przerwa regeneracyjna,
- ze względu na specyfikę obiektu (np. ściany o zmiennym w kącie nachylenia) część robót musi być wykonana przez ten sam wysoko wykwalifikowany zespół pracowników,
- prace prowadzone są od poniedziałku do soboty, bez świąt ustawowo wolnych od pracy,
- budynek podzielono na dwie działki robocze – południową i północną,
- w do produkcji betonu używany jest cement CEM I 42,5 R, co powoduje, że ściany mogą być rozdeskowane po 24 godzinach,
- nie uwzględniono zmiany wydajności maszyn ani robotników ze względu na porę dnia.

1.4 Metoda analizy harmonogramu

Opracowane harmonogramy zostały poddane analizie, której celem było znalezienie zadań najbardziej wpływających na czas trwania robót - znajdujących się na ścieżce krytycznej. Ze względu na złożoność obliczeniową tego zadania, zostało ono wykonane z pomocą Programu MS Project.

2 ZAKES I PODSTAWA OPRACOWANIA BADANYCH HARMONOGRAMÓW

2.1 Przedmiot i podstawa opracowania

Budynek (Fot. 1.), który jest przedmiotem opracowania jest budynkiem biurowym, przeznaczonym dla Centrum Personalizacji Dokumentów Ministerstwa Spraw Wewnętrznych. Mieści się on w Warszawie, przy ulicy Smyczkowej 10. Podstawę opracowania stanowił projekt wykonawczy wykonany przez firmę PAS Projekt Archi. Studio.



Fot.1. Ukończona konstrukcja żelbetowa budynku biurowego przy ul. Smyczkowej 10 [7]

2.2 Ogólny opis inwestycji

Omawiany budynek posiada jedną kondygnację podziemną oraz 4 kondygnacje nadziemne. Na stropie ostatniej kondygnacji znajduje się attyka oraz wyjścia na dach. Komunikację wewnątrz budynku zapewniają dwie klatki schodowe oraz trzy dźwigi:

- W1 – dźwig towarowo-osobowy (obsługiwane kondygnacje od -1 do dachu)
- W2 – dźwig osobowy (obsługiwane pomieszczenia od -1 do piętra 3.)
- W4 – dźwig towarowo osobowy (obsługiwane kondygnacje od -1 do kondygnacji 0)

Bilans powierzchni:

- powierzchnia całkowita brutto - 4770,48m²
- w tym:

- powierzchnia konstrukcji - 766,10 m²
- powierzchnia całkowita netto - 4004,38 m²
- kubatura - 16545,98m³

2.3 Zakres robót ujętych w harmonogramach

Porównywane harmonogramy obejmowały roboty przy wznoszeniu monolitycznej konstrukcji żelbetowej budynku, a w szczególności:

- płytę fundamentową
- żelbetowe ściany wewnętrzne na wszystkich kondygnacjach
- żelbetowe, skrócone ściany zewnętrzne na wszystkich kondygnacjach
- żelbetowe słupy na wszystkich kondygnacjach
- żelbetowe, skrócone ściany attyki
- żelbetowe szachty windowe
- żelbetowe biegi schodowe
- żelbetowe belki i podciągi

3 WPLYW WARUNKÓW MIEJSKICH

3.1 Czynniki związane z warunkami miejskimi

Niżej wymienione czynniki, zaobserwowane na budowie Centrum Personalizacji Dokumentów MSW, mogące wpłynąć na przebieg robót żelbetowych, zaklasyfikowano do jednej z dwóch podkategorii - czynników zewnętrznych lub wewnętrznych zgodnie z przyjętymi definicjami. Następnie, na podstawie praktycznych doświadczeń z budowy oszacowano ich wpływ na harmonogram robót.

Tab. 1. Zestawienie czynników związanych z prowadzeniem budowy w warunkach miejskich występujących przy robotach żelbetowych

Lp.	Czynnik występujący w warunkach miejskich	typ oddziaływania
1	brak możliwości prowadzenia robót żelbetowych między godziną 22.00 a 6.00	warunki zewnętrzne
2	możliwe uszkodzenia otaczającej infrastruktury sprzętem budowlanym	warunki zewnętrzne
3	zmniejszona częstotliwość przyjazdu betonowozów w godzinach 16.00-19.30 (szczyt popołudniowy)	warunki zewnętrzne
4	konieczność składowania części materiałów (deskowanie, zbrojenie) na terenie powstającego obiektu	warunki wewnętrzne
5	wykorzystanie dróg wewnętrznych jako składowisko materiałów - konieczność uprzątnięcia ich przed betonowaniem pompą	warunki wewnętrzne
6	brak miejsca na umycie pojazdów przed wyjazdem z budowy	warunki wewnętrzne
7	brak możliwości użycia dwóch pomp do betonowania	warunki wewnętrzne
8	konieczność sukcesywnych dostaw materiałów (gł. zbrojenia, deskowania),	warunki wewnętrzne
9	brak możliwości składowania ziemi z wykopu do obsypania fundamentów	warunki wewnętrzne

3.2 Wpływ warunków zewnętrznych

Poniżej omówiono przedstawione wcześniej czynniki zewnętrzne występujące w warunkach miejskich oraz podano sposób w jaki zostały one użyte do korekty harmonogramu:

- *brak możliwości prowadzenia robót żelbetowych między godziną 22.00 a 6.00*

Czynnik ten może wpłynąć na prowadzone prace uniemożliwiając prac 24 godziny na dobę w przypadku narzuconego, krótkiego czasu trwania inwestycji. Czynnik ten zasymulowano wprowadzając w harmonogramie nr 1 pracę trzymianową, a w harmonogramie nr 2 - dwuzmianową jako maksimum możliwe do osiągnięcia w warunkach miejskich.

– *możliwe uszkodzenia otaczającej infrastruktury sprzętem budowlanym*

Uszkodzenia te mogą się wiązać np. z najechem betonowozu na powierzchnię chodnika przy wyjeździe z posesji. Czynnik ten może generować niemałe koszty, jednak wpływ na harmonogram robót w praktyce jest znikomy - nie koliduje on z innymi pracami, nieznacznie zwiększa nakłady na robociznę, lub oznacza konieczność zatrudnienia firmy zewnętrznej do naprawienia szkód. W harmonogramach pominięto wpływ tego czynnika.

– *zmniejszona częstotliwość przyjazdu betonowozów w godzinach 16.00-19.30 (szczyt popołudniowy)*

Zmniejszona częstotliwość przyjazdu betonowozów na plac budowy w omawianych godzinach, wiąże się z dwoma zasadniczymi czynnikami – dużą ilością zamówień na beton, przez co wytwórnice nie nadążają z produkcją oraz z nakładającym się na to szczytem popołudniowym natężenia ruchu na ulicach miasta. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji ustalono średnią wydajność robót betonowych na 40% w porównaniu do prac prowadzonych w innych godzinach. Na podstawie średniej ważonej ustalono średnią dobową wydajność betonowania:

$$g = \frac{o \cdot w + (d - o) \cdot 1}{d} \cdot 100\% = \frac{4 \cdot 0,4 + (14 - 4) \cdot 1}{14} \cdot 100\% = 83\%$$

gdzie:

g – wydajność betonowania w warunkach miejskich

o – ilość godzin z obniżoną wydajnością

w – współczynnik obniżonej wydajności

d – ilość godzin przepracowanych przez robotników w ciągu dnia

3.3 Wpływ warunków wewnętrznych

Poniżej omówiono przedstawione wcześniej czynniki zewnętrzne występujące w warunkach miejskich oraz podano sposób w jaki zostaną one użyte do korekty harmonogramu:

– *konieczność składowania części materiałów (deskowanie, zbrojenie) na terenie powstającego obiektu*

Ze względu na ograniczone miejsce na placu budowy, część materiałów składowana była na terenie powstającego obiektu (Fot. 2.), co utrudniało pracę robotnikom oraz zwiększało drogę jaką robotnicy musieli przebyć poruszając się po placu budowy, a także angażowało pracowników do dodatkowych prac transportowych. Czynnik ten uwzględniono zwiększając prędkość wszystkich robót prowadzonych na budowie o 10%.

– *brak wydzielonego miejsca na umycie pojazdów przed wyjazdem z budowy*

Kwestia ta, związana z niedostateczną ilością miejsca na budowie, może wpłynąć na koszty związane z karami nałożonymi przez służby porządkowe. Nie stwierdzono jednak ani faktycznego, ani potencjalnego wpływu tego czynnika na harmonogram prac, dlatego też w dalszej części pracy ten czynnik zostanie pominięty w analizie.

– *brak możliwości użycia dwóch pomp do betonowania*

W warunkach budowy idealnej istnieje możliwość przyspieszenia prowadzonych prac związanych z betonowaniem, poprzez zwiększenie ilości pomp do betonowania, co nie zawsze występuje w warunkach ograniczonego placu budowy – podczas prac prowadzonych przy wznoszeniu omawianego budynku znalazło się miejsce jedynie dla jednej pompy na podwoziu samochodowym. Wpływ tego czynnika zasymulowano przydzielając w harmonogramie nr 1 dwie pompy do betonowania stropów, zaś w harmonogramie nr 2 – jedną, a także sprawdzono, czy w harmonogramie nr 2 nie zachodzi sytuacja w której jednocześnie betonowane pompą byłyby dwa elementy.



Fot.2. Składowanie materiałów na terenie obiektu [7]

- wykorzystanie dróg wewnętrznych jako składowisko materiałów - konieczność ich uprzątnięcia przed betonowaniem pompą

Ograniczone miejsce zmusza do składowania niektórych materiałów na terenie drogi wewnętrznej (Fot. 3.) wykorzystywanej przez pompę, a także prowadzenia na tym terenie niektórych prac (jak np. wiązanie zbrojenia). Na podstawie przeprowadzonych obserwacji, dodano do harmonogramu robotę uprzątnięcie drogi wewnętrznej pod pompę, która wygląda następująco (Tab. 2.):

Tab. 2. Dodatkowa robota: uprzątnięcie drogi wewnętrznej pod pompę

Podstawa	Opis	Ilość robót	jedn. miary	Norma czasu pracy			Skład brygady	Norma wydajności zmianowej	Liczba brygad	Czas trwania (h)
				rob.	0,01923	r-g				
analiza własna	uprzątnięcie drogi wewnętrznej pod pompę	156	m2	żuraw	0,003205	m-g	1	312,0125	1	1,00
				rob.	0,01923	r-g	3	156,0062		

Robotę tą wkomponowano w harmonogram nr 2, dodając ją każdorazowo po zbrojeniu elementu betonowanego pompą.

- konieczność sukcesywnych dostaw materiałów (głównie zbrojenia i deskowania)

Ustalono, że czynnik ten, mimo iż wiąże się z oddelegowaniem pracownika z frontu robót na czas wyładunku, nie ma wpływu na harmonogram budowy w porównaniu z budową, gdzie byłaby możliwość przywiezienia materiałów przed rozpoczęciem prac – sam fakt dostaw wydłuża wprawdzie harmonogram, a także generuje ryzyko nieterminowych dostaw, jednak suma ilości czasu poświęconego na rozładunek sukcesywnie dostarczanych materiałów będzie równa ilości czasu potrzebnego na jednorazowe dostarczenie wszystkich materiałów. Na podstawie powyższych ustaleń, pominięto w harmonogramach roboty związane z rozładunkiem materiałów.

- brak możliwości składowania ziemi z wykopu do obsypania fundamentów

Dostateczna ilość miejsca może pozwolić na składowanie na terenie budowy części ziemi z wykopu, celem użycia jej do obsypania fundamentów powstającej budowli. Brak takiego miejsca skutkuje koniecznością przywiezienia gruntu do obsypania fundamentów spoza placu budowy, co wiąże się z dodatkowymi kosztami – nie ma jednak wpływu na harmonogram robót. Na podstawie powyższych ustaleń pominięto ten czynnik w dalej części pracy.



Fot.3. Wykorzystanie drogi wewnętrznej w warunkach ograniczonego placu budowy

3.4 Wyniki, porównanie harmonogramów

Porównując obydwa otrzymane harmonogramy otrzymano wyniki (Tab. 3.):

Tab. 3. zestawienie otrzymanych harmonogramów

Lp.	Haromonogram	czas trwania analizowanego etapu robót (dni)	%
1	harmonogram bez wpływu warunków miejskich	69	100%
2	harmonogram z wpływem warunków miejskich	114	165%

Analizując zaburzające harmonogram czynniki osobno stwierdzono, że:

- zwiększenie robocizny wszystkich prac o 10% zwiększyło w przybliżeniu długość trwania całej inwestycji o 10%
- zmniejszenie przepracowanych dziennie godzin z 21 do 14 (dwie zmiany zamiast trzech) może wydłużyć budowę o jedną trzecią, biorąc pod uwagę fakt, że niemal wszystkie operacje na ścieżce krytycznej podlegają wpływowi tego warunku,
- zmniejszenie ilości jednocześnie pracujących pomp z dwóch do jednej przy betonowaniu stropów łącznie wydłużyło betonowanie stropów o 54 godziny to jest o 110%, jednak betonowane stropu znalazło się tylko 5 razy na ścieżce krytycznej, przez co czynnik ten wydłużył budowę o 29 godzin (rozpatrując łącznie ze zwiększeniem pracochłonności tych robót o 10%)
- ze względu na ograniczenie użycia maksymalnie jednej pompy w harmonogramie nr 2, w jednym miejscu zastosowano betonowanie żurawiem z kubłem zasypowym. Operacje te łącznie wydłużyły czas trwania prac o 2 dni.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonego porównania można dojść do następujących wniosków:

- warunki miejskie mogą mieć duży wpływ na czas wykonania robót,

- właściwe ułożenie harmonogramu może zmniejszyć wpływ warunków miejskich na harmonogram budowy,
- czynnikiem najbardziej wpływającym na harmonogram robót w warunkach miejskich brak możliwości prowadzenia pracy trzymianowej, pozostałe czynniki sumarycznie nie wydłużyły tak harmonogramu jak zmiana pracy z trzymianowej na dwuzmianową. Należy jednak pamiętać o fakcie, że nie uwzględniono różnicy w wydajności pracy poszczególnych zmian,
- wpływ większości czynników może zostać znacznie ograniczony za cenę zwiększonych nakładów finansowych (np. zwiększenie ilości sprzętu, wydłużenie czasu pracy sprzętu), jednak z uwagi na różnice w wydajności pracy w różnych godzinach, braku proporcjonalności między zwiększaniem ilości użytego sprzętu a zmniejszeniem czasu trwania danej roboty, należało by przeprowadzić dodatkową analizę czasowo-kosztową aby dokładnie przeanalizować to zagadnienie,
- przy ustalaniu harmonogramu należy zwrócić szczególną uwagę na ograniczenia ilości sprzętu mogącego pracować jednocześnie na ograniczonym terenie,
- mimo, iż dwie pompy znacząco przyspieszają czas betonowania, wpływa to w niewielkim stopniu całkowity czas trwania robót budowlanych ze względu na niewielki łączny czas betonowania w porównaniu do pozostałych robót.

Streszczenie

W niniejszej pracy przedstawiono propozycję klasyfikacji warunków miejskich. Wyszczególniono warunki występujące na budowie w warunkach miejskich utrudniające realizację obiektu. Przeanalizowano każdy z omówionych czynników pod kątem istotności jego wpływu na harmonogram budowy, a co za tym idzie – możliwego opóźnienia wykonywanych prac lub pojawieniu się nieoczekiwanych kosztów w sytuacji, w której nie bierze się wymienionych wyżej czynników pod uwagę przy prognozowaniu czasu trwania budowy. Sporządzono dwa harmonogramy budowy, z których jeden uwzględniał wpływ najbardziej istotnych czynników utrudniających realizację, a występujących w warunkach miejskich. Porównanie długości ścieżki krytycznej wyżej wspomnianych harmonogramów pozwoliło odpowiedzieć na pytanie, które z analizowanych czynników utrudniających realizację – a występujących w warunkach miejskich – wpływa najbardziej na wydłużenie czasu trwania budowy. Celowym jest podjęcie dalszych badań – na innych placach budów – w celu weryfikacji tez przedstawionych w niniejszej pracy.

The influence of downtown location of the building site on a time schedule of the project analyzed basing on real building site in Warsaw.

Abstract

The urban conditions were defined in this paper as a downtown location of the building site. The negative condition appearing there were listed. Each factor (arisen from urban condition) influencing the time schedule was analyzed taking into account the strength of its influence on a time schedule. The basis for analysis was a real building site in Warsaw where office building is erecting. Concrete works has been chosen for analysis in this paper. Two time schedules were prepared. One for the building erecting within ideal surrounding. The other one for the building located – as the example office building – close to the blocks of flats and with the very limited area for the backyard. The lengths of critical paths were calculated and compared. This analysis has allowed for evaluation which of urban circumstances has significant, negative influence on time schedule basing on given project. It is recommended to carry more research in order to confirm findings comprised in this paper.

BIBLIOGRAFIA

1. Martinek W., Nowak P., Woyciechowski P., Technologia robót budowlanych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010
2. Abramowicz M., Roboty betonowe na placu budowy. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1992
3. Martinek W., Książek M., Jackiewicz-Rek W., Technologia robót budowlanych - Ćwiczenia projektowe. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007

4. Orłowski Z. Podstawy technologii betonowego budownictwa monolitycznego. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010
5. Lenkiewicz W., Technologia robót budowlanych. PWN, Warszawa 1985
6. Obsługa narzędzia informatycznego MS PROJECT. Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości [dostęp: 1 września 2014], <http://propw.parp.gov.pl/files/74/151/278/13487.pdf>
7. Własna dokumentacja zdjęciowa budowy obiektu Tomasza Benedysiuka