

dr hab. inż. Roman Marcinkowski, prof. PW

Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii

dr hab. inż. Mieczysław Połoński, prof. SGGW

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

mgr inż. Kamil Pruszyński

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Monitoring i kontrola buforów czasu w metodzie mp-kp¹

Monitoring and control of buffers in mp-kp method³

streszczenie:

W pracy przedstawiono problematykę harmonogramowania realizacji przedsięwzięć budowlanych z uwzględnieniem buforów czasu. W szczególności zostało omówione zagadnienie monitoringu i kontroli buforów czasu. W artykule, poza teoretycznym przedstawieniem tematu, załączono także przykład praktycznego zastosowania monitoringu buforów czasu w kontrolowaniu realizacji przedsięwzięcia inżynierskiego w metodzie mp-kp.

summary:

This article presents a problem of scheduling the implementation of construction projects including time buffers. The issue of monitoring and control of time buffers was discussed in detail. In this paper the theoretical presentation of the subject is accompanied by an example of practical application of time buffers monitoring in controlling the performance of engineering projects in mp-kp method.

1. Wprowadzenie

Podjęta w pracy problematyka związana jest z projektowaniem realizacji przedsięwzięć budowlanych w funkcji czasu. Wnikliwej analizie poddano metodykę harmonogramowania robót inżynieryjno-budowlanych, uwzględniającą występujące aspekty probabilistyki w planowaniu budowy w ujęciu czasowym. Specyfika realizacji przedsięwzięć inżynierskich [3], występujące nagminnie ryzyko w budownictwie [6] oraz stosowane obecnie metody planowania [2] świadczą dobitnie o tym, że deterministyczne podejście czym prędzej należy zastąpić probabilistycznym planowaniem realizacji przedsięwzięć inżynieryjno-budowlanych [5]. Dopiero takie podejście do zarządzania realizacją budowy prowadzi do podniesienia jego efektywności oraz skuteczności, u którego podstaw znajduje się rzeczowo-czasowe sterowanie (kierowanie) robotami, zamówieniami i produkcją. Podstawą

¹ metoda mp-kp - metoda harmonogramowania realizacji przedsięwzięć budowlanych z uwzględnieniem buforów czasu opracowana przez zespół: Roman Marcinkowski, Mieczysław Połoński i Kamil Pruszyński.

takiego kierowania jest harmonogram, uwzględniający zachodzące podczas realizacji zmiany i mechanizmy, pozwalający je kontrolować oraz skutecznie na nie reagować, zgodnie z wcześniej przygotowanym scenariuszem.

Przedmiotem artykułu jest zagadnienie monitorowania ryzyka niedotrzymania terminów węzłowych (planowanych lub dyrektywnych) realizacji przedsięwzięcia budowlanego, do realizacji którego opracowano harmonogram według założeń metody Goldratta [1]. Sposób wykorzystania tej metody w budownictwie wraz z niezbędnymi modyfikacjami zostały przedstawione w rozprawie doktorskiej „Metoda harmonogramowania realizacji przedsięwzięć budowlanych z uwzględnieniem buforów czasu” [7].

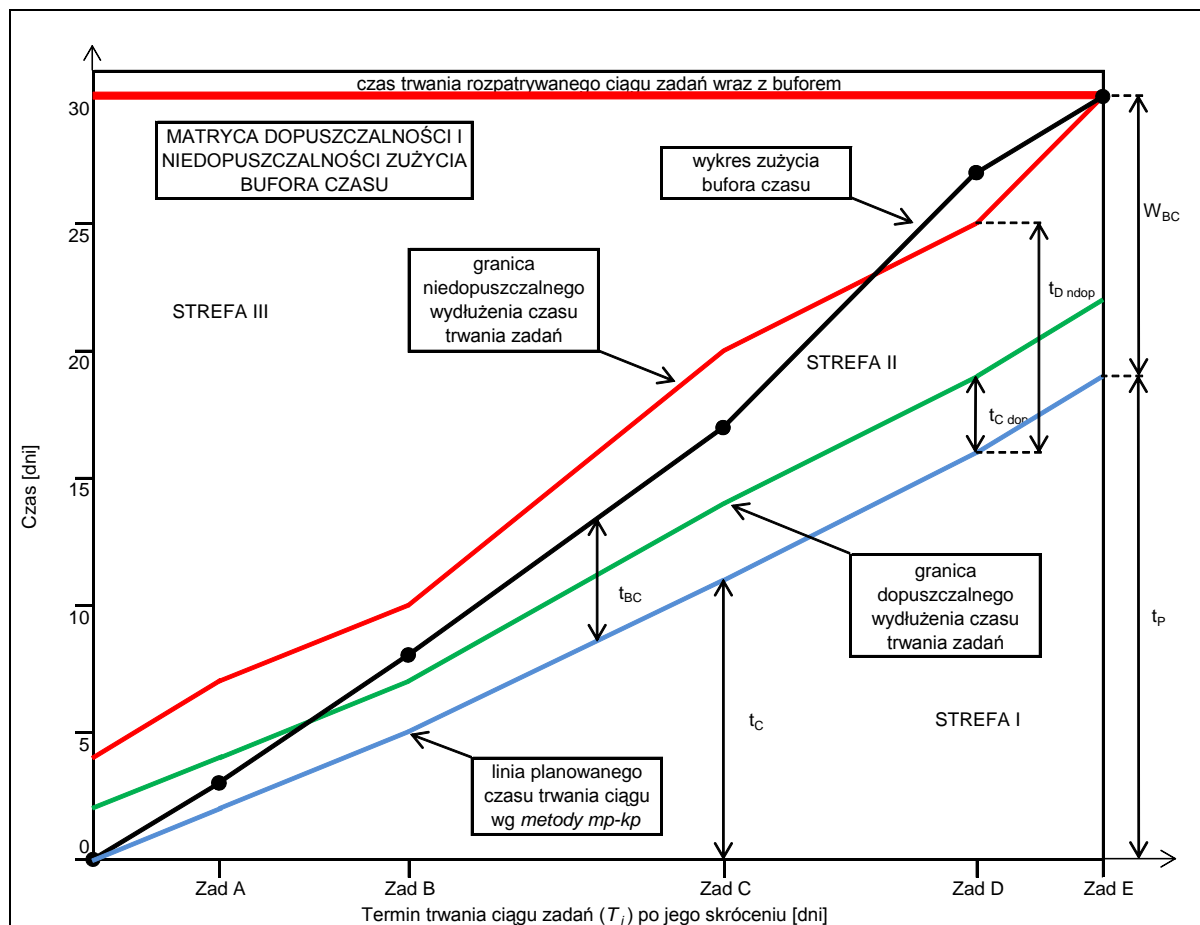
Utylitarnym efektem tej dysertacji jest metoda mp-kp, która służy do planowania i kontroli realizacji przedsięwzięć z analizą ryzyka czasu i terminów osiągnięcia określonych stanów. W metodzie tej proponuje się definiowanie w harmonogramie tzw. "buforów czasu", będących rezerwą czasu dla realizacji ciągów zadań. Bufory te w toku realizacji przedsięwzięcia są dystrybuowane w zakresie różnic między terminami rzeczywistymi a planowanymi realizacji zadań. W pracy przedstawiono technikę monitorowania tempa tej dystrybucji. Koncepcja metody jest wynikiem współpracy autorów niniejszego artykułu.

2. Monitoring i kontrola

Wizualnemu przedstawieniu wykorzystywania bufora czasu podczas trwania realizacji budowy służy wykres zużywania tego bufora na tle akceptowanego ryzyka. Składa się on z dwóch elementów: matrycy, która nosi nazwę dopuszczalności i niedopuszczalności zużycia poszczególnych buforów czasu, oraz nałożonego na nią wykresu zużycia bufora czasu tworzonego już podczas trwania budowy. W sposób schematyczny przedstawiono to na rysunku 1.

Matryca powstaje w wyniku stworzenia dwóch granic: dopuszczalnego oraz niedopuszczalnego opóźnienia realizacji poszczególnych zadań wchodzących w skład rozpatrywanego ciągu. Na osi odciętych należy zaznaczyć terminy zakończenia lub rozpoczęcia poszczególnych zadań (T_i) - już po ich skróceniu według wcześniej przedstawionej koncepcji. Z kolei, na osi rzędnych zaznacza się wielkość dopuszczalnego i niedopuszczalnego opóźnienia terminów realizacji zadań rozpatrywanego ciągu (t_{dop} , t_{ndop}). Do oszacowania każdego rodzaju czasu (dopuszczalnego i niedopuszczalnego) należy skorzystać z wiedzy eksperckiej. Tylko wtedy bowiem zostaną właściwie określone granice dopuszczalnego i niedopuszczalnego wydłużenia poszczególnych zadań wchodzących w skład rozpatrywanego ciągu. Uwzględnią one tym samym względy technologiczno-

organizacyjne realizowanego zamierzenia inżynierijno-budowlanego, oraz przede wszystkim, mogące w nim wystąpić ryzyko, które zostanie zdefiniowane i właściwie określone.



Rysunek 1. Wykres zużycia bufora czasu na tle akceptowanego ryzyka - schemat powstawania:
 t_c - suma czasu trwania zadania C i poprzedników według założeń metody mp-kp (narastająco), $t_{D\ dop}$ - czas dopuszczalny trwania zadania D, $t_{D\ ndop}$ - czas niedopuszczalny trwania zadania D, t_{BC} - wielkość zużycia bufora czasu (narastająco), t_p - czas trwania rozpatrywanego ciągu zadań po skróceniu, W_{BC} - wyliczona (przyjęta) wielkość bufora czasu

Z wyznaczenia tych granic powstaną trzy strefy, tworząc w ten sposób matrycę dopuszczalności i niedopuszczalności zużycia bufora czasu. Dolny jej obszar - pod granicą dopuszczalnego opóźnienia terminów realizacji zadań w danym ciągu (pod linią typu kreska-kropka) - oznacza ryzyko pomijalne (strefa I), które jest na tyle znikome, że może nie być brane pod uwagę w dalszych rozważaniach dotyczących realizacji budowy. Strefa II - obszar środkowy pomiędzy granicami dopuszczalnego i niedopuszczalnego opóźnienia terminów realizacji zadań w rozpatrywanym ciągu (między liniami typu kreska-kropka a kreska) - oznacza ryzyko umiarkowane, czyli dopuszczalne (ale warunkowo), które trzeba brać pod uwagę podczas dalszej analizy. Ostatnie, trzecie pole (strefa III), znajdujące się nad granicą niedopuszczalnego opóźnienia terminów realizacji zadań w danym ciągu (nad linią typu kreska) przedstawia ryzyko nieakceptowalne, któremu należy przeciwdziałać.

Kolejnym elementem matrycy jest linia przedstawiająca planowany, zgodnie z harmonogramem opracowanym według założeń metody mp-kp, czas trwania ciągu zadań (linia typu kropka) - bez uwzględnienia wielkości bufora czasu. Powinno się ją stworzyć na samym początku powstawania matrycy, gdyż to od niej najlepiej odmierzać czas t_{dop} i t_{ndop} . Powstaje ona w wyniku przypisania narastająco terminom zakończenia poszczególnych zadań z rozpatrywanego ciągu T_i czasu t_i .

Następnie buduje się wykres zużycia bufora czasu. Powstaje on sukcesywnie podczas trwania realizacji zamierzenia budowlanego (ciągu zadań, którego dotyczy). Zaznacza się na nim wykorzystywanie bufora czasu podczas wykonania ciągu, który on chroni (t_{BC}).

Idea powstania matrycy dopuszczalności i niedopuszczalności zużycia bufora czasu została zaczerpnięta z metody FMEA² do analizy ryzyka. Matryca powstaje osobno dla każdego bufora czasu. Zagrożenia, które są w niej zawarte, powinny zostać zidentyfikowane każdorazowo przed rozpoczęciem realizacji przedsięwzięcia, tak by nie zmieniać kryteriów oceny ryzyka już w czasie jego trwania. Może to bowiem prowadzić do końcowego zafałszowania jej wyników. Należy zatem zawsze poddawać analizie proces zużywania rozpatrywanego bufora czasu na tle tej samej matrycy.

Należy przy tym zaznaczyć, że maksymalna wartość, jaką może osiągnąć granica niedopuszczalnego wydłużenia czasu trwania zadań, nie może być większa od wyliczonego wcześniej czasu trwania rozpatrywanego ciągu zadań - przedsięwzięcia (t_p), licząc razem z buforem czasu (W_{BC}). W tym celu zaznaczono dopuszczalną wyliczoną jej wartość pogrubioną czarną linią. W przypadku, kiedy wykres zużycia bufora czasu ją przekroczy, lokalizacja ścieżki krytycznej w harmonogramie może ulec zmianie.

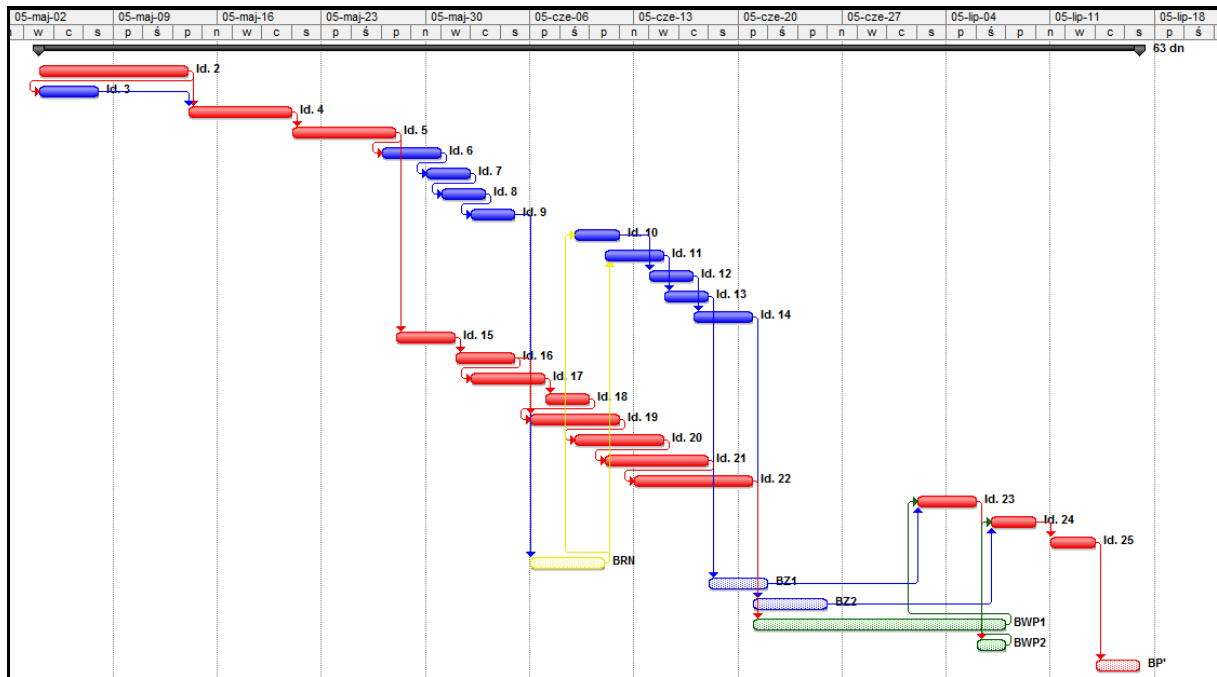
3. Zastosowanie inżynierskie

W celu zaprezentowania praktycznego stosowania w przedsięwzięciu inżynierskim monitoringu i kontroli w metodzie mp-kp zostanie rozwiązane przykładowe zadanie.

Do pozyskanego w tym celu harmonogramu robót ziemnych stacji metra A19 Marymont w Warszawie [4, 8] wstawiono odpowiednie bufory czasu oraz zastosowano skrócenie czasów trwania poszczególnych zadań i relacji czasowych między nimi o 50%, co przedstawiono na rysunku 2 oraz w tabeli 1. Przedsięwzięcie to podlegać będzie kontroli pod względem terminowości realizacji poszczególnych zadań. Przyjęto, że punkty kontrolne, tzw. kamienie milowe, będą monitorowane na cotygodniowych naradach, na których będą

² FMEA - Failure Mode and Effects Analysis [9].

podejmowane ewentualne środki zaradcze w przypadku przekroczenia przez któryś z buforów czasu strefy I na rys 1.



Rysunek 2. Harmonogramu robót ziemnych stacji metra A19 Marymont w Warszawie ze wstawionymi odpowiednio właściwymi buforami czasu oraz z zastosowaniem skrócenia czasów trwania poszczególnych zadań i relacji czasowych między nimi o 50%

Tabela 1. Zestawienie terminów realizacji zadań dla harmonogramu przedstawionego na rysunku 2

Id.	Nazwa zadania	Cz. trw.	Rozpoczęcie	Zakończenie	Następniki	Całkowity zapas
1	Budowa stacji metra A19 Marymont w Warszawie - roboty ziemne /fragment harmonogramu/	63 dn	śro, 05-05-04	sob, 05-07-16		0 dn
2	MOBILIZACJA I PRZYGOTOWANIE SPRZĘTU	9 dn	śro, 05-05-04	pią, 05-05-13	3ZR-9 dn;4	0 dn
3	PRZYGOTOWANIE FRONTU ROBÓT	4 dn	śro, 05-05-04	sob, 05-05-07	4	5 dn
4	WYKONANIE ŚCIAN SZCZELINOWYCH - SEKCJE 11-18 I 37-44	6 dn	sob, 05-05-14	pią, 05-05-20	5	0 dn
5	WYKONANIE ŚCIAN SZCZELINOWYCH- SEKCJE 19-26 I 31-36	5 dn	sob, 05-05-21	pią, 05-05-27	6ZR-1 dzień;15	0 dn
6	WYKONANIE PALI ŚCIANKI BERLIŃSKIEJ	3 dn	pią, 05-05-27	pon, 05-05-30	7ZR-1 dzień	9 dn
7	WYKONANIE WYKOPU WSTĘPNEGO SEKCJI 5A I 5B	3 dn	pon, 05-05-30	śro, 05-06-01	8ZR-2 dn	9 dn
8	SKUCIE ŚCIAN SZCZELINOWYCH ORAZ USZCZELNIENIE POLACZENIA ZE STROPEM ZEWNĘTRZNYM- SEKCJE 18-25 I 32-37	3 dn	wto, 05-05-31	czw, 05-06-02	9ZR-1 dzień	9 dn
9	SZALOWANIE SEKCJI 5A	3 dn	czw, 05-06-02	sob, 05-06-04		9 dn
10	ZBROJENIE I BETONOWANIE SEKCJI 5A	3 dn	czw, 05-06-09	sob, 05-06-11	12ZR+1 dzień	9 dn
11	SZALOWANIE SEKCJI 5B	3 dn	sob, 05-06-11	wto, 05-06-14	13	9 dn
12	ZBROJENIE I BETONOWANIE SEKCJI 5B	3 dn	wto, 05-06-14	czw, 05-06-16	14	9 dn
13	SZALOWANIE PRZEWYŻSZENIA SEKCJI 5A	3 dn	śro, 05-06-15	pią, 05-06-17	27	9 dn
14	ZBROJENIE I BETONOWANIE PRZEWYŻSZENIA SEKCJI 5A	3 dn	pią, 05-06-17	pon, 05-06-20	28	9 dn
15	WYKONANIE ŚCIAN SZCZELINOWYCH- SEKCJE 27-30 I 58-59	3 dn	sob, 05-05-28	wto, 05-05-31	16	0 dn
16	WYKONANIE ŚCIAN SZCZELINOWYCH- SEKCJE 8-10 I 45-47	4 dn	śro, 05-06-01	sob, 05-06-04	19;17ZR-3 dn	0 dn
17	WYKONANIE PALI ŚCIANKI BERLIŃSKIEJ	4 dn	czw, 05-06-02	pon, 05-06-06	18	0 dn
18	TYMCZASOWE PRZEŁOŻENIE KABLI ENERGETYCZNYCH I TRAKCYJNYCH - WIĄZKA 2	3 dn	wto, 05-06-07	czw, 05-06-09	19ZR-4 dn	0 dn
19	WYKONANIE ŚCIAN SZCZELINOWYCH- SEKCJE 1-7 I 48-57	6 dn	pon, 05-06-06	sob, 05-06-11	20ZR-3 dn	0 dn
20	WYKONANIE PALI ŚCIANKI BERLIŃSKIEJ	5 dn	czw, 05-06-09	wto, 05-06-14	21ZR-3 dn	0 dn
21	WYKONANIE WYKOPU WSTĘPNEGO SEKCJI 1, 2A, 2B	6 dn	sob, 05-06-11	pią, 05-06-17	22ZR-5 dn	0 dn
22	SKUCIE ŚCIAN SZCZELINOWYCH ORAZ USZCZELNIENIE POLACZENIA ZE STROPEM ZEWNĘTRZNYM- SEKCJE 1-8 I 47-57	7 dn	pon, 05-06-13	pon, 05-06-20	29	0 dn
23	SZALOWANIE SEKCJI 1	3 dn	sob, 05-07-02	wto, 05-07-05	30	0 dn
24	ZBROJENIE I BETONOWANIE SEKCJI 1	3 dn	czw, 05-07-07	sob, 05-07-09	25	0 dn
25	ZBROJENIE I BETONOWANIE SEKCJI 2B	3 dn	pon, 05-07-11	śro, 05-07-13	31	0 dn
26	BRN	5 dn	pon, 05-06-06	pią, 05-06-10	10ZR-2 dn;11	9 dn
27	BZ1	3 dn	sob, 05-06-18	wto, 05-06-21	23	9 dn
28	BZ2	5 dn	wto, 05-06-21	sob, 05-06-25	24	9 dn
29	BWP1	15 dn	wto, 05-06-21	czw, 05-07-07	23ZR-5 dn	0 dn
30	BWP2	2 dn	śro, 05-07-06	czw, 05-07-07	24ZR-1 dzień	0 dn
31	BP	3 dn	czw, 05-07-14	sob, 05-07-16		0 dn

Na zakończenie planowania przystąpiono do sporządzenia wykresów zużycia buforów czasu na tle akceptowanego ryzyka dla każdego ciągu, które one chronią.

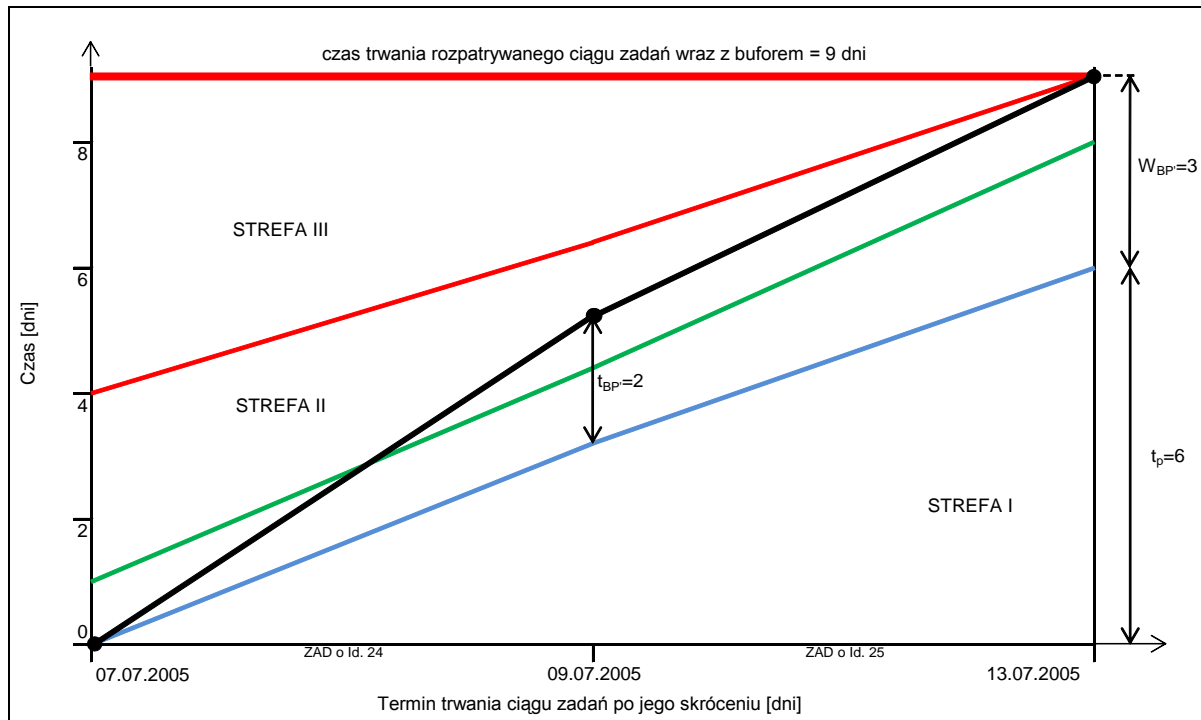
Początkowo dla każdego występującego w przykładzie bufora czasu opracowano matrycę dopuszczalności i niedopuszczalności ich zużycia. Do ich stworzenia potrzebne są oszacowania eksperckie granic dopuszczalnego i niedopuszczalnego opóźnienia zakładanych terminów realizacji zadań. Dla wyróżnionych w tabeli 2 buforów czasu i poszczególnych zadań oszacowuje się opóźnienia (t_{dop} , t_{ndop}). Dla przykładu, na rysunku 3, przedstawiono matrycę dla ciągu chronionego buforem czasu BP'.

Tabela 2. Zestawienie stosowanych w przykładzie buforów czasu wraz z chronionymi przez nie ciągami zadań

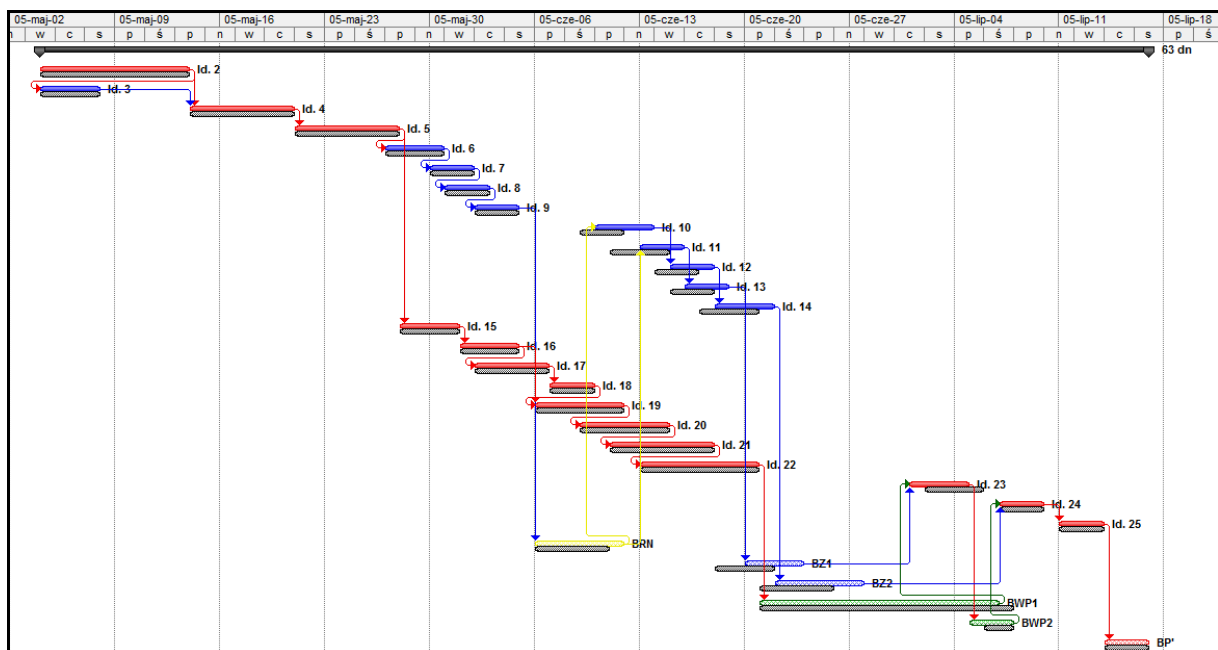
Lp.	Nazwa bufora czasu wraz z chronionym przez niego ciągiem zadań	Rozpoczęcie ciągu	Zakończenie ciągu	Wielkość bufora czasu
1	BRN ciąg Id. 6-7-8-9	27.05.2005	04.06.2005	5
2	BZ 1 ciąg Id. 11-13	11.06.2005	17.06.2005	3
3	BZ2 ciąg Id. 10-12-14	09.06.2005	20.06.2005	5
4	BWP1 ciąg Id. 2-4-5-15-16-17-18-19-20-21-22	04.05.2005	20.06.2005	15
5	BWP2 ciąg Id. 23	02.07.2005	05.07.2005	2
6	BP' ciąg Id. 24-25	07.07.2005	13.07.2005	3

Po przystąpieniu do realizacji przedsięwzięcia, buduje się linie zużycia buforów czasu. W opisywanym przedsięwzięciu okazało się, że wiele zadań trwało dłużej niż zakładano. Na przykład, nie udało się na czas przełożyć kabli energetycznych (zadanie o nr Id. 18) oraz nie dostarczono na czas stali zbrojeniowej dla sekcji 1 (zadanie o nr Id. 24). Korzystano wówczas z zapasu czasu, jaki został zarezerwowany w odpowiednich buforach czasu. Aby zmniejszyć wykorzystanie tych buforów i żeby nie przekroczyć ich czasu trwania, postanowiono podjąć odpowiednie działania. Przykładowo: dokonano szybkiej wymiany sprzętu, który uległ awarii w trakcie wykonywania zadania *wykonanie wykopu wstępnego sekcje 5A i 5B* (zadanie o nr Id. 7) i zamówiono dodatkowo jeden zestaw szalunków w celu przyspieszenia *przygotowywania frontu robót pod betonowanie* (zadanie o nr Id. 11).

Podjęte działania przyczyniły się do zużycia buforów czasu bez przekraczania wielkości trwania ciągu chronionego buforem BP'. Wykres zużycia tego bufora przedstawiono na rysunku 3 grubą linią ciągłą, zaś na rysunku 4 pokazano wykres Gantta, na którym porównano zaplanowane zadania z ich realizacją.



Rysunek 3. Przykładowa matryca dopuszczalności i niedopuszczalności zużycia bufora BP' z wykresem zużywania bufora BP' na tle akceptowanego ryzyka.



Rysunek 4. Porównanie terminów planowanych i zrealizowanych na zakończenie przedsięwzięcia

4. Podsumowanie i wnioski

Zastosowanie wykresu zużywania bufora czasu na tle akceptowanego ryzyka wpłynęło pozytywnie na pełniejszą kontrolę realizacji przedsięwzięcia inżyneryjno-budowlanego. Pozwala on monitorować wyniki z wykorzystywania poszczególnych buforów czasu opóźnienia czy też zmianę końcowego terminu realizacji budowy.

Można także zauważyć, że chociaż niektóre bufor czasu trwały krócej (BWP1), inne dłużej (BRN, BZ1, BWP2), a jeszcze inne zgodnie z planem (BZ2, BP'), to całe przedsięwzięcie budowlane zakończyło się zgodnie z planowanym terminem.

Podjęte działania, zwłaszcza dla zadań ze ścieżki krytycznej ograniczyły potrzebę wykorzystania zgromadzonych rezerw czasu w buforach. Należałoby oczywiście zintensyfikować wysiłki, by odpowiednio wcześniej wykryć i przeciwdziałać ewentualnemu przekroczeniu planowanego terminu (np. mieć w zapasie dodatkowy sprzęt na wypadek awarii lub też dodatkowe zestawy szalunków, czy też zamówić całą stal zbrojeniową na budowę). Ponieważ jednak wiąże się to z ponoszeniem dodatkowych kosztów, należy więc za każdym razem rozważyć opłacalność takich działań. Zwrócono dodatkowo uwagę, że nie wszystkie bufor muszą zakończyć się w planowanym terminie, by całe przedsięwzięcie było zrealizowane na czas. Z kolei, jeżeli właściwie stosujemy wykres zużywania bufora czasu na tle akceptowanego ryzyka, możemy należycie kontrolować i monitorować przebieg realizacji każdego przedsięwzięcia inżynieryjno-budowlanego według założeń metody mp-kp.

5. Piśmiennictwo

- [1] Goldratt E.M., 2000: Łańcuch krytyczny. Wyd. Werbel, Warszawa.
- [2] Jaworski K.M., 1999: Metodologia projektowania realizacji budowy. Wyd. PWN, Warszawa.
- [3] Kapliński O. (red.), 2007: Metody i modele badań w inżynierii przedsięwzięć budowlanych. Seria Studia z Zakresu Inżynierii Nr 57. PAN, KILiW, IPPT, Warszawa.
- [4] Koncepcja architektoniczno-budowlana stacji metra A-19 Marymont w Warszawie, 2005. Maszynopis. Metro Warszawskie i Warbud S.A., Warszawa.
- [5] Marcinkowski R., 2002: Metody rozdziału zasobów realizatora w działalności inżynieryjno-budowlanej. Rozprawa habilitacyjna. WAT, Warszawa.
- [6] Połośki M. (red.), 2009: Kierowanie budowlanym procesem inwestycyjnym. Wyd. SGGW, Warszawa.
- [7] Pruszyński K., 2013: Metoda harmonogramowania realizacji przedsięwzięć budowlanych z uwzględnieniem buforów czasu. Rozprawa doktorska. WAT, Warszawa.
- [8] Umowa wraz z harmonogramem prowadzenia robót budowlanych, inżynieryjnych i elektrycznych stacji metra A-19 „Marymont” w Warszawie z dnia 28.05.2004. Maszynopis, Warszawa.
- [9] Urbaniak M., 2004: Zarządzanie jakością. Wyd. Difin, Warszawa.