

Katarzyna MAREK-KOŁODZIEJ, Iwona ŁAPUŃKA, Dominika JAGODA-SOBALAK
Politechnika Opolska
Instytut Innowacyjności Procesów i Produktów
k.marek-kolodziej@po.opole.pl, i.lapunka@po.opole.pl, d.jagoda@po.opole.pl

IMPLEMENTACJA METODY ŁAŃCUCHA KRYTYCZNEGO DO PLANOWANIA I REALIZACJI PROJEKTÓW PRODUKCYJNO- USŁUGOWYCH W ŚRODOWISKU WIELOPROJEKTOWYM

Streszczenie. Przedsiębiorstwa produkcyjne, aby utrzymać swoją pozycję na rynku globalnym, coraz częściej realizują wiele zleceń (projektów) jednocześnie. Zarządzanie portfelem projektów jest działalnością złożoną i wymusza na przedsiębiorstwach zastosowanie innowacyjnego podejścia do zarządzania swoją działalnością. Jednym z takich sposobów może być zastosowanie metody łańcucha krytycznego, która umożliwia skuteczniejsze realizowanie projektów w środowisku wieloprojektowym, dzięki wprowadzonym buforom czasu i werbla. Metodę tą zaimplementowano w jednym z opolskich przedsiębiorstw, które realizuje zlecenia produkcyjno-usługowe w zakresie kompleksowego projektowania i wdrażania automatyki przemysłowej oraz wykonywania skomplikowanych instalacji elektrycznych dla różnego rodzaju budynków przemysłowych. Dzięki wdrożonej metodzie łańcucha krytycznego przedsiębiorstwo uzyskało znaczące korzyści finansowe i organizacyjne.

Słowa kluczowe: zarządzanie projektem, środowisko wieloprojektowe, metoda łańcucha krytycznego

PLANNING AND EXECUTION OF PRODUCTION AND SERVICE PROJECTS IN A MULTI-PROJECT ENVIRONMENT WITH USE OF CRITICAL CHAIN METHOD

Abstract. The manufacturing enterprises increasingly realize many orders (projects) at the same time in order to maintain their position in the global market. Project portfolio management is a complex activity and requires to adopt an innovative approach to managing business. One such method is the critical chain project management (CCPM), which allows for more efficient projects execution in a multi-project environment by introducing time and drum buffers. This method has been implemented in one of the companies in Opole Voivodeship, which performs production and service orders for complex design and implementation of industrial automation and execution of complex electrical installations for various

types of industrial buildings. The implementation of the critical chain method has allowed the enterprise significant financial and organizational benefits.

Keywords: project management, multi-project environment, critical chain project management

1. Wprowadzenie

Różnorodność rozwiązań proponowanych współcześnie przez zarządzanie, jak również gwałtowna globalizacja gospodarki, a w szczególności rewolucja w obszarze techniki i technologii informacyjnej, sprawiają, że zarządzanie przedsiębiorstwem produkcyjnym XXI wieku musi być ukierunkowane na zewnętrzne otoczenie biznesu. Powinno ono polegać przede wszystkim na definiowaniu celów przedsiębiorstwa w kontekście potrzeb rynku i klienta. Związane jest to najczęściej z realizacją złożonych przedsięwzięć (zleceń) produkcyjno-usługowych, bądź realizacją wielu zleceń (projektów) jednocześnie (ang. *multiple projects*)^{1,2,3}. Wówczas należy mówić o realizacji projektów w środowisku wieloprojektowym (ang. *multi-project environment*). Jak wynika z badań opublikowanych w pracy A. Lova, C. Maroto, P. Tormos pt.: „*A multicriteria heuristic method to improve resource allocation in multiproject scheduling*”, ponad 80% przedsiębiorstw realizuje projekty w środowisku wieloprojektowym. Ponad 84% projektów realizowanych w przedsiębiorstwach składa się z co najwyżej pięćdziesięciu czynności, a około 95% projektów składa się z zadań sięgający do stu⁴. Zarządzanie tego typu projektami (zleceniami) jest procesem długotrwałym i pracochłonnym. Według K.B. Hass im projekt jest bardziej złożony tym trudniej nim zarządzać⁵. Zgodnie z opracowanym modelem złożoności projektu (ang. *Project Complexity Model*), duże projekty, które są bardzo skomplikowane i złożone wymagają specjalnego podejścia. Powinno ono umożliwić zespołowi projektowemu planować i realizować duży projekt w zmieniającym się otoczeniu oraz dostarczyć odpowiednie metody do zarządzania projektem⁶. Podobne wnioski przedstawia The Standish Group, amerykańska organizacja która od wielu lat prowadzi badania nad skutecznością realizacji projektów. Najnowsze badania z roku 2015 opublikowane w *Chaos Report 2016: The Winning Hand* wskazują, że tylko 3% dużych projektów (zarządzanych klasycznym

¹ A guide to the project management body of knowledge. 5th edition. PMI, Newtown Square, PA, USA 2013, p. 9.

² Sońta – Drączkowska E.: Zarządzanie wieloma projektami, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2012, s. 11.

³ Dobson M.S., Dobson D.S.: Managing Multiple Projects, AMACOM American Management Association, New York, 2002, p. 166.

⁴ Lova A., Maroto C. Tormos P.: A multicriteria heuristic method to improve resource allocation in multiproject scheduling. European Journal of Operational Research, 127, 2000, p. 408-424.

⁵ Hass K. B.: Introducing the new project complexity model part I, (www.projecttimes.com, dostęp on-line luty 2016).

⁶ Hass K.B.: Managing complex projects that are too large, too long and too costly, (www.projecttimes.com, dostęp on-line luty 2016).

podejściem do zarządzania projektami) kończy się sukcesem, 55% napotka na spore trudności, a aż 42% przynosi wyłącznie straty⁷. Związane jest to przede wszystkim ze złożonością projektu i już w roku 2013, The Standish Group zwróciło na to uwagę w krytycznych czynnikach sukcesu projektu. Wyróżniono wówczas następujące krytyczne czynniki sukcesu projektu: (1) wsparcie kadry zarządczej, (2) kompetencje kierownika projektu, (3) optymalizacja planu projektu, (4) kompetencje zespołu projektowego, (5) specjalizacja zarządzania projektami, (6) podejście procesowe, (7) jasno ustalony cel biznesowy, (8) dojrzałość emocjonalna przedsiębiorstwa, (9) wykonanie, sposób realizacji planu projektu, (10) narzędzia i infrastruktura wykorzystane do realizacji projektu⁸. Jednym z najważniejszych czynników wpływających na sukces projektu jest optymalizacja planu (15%). Rozumiana, jako podział dużego projektu na podprojekty i zarządzanie nimi poprzez portfel projektów. Jednocześnie wskazano na dobór odpowiedniej metody zarządzania projektami.

W świetle przywołanych faktów potrzeba właściwego zarządzania projektami produkcyjno-usługowymi w środowisku wieloprojektowym stała się oczywista. Problematyka związana z tym zakresem znajduje odzwierciedlenie w rosnącej liczbie publikacji naukowych, a także coraz częściej jest przedmiotem wykładów akademickich, szkoleń oraz kursów zawodowych⁹. Na gruncie badań naukowych i działalności praktycznej wypracowano już szereg metodyk, metod i technik zarządzania właściwych tej dziedzinie. Jedną z tych metod jest koncepcja łańcucha krytycznego (CCPM, ang. *Critical Chain Project Management*), która umożliwi skuteczniejsze zarządzanie projektami w środowisku wieloprojektowym.

Celem artykułu jest przedstawienie założeń i przykładu praktycznego zastosowania metody łańcucha krytycznego do planowania i realizacji projektów produkcyjno-usługowych w środowisku wieloprojektowym. Metoda została zaimplementowana w jednym z opolskich przedsiębiorstw, które realizuje zlecenia produkcyjno-usługowe w zakresie kompleksowego projektowania i wdrażania automatyki przemysłowej oraz wykonywania skomplikowanych instalacji elektrycznych dla różnego rodzaju budynków przemysłowych. Przedsiębiorstwo dzięki wdrożonej metodzie CCPM uzyskało znaczące korzyści finansowe i organizacyjne.

2. Założenia metody łańcucha krytycznego

Metoda łańcucha krytycznego została opracowana przez E. M. Goldratta w 1997 roku. Jest ona nowatorską metodą zarządzania projektami, opierającą się na metodzie CPM (ang.

⁷ The Standish Group: The Chaos Report: The Winning Hand, 2016, p. 3.

⁸ The Standish Group: The Chaos Manifesto, Think Big, Act Small. 2013, p. 3.

⁹ Spałek S.: The Role of Project Management Office in the Multi-Project Environment, p. 172.

Critical Path Method) oraz TOC (ang. *Theory of Constraints*)^{10,11}. Ścieżka krytyczna (CPM) jest narzędziem zarządzania operacyjnego – służy do planowania i kontroli projektu (powstała w 1957 roku). Teoria ograniczeń (TOC) jest stosowana do planowania zadań i zasobów powtarzalnych procesów produkcyjnych. TOC znalazła szerokie zastosowanie w wielu światowych korporacjach takich jak: General Motors, Intel Corporation, Boeing, Lucent Technologies, Ford Motor Corporation, ABB¹².

E.M. Goldratt wykorzystał te dwa podejście do usprawniania planowania zasobów w projektach, określając schemat postępowania podczas planowania przedsięwzięć metodą CCPM. Metoda zakłada, że po pierwsze należy ograniczyć przeszacowanie czasów, czyli tworzyć harmonogram z agresywnymi czasami trwania mający 50% szans realizacji na czas, po drugie należy wyznaczyć łańcuch krytyczny projektu, a następnie wprowadzić bufor czasu do harmonogramu. Następnie należy przydzielić zasoby do poszczególnych zadań, pamiętając, że zasób roboczy może być przydzielony tylko do jednego zadania w danym czasie^{13,14,15,16}. Kolejnym założeniem metody łańcucha krytycznego jest właściwe monitorowanie i kontrola projektu. Dzięki wprowadzonym buforom czasu można na bieżąco monitorować postęp w projekcie kontrolując zużycie buforów.

Metoda łańcuch krytycznego eliminuje trzy niepożądane przypadki w projektach: syndrom studenta, prawo Parkinsona oraz wielozadaniowość. Dzięki skróceniu czas trwania poszczególnych zadań do czasów agresywnych $t_{0,5}$ eliminowany jest syndrom studenta oraz prawo Parkinsona. Z kolei przypisywanie zasobu dla jednego zadania eliminuje wielozadaniowość w projekcie¹⁷.

Autor metody łańcucha krytycznego wyróżnił następujące etapy planowania projektu:

- wykonanie zakresu projektu, przy określonych kosztach i jak najkrótszym czasie,
- zredukowanie czasów trwania poszczególnych czynności do $t_{0,5}$ (czasów agresywnych),
- zidentyfikowanie łańcucha krytycznego w harmonogramie,
- wprowadzenie buforów chroniących łańcuch krytyczny i ścieżki niekrytyczne,
- określenie wielkości buforów,
- monitorowanie realizacji projektu oraz podejmowanie działań korygujących¹⁸.

¹⁰ Bevilacqua M., Ciarapica F.E., Giacchetta G.: Critical chain and risk analysis applied to high – risk industry maintenance. A case study, *International Journal of Project Management*, 27/2009, p. 420.

¹¹ DRM Associates: Critical Chain Project Management, (www.npd-solutions.com, dostęp on-line marzec 2014).

¹² Stępień P.: Środowisko wieloprojektowe cz. 1-4, (www.skutecznyprojekt.pl, dostęp on-line luty 2012).

¹³ Graham K. Rand: Critical chain, the theory of constraints applied to Project management, *International Journal of Project Management*, 18/2000, p. 173-177.

¹⁴ Goldratt E.M.: łańcuch krytyczny: projekt na czas. Wyd. Mint Books, Warszawa, 2009, s. 34-45.

¹⁵ Herroelen W., Leus R., Demeulemeester E.: Critical chain project scheduling: Do not oversimplify, *Project Management Journal*, 33 (4), 2002, p. 48-50.

¹⁶ Steyn H.: Project applications of the theory of constraints Beyond critical chain scheduling, *International Journal of Project Management*, 20/2002, s. 75-78.

¹⁷ Połowski M., Pruszyński K.: Lokalizacja buforów czasu w metodzie łańcucha krytycznego w harmonogramach robót budowlanych. Cz. 1. Podstawy teoretyczne. *Przegląd Budowlany*, nr 2/2008, s. 46.

¹⁸ Goldratt E.M.: łańcuch krytyczny: projekt na czas. Wyd. Mint Books, Warszawa, 2009, s. 175-185.

Planowanie jest jedną z głównych funkcji zarządzania, polegającą na określeniu w sposób logiczny przyszłych działań niezbędnych do osiągnięcia wyznaczonych celów poprzez wybór najbardziej efektywnego wariantu działania. Planowanie organizuje się poprzez plan. Plan, według T. Kotarbińskiego, to zaakceptowany opis możliwego wykonania w przyszłości dobra i układu czynności zjednoczonych wspólnym celem¹⁹. Z kolei metodyka PRINCE2 określa plan, jako szczegółową propozycję wykonania lub osiągnięcia czegoś wykazującą szczegółowo, co, kiedy, jak i przez kogo zostanie wytworzone²⁰.

Projekt według metody łańcucha krytycznego planuje się w podobny sposób, jak w tradycyjnym podejściu do zarządzania projektem. Musi zostać określona struktura podziału pracy – WBS. Na jej podstawie tworzony jest harmonogram projektu, określone są zasoby niezbędne dla realizacji zadań oraz sporządzany jest budżet projektu. Metoda łańcucha krytycznego zakłada tworzenie harmonogramu według zasady „pull”, czyli praca wprowadzana jest w system tak późno jak to możliwe. Jednocześnie odchodzi się od pierwotnych dat rozpoczęcia i zakończenia zadań na relację typu ALAP (ang. *As Late As Possible*)^{21,22}.

Mając tak zbudowany harmonogram należy zredukować czas trwania poszczególnych czynności. Goldratt twierdzi, że menedżerowie projektu określając czas trwania poszczególnych zadań zakładają margines bezpieczeństwa. Autor łańcuch krytycznego zakłada, że czas poszczególnych czynności w pierwotnym harmonogramie jest ustalony z 0,9 prawdopodobieństwem ukończenia projektu. Tak duże prawdopodobieństwo poszczególnych zadań powoduje wydłużenie się całego projektu, co niekoniecznie świadczy o terminowym zakończeniu. Aby nie dopuścić do takiej sytuacji należy zaplanować czas poszczególnych czynności z 0,5 prawdopodobieństwem ukończenia zadania na czas. Należy więc utworzyć „agresywny” harmonogram projektu, który wyeliminuje margines bezpieczeństwa zakładany przez kierowników projektów. Margines bezpieczeństwa jest to pewna rezerwa ustalana w celu zabezpieczenia projektu. Czas z marginesem bezpieczeństwa ustalany jest na poziomie 0,8 - 0,9 prawdopodobieństwa realizacji zadania na czas.

Skrócenie poszczególnych czasów trwania zadań może przyczynić się do eliminacji niekorzystnych zjawisk, takich jak syndrom studenta, prawo Parkinsona, czy też wielozadaniowość. Syndrom studenta to naturalny sposób postępowania pracowników, nie tylko studentów, którzy odkładają na ostatnią chwilę swoją pracę. Pracownik znając termin rozpoczęcia i zakończenia zadania, przeważnie będzie zwlekał z jego rozpoczęciem do terminu najpóźniejszego. Powoduje to najczęściej opóźnienie zadań, co z kolei może mieć

¹⁹ Trocki M.: Nowoczesne zarządzanie projektami, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013, s. 72.

²⁰ Office Government Commerce (OGC): PRINCE2TM – Skuteczne zarządzanie projektami, TSO, Londyn 2010, s. 17.

²¹ Łapuńska I., Pisz I.: Zastosowanie metody łańcucha krytycznego w harmonogramowaniu projektów logistycznych, *Logistyka*, 5, 2012, s. 123-127.

²² Leach L.P.: *Lean Project Management: Eight Principles for Success*. Advanced Projects, Boise, Idaho 2005, p. 189.

wpływ na opóźnienie realizacji całego projektu. Z kolei prawo Parkinsona, zakłada, że wykonywanie zadań wydłuża się, wypełniając cały czas planowanej pracy²³.

Następnie identyfikowany jest łańcuch krytyczny, czyli najdłuższa czasowa ścieżka zależnych zadań z uwzględnieniem ograniczeń zasobów^{24,25,26}. Pamiętając, że łańcuch krytyczny po skróceniu czasów trwania zadań do $t_{0,5}$ (czasów agresywnych) ma małe prawdopodobieństwo realizacji na czas, należy wprowadzić bufor zabezpieczające harmonogram projektu przed zakłóceniami.

Zdaniem L. P. Leacha bufor to „zapas procesu, przedział czasu lub przydzielony budżet stosowany do ochrony zaplanowanej przepustowości, terminu dostawy lub oszacowania kosztów w procesie produkcyjnym lub projekcie”²⁷. Wyróżniamy dwa rodzaje buforów czasu w koncepcji łańcucha krytycznego: bufor projektu (ang. *PB – Project Buffer*) oraz bufor zasilający (ang. *FB – Feeding Buffer*)^{28,29}. Bufor projektu jest umieszczany na końcu łańcucha krytycznego, w celu zabezpieczenia harmonogramu całego projektu; wprowadzenie bufora projektu do ścieżki, spowoduje usunięcie syndromu studenta oraz zapewni realizację projektu na czas. Z kolei bufor zasilający łączy ścieżkę niekrytyczną z łańcuchem krytycznym, jego zadaniem jest ochrona łańcucha krytycznego przed opóźnieniem na ścieżce niekrytycznej, które może spowodować nieterminową realizację projektu. Na rysunku 1 przedstawiono przykład lokalizacji buforów czasu w projekcie. Bufor projektu został umieszczony po łańcuchu krytycznym: A-B-D-E-G, a bufor zasilający po ścieżce niekrytycznej C-F.

Oprócz wyżej wymienionych buforów czasu w literaturze można odnaleźć inne rodzaje buforów. Jeden z nich to bufor kosztowy, jest to tzw. rezerwa projektowa lub menedżerska dodawana do sumy średnich oszacowań kosztów zadań w projekcie dla stworzenia bazowego budżetu projektu³⁰. Jest on kosztowym odpowiednikiem bufora projektu. W projekcie powinien znajdować się jeden bufor kosztowy.

Innym rodzajem bufora jest bufor zasobu, który związany jest z zadaniami w łańcuchu krytycznym. Ma on na celu zmniejszenie opóźnienia zadań leżących w łańcuchu krytycznym. Jego właściwe zastosowanie pozwala na uzyskiwanie informacji dotyczących zaangażowania

²³ Leach L.P., Lawrence P.: *Critical chain Project Management*, Second Edition, Artech House, Boston 2004, p. 78-99.

²⁴ Goldratt E.M.: *Łańcuch krytyczny: projekt na czas*. Wyd. Mint Books, Warszawa, 2009, s. 183.

²⁵ Shanlin Yang, Lei Fu: *Critical chain and evidence reasoning applied to multi-project resource schedule in automobile R&D process*, *International Journal of Project Management*, 32/2014, p. 166-177.

²⁶ Leach L.P.: *Lean Project Management: Eight Principles for Success*. Advanced Projects, Boise, Idaho 2005, p. 205.

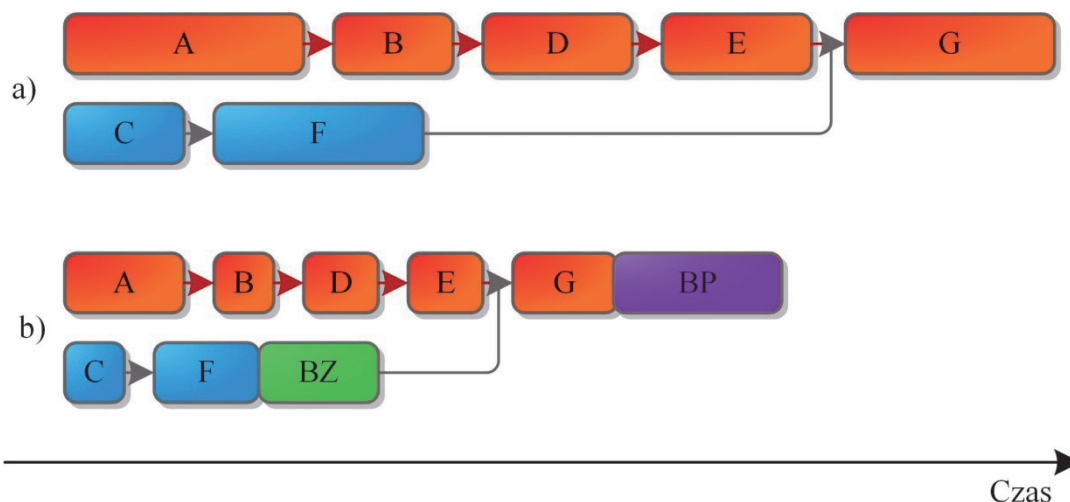
²⁷ tamże, p. 147.

²⁸ Goldratt E.M.: *Łańcuch krytyczny: projekt na czas*. Wyd. Mint Books, Warszawa, 2009, s. 132-135.

²⁹ Połośki M., Pruszyński K.: *Lokalizacja buforów czasu w metodzie łańcucha krytycznego w harmonogramach robót budowlanych*. Cz. 1. Podstawy teoretyczne. *Przegląd Budowlany*, nr 2/2008, s. 46.

³⁰ Leach L.P.: *Lean Project Management: Eight Principles for Success*. Advanced Projects, Boise, Idaho 2005, p. 158.

zasobu w łańcuchu krytycznym i tym samym umożliwia eliminację zakłóceń związanych z brakiem danego zasobu³¹.



Rys. 1. Harmonogram ścieżki: a) przed wprowadzeniem bufora projektu, b) po wprowadzeniu bufora projektu oraz bufora zasilającego

Źródło: Opracowanie własne.

Z kolei bufor zdolności jest wprowadzany, aby zapewniać dostęp do najbardziej potrzebnego zasobu dla wszystkich projektów. Jego wprowadzenie umożliwia utrzymywanie zdolności realizacji zadań w przydzielonym czasie³².

Bufor najmniej istotny i najrzadziej stosowany to bufor werbla. Jest to bufor umieszczany w projekcie dla przyspieszenia projektu w sytuacji, gdy zasób strategiczny będzie szybciej dostępny. Stosuje się go tylko w środowisku wieloprojektowym³³.

Wyżej wymienione bufory pozwalają na skrócenie czasu trwania projektu oraz na kontrolę kosztów i zasobów. Ich stosowanie zapewnia szybszą i efektywniejszą pracę w projekcie.

Kolejnym krokiem w czasie planowania projektu zgodnie z CCPM jest wyznaczenie wielkości buforów. W literaturze przedmiotu można odnaleźć wiele metod określania wielkości bufora. Jedne są bardzo proste bez skomplikowanych aparatów matematycznych, a inne wymagają zastosowania zaawansowanych metod statystycznych. Pierwsza z metod została zaproponowana przez samego twórcę metody łańcucha krytycznego E.M. Goldratta oraz przez T. Błaszczuka, L.P. Leacha oraz M. Połońskiego i K. Pruszyńskiego, którzy

³¹ Woepfel M.J.: Jak wdrożyć teorię ograniczeń w firmie produkcyjnej, Poradnik praktyka, MINT Books, Warszawa 2009, s. 146.

³² Leach L.P.: Lean Project Management: Eight Principles for Success. Advanced Projects, Boise, Idaho 2005, p. 155.

³³ Leach L.P.: Critical Chain Project Management Improves Project Performance, Advanced Project Institute, Delmar Circle 2000, p. 59.

zakładali że bufor powinien wynosić połowę sumy czasów zadań leżących na ścieżce^{34,35,36}. Stosując tę metodę do określania wielkości buforów możemy osiągnąć skrócenie czasu trwania całego projektu o około 25%. Innym sposobem określania wielkości bufora jest metoda PERT (*Program Evaluation and Review Technique*). Metoda PERT opracowana została w latach 50. XX wieku. Uwzględnia ona odchylenia zadań, stosując optymistyczny, najbardziej prawdopodobny i pesymistyczny czas trwania czynności. Metoda zakłada, że różnica pomiędzy oszacowanym optymistycznym i pesymistycznym czasem trwania jest wielokrotnością odchylenia standardowego. Metoda wykorzystuje pierwiastek kwadratowy z sumy kwadratów różnic dla oszacowanego odchylenia czasu do obliczenia wielkości buforów³⁷.

Wprowadzone bufory do harmonogramu projektu umożliwiają śledzenie stanu bieżącego bufora, określając w jakim stopniu zużyty jest bufor. Wyróżnia się trzy strefy zużycia bufora:

- zieloną (monitorowanie),
- żółtą (planowanie),
- czerwoną (działanie)³⁸.

Strefa zielona oznacza, że zużycie bufora jest niewielkie i można bezpiecznie monitorować realizację ścieżki. Gdy zużycie bufora przekroczy 1/3 ogólnej wartości, wtedy należy zacząć opracowywać plan naprawczy bufora, ponieważ jego zużycie jest już w strefie żółtej. Po przekroczeniu strefy czerwonej (zużycie powyżej 2/3 ogólnej wartości bufora) należy zacząć wprowadzać plan naprawczy.

Właściwe zarządzanie buforami pozwala szybko reagować na opóźnienia w projekcie, bowiem zanim zużycie bufora wejdzie w strefę czerwoną kierownik projektu powinien mieć opracowany plan naprawczy. Co za tym idzie, przedsiębiorstwo stosujące metodę łańcucha krytycznego może uniknąć płacenia kar umownych.

³⁴ Błaszczuk T.: Problem czasowo-kosztowy projektu z buforem nakładu pracy, [w:] *Badania operacyjne. Metody i zastosowanie*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice, 2011, s. 147-164.

³⁵ Leach L.P.: *Lean Project Management: Eight Principles for Success*. Advanced Projects, Boise, Idaho 2005, p. 148.

³⁶ Połośński M, Pruszyński K.: Wyznaczanie wielkości buforów czasu i terminu zakończenia przedsięwzięcia w harmonogramach budowlanych, *Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Seria Studia i materiały*, 20/2008, s. 289-297.

³⁷ McGevena V.: *Critical chain as an extension to CPM*, (www.angoliti.com/techresources.html, dostęp on-line maj 2014).

³⁸ Pruszyński K.: *Koncepcja monitorowania zużycia buforów w harmonogramie budowlanym*, *Civil and Environmental Engineering*, 2/2011, s. 383.

3. Przykłady zastosowań łańcucha krytycznego w praktyce

Metoda łańcucha krytycznego znalazła zastosowanie w wielu firmach na świecie. Przewodzącym krajem jest Japonia, gdzie większość projektów publicznych jest realizowanych zgodnie z tą metodą. Jedną z firm, która wprowadziła łańcuch krytyczny to Boeing Co. Ltd. Zastosowała ją do projektów transformacji zarządzania, rozwoju oprogramowania, badań i rozwoju sprzedaży. Zaledwie kilka miesięcy planowania i realizacji projektów zgodnie z założeniami CCPM pozwoliło na uzyskanie lepszych wyników finansowych. Czas trwania realizacji projektów skrócił się o 75%, bez potrzeby zaangażowania dodatkowych zasobów³⁹.

Metoda ma również zastosowanie w projektach informatycznych. Jedną z firm, która wprowadziła metodę łańcucha krytycznego do projektu informatycznego jest BETTER ONLINE SYSTEMS. Firma zastosowała metodę do projektu „Connectivity solutions for IBM”. Dzięki temu projekt został zrealizowany miesiąc szybciej w porównaniu do tradycyjnej metody zarządzania projektem⁴⁰.

Z kolei firma HARRIS SEMICONDUCTOR zastosowała metodę do uruchomienia od podstaw produkcji HI-TECH (pierwszy 8-calowy discrete power wafer). Firma prowadziła projekt budowlany metodą CCPM, jak również projekt uruchomienia całej produkcji. Od rozpoczęcia prac ziemnych do uruchomienia produkcji i wyprodukowania pierwszego produktu minęło zaledwie 13 miesięcy, było to około 3 razy szybciej niż pierwotnie planowano⁴¹.

W Polsce metoda łańcucha krytycznego jest stosowana z zachowaniem sporej dozy ostrożności. Jak wynika z badań Coffey International Development, zaledwie 1% przedsiębiorstw realizujących projekty wykorzystuje metodę łańcucha krytycznego⁴².

Jedną z firm, która zastosowała koncepcję łańcucha krytycznego w Polsce jest Laboratorium Kosmetyczne Dr Ireny Eris. Głównym powodem wdrożenia metody CCPM w firmie była chęć przyspieszenia uruchomienia nowych linii produkcyjnych. Laboratorium Kosmetyczne Dr Irena Eris uruchamia nowe linie produkcyjne poprzez programy, co związane jest z środowiskiem wieloprojektowym, w którym metoda łańcucha krytycznego przynosi najwięcej korzyści. Firma uzyskała liczne korzyści z wdrożenia koncepcji łańcucha krytycznego, do których zaliczyć można: aktualne informacje o postępie prac, poprawę komunikacji pomiędzy Komitetem Sterującym, kierownictwem i członkami zespołu projektowego oraz określenie priorytetów wszystkich zadań w programie⁴³.

³⁹ Chiu-Chi Wei, Ping-Hung Liu, Ying-Chin Tsai: Resource – Constraint project management using enhanced theory of constraint, *International Journal of Project Management*, 20/2002, p. 561-567.

⁴⁰ Stępień P.: Środowisko wieloprojektowe cz. 1-4, (www.skutecznyprojekt.pl, dostęp on-line luty 2012).

⁴¹ tamże...

⁴² Grysik A., Knapieńska A., Tomczyńska A.: Zarządzanie projektami badawczo-rozwojowymi w sektorze przemysłu, Ośrodek przetwarzania informacji, Warszawa 2012, s. 71.

⁴³ Zajęczkowski G.: Laboratorium Dr Irena Eris, Case study: wdrożenie łańcucha krytycznego, *Zarządzanie Projektami, Magazyn*, 2/2013, s. 44-37.

W literaturze można również odnaleźć artykuły świadczące o próbie zastosowania tej metody do projektów informatycznych, logistycznych oraz budowlanych^{44,45,46,47,48,49}.

4. Zastosowanie łańcucha krytycznego w środowisku wieloprojektowym

Koncepcja łańcucha krytycznego najlepiej sprawdza się w zarządzaniu projektami w środowisku wieloprojektowym, gdyż uwzględnia ona ograniczenie dostępu krytycznego zasobu projektu⁵⁰. Najczęściej zdarza się, że zasób wykorzystywany w jednym projekcie jest także potrzebny w drugim, jest to tzw. zjawisko wielozadaniowości zasobu. E. M. Goldratt zakłada, że należy tak zaplanować realizację wszystkich projektów, aby zasób krytyczny, który jest najbardziej obciążony został przydzielony najpierw w 100% do projektu krytycznego, a po jego zakończeniu do następnego. W ten sposób zadania są realizowane „sztafetowo”, jedno po drugim, jak tylko zasób krytyczny będzie dostępny^{51,52}.

Stosując koncepcję łańcucha krytycznego do środowiska wieloprojektowego Kierownik projektu (portfela projektów) musi:

1. Nadać projektom priorytety.
2. Opracować harmonogram CCPM poszczególnych projektów.
3. Zidentyfikować zasób krytyczny (werbel).
4. Opracować zestawienie zadań zasobu krytycznego.
5. Utworzyć harmonogram portfela projektu.
6. Wprowadzić bufory werbla⁵³.

Kierownik projektu (portfela) wraz z najwyższym kierownictwem przedsiębiorstwa ustala priorytety projektów. Najczęściej priorytety projektów zależą od celów strategicznych

⁴⁴ Bednarz L.: Planowanie zadań i zasobów w projektach logistycznych metodą łańcucha krytycznego, Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, TOM I, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2009, s. 80-87.

⁴⁵ Łapuńska I., Biniasz D.: Planowanie projektów w oparciu o analizę założeń krytycznych. [w:] Knosala R. (red.), Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, Tom I, Oficyna, Opole, 2014, s. 855-866.

⁴⁶ Połośki M., Pruszyński K.: Lokalizacja buforów czasu w metodzie łańcucha krytycznego w harmonogramach robót budowlanych. Cz. 2. Praktyczne zastosowanie. Przegląd Budowlany, nr 3/2008, s. 55-62.

⁴⁷ Pruszyński K.: Koncepcja monitorowania zużycia buforów w harmonogramie budowlanym, Civil and Environmental Engineering, 2/2011, s. 383-388.

⁴⁸ Rogolska M., Hejducki Z.: Zastosowanie buforów czasu w harmonogramowaniu procesów budowlanych, Przegląd Budowlany, Zarządzanie i Organizacja, 6/2005, s. 36-42.

⁴⁹ Urbaniak M.: Harmonogramowanie projektów informatycznych zużyciem metody łańcucha krytycznego na podstawie rozmytej charakterystyki kompetencji, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, 221/2012, s. 150-170.

⁵⁰ Multi-Project Critical Chain, Three Vital Points, (www.realization.com, dostęp on-line marzec 2014).

⁵¹ Goldratt E.M.: Łańcuch krytyczny: projekt na czas. Wyd. Mint Books, Warszawa, 2009, s. 193-200.

⁵² Leach L.P.: Lean Project Management: Eight Principles for Success. Advanced Projects, Boise, Idaho 2005, p. 155.

⁵³ Abramowski K., Peterson L., Stawicki J.: Zarządzanie projektami w środowisku wieloprojektowym, magazyn CXO, nr 12, 2003, (dostęp on-line, www.jsproject.pl, październik 2015).

przedsiębiorstwa. Jeżeli przedsiębiorstwo nastawione jest na zysk, to najwyższy priorytet będzie miał projekt, którego realizacja przyniesie maksymalne zyski. Do określenia priorytetów można wykorzystać metodę dyskontowej oceny projektów – wartość zaktualizowaną netto (NPV, ang. *Net Present Value*).

4.1. Charakterystyka przedsiębiorstwa

Opisywane przedsiębiorstwo działa na terenie województwa opolskiego i od roku 1997 realizuje projekty w zakresie automatyki przemysłowej. Firma świadczy usługi w zakresie projektowania i wdrażania systemów automatyki i przemysłowych instalacji elektrycznych dla: instalacji technologicznych, hal produkcyjnych i obiektów biurowych, maszyn i urządzeń wytwórczych i przetwórczych, obiektów gospodarki energetycznej i oczyszczalni ścieków oraz instalacji ochrony środowiska.

Przedsiębiorstwo realizuje systemy automatyki wykorzystując nowoczesne sterowniki firmy SIEMENS, GE Fanuc lub innych firm wskazanych przez klienta. Ponadto, firma wykonuje kompleksowo aparaturę i urządzenia w oparciu o produkty renomowanych producentów i dostawców. Dopelnieniem systemów automatyki są, wykonywane w warsztatach firmowych, szafy sterowania napędów i dystrybucji energii elektrycznej oraz zestawy pneumatyki obiektowej. Instalacje elektryczne są projektowane i realizowane przez firmę przy wykorzystaniu nowoczesnych technologii oraz urządzeń najbardziej znanych na rynku wytwórców.

Trzon firmy stanowi kilkunastoosobowy zespół pracowników inżynieryjno-technicznych z wieloletnim doświadczeniem w zakresie automatyzacji procesów technologicznych i systemów sterowania oraz branżysci z uprawnieniami w zakresie projektowania i wykonawstwa instalacji elektrycznych.

Realizowane przez przedsiębiorstwo zlecenia mają charakter projektu, gdyż muszą zakończyć się w określonym czasie, w określonych kosztach oraz dostarczyć klientowi produkt spełniający jego wymagania. Ponadto, zlecenia te są niepowtarzalne i wymagają indywidualnego podejścia do ich planowania i realizacji.

Przedsiębiorstwo najczęściej realizuje kilka zleceń jednocześnie, co powoduje, że osoby odpowiedzialne za planowanie realizacji zleceń, borykają się z problemami szacowania czasów trwania, wykorzystaniem tego samego zasobu w kilku zleceniach równocześnie. W związku z tym do zaplanowania realizacji trzech zleceń w pierwszej połowie 2017 roku wybrano metodę łańcucha krytycznego.

Pierwsze zlecenie (projekt) dotyczyło wykonania instalacji elektrycznej w stacji uzdatniania wody. Obejmowało ono realizację dziesięciu głównych zadań: (1) instalacji wewnętrznego zasilania, sterowniczej i pomiarowej w budynku, (2) montażu rozdzielnic zasilająco-sterującej układu technologicznego, (3) montażu rozdzielni zasilająco-sterującej

RTOO, (4) instalacji wewnętrznego zasilania, sterowniczej i pomiarowej w terenie, (5) instalacji wewnętrznego zasilania, sterowniczej i pomiarowej w budynku filtrów, (6) instalacji oświetlenia w pomieszczeniu ozonowania, (7) montażu rozdzielnic zasilająco-sterującej w stacji ozonowej, (8) instalacji elektrycznej wewnętrznego zasilania i sterownika, (9) montażu linii zasilających wszystkie rozdzielnie, (10) instalacji wyrównawczych.

Z kolei drugie zlecenie obejmowało wykonanie instalacji elektrycznej w budynku przemysłowym. Projekt składał się z następujących zadań do realizacji: (1) instalacji siły, (2) instalacji sterowników, (3) instalacji oświetlenia oraz (4) instalacji AKP i A.

Trzecie zlecenie przewidziane do realizacji w pierwszym półroczu 2017 roku to projekt wykonania oświetlenia budynków i obszarów produkcyjnych. Zlecenie obejmuje wykonanie: (1) kanalizacji kablowej ziemnej, (2) dostawy i montażu wieży oświetleniowej, (3) dostawy i montażu rozdzielnic elektrycznych obiektów przemysłowych oraz (4) montażu całej instalacji elektrycznej.

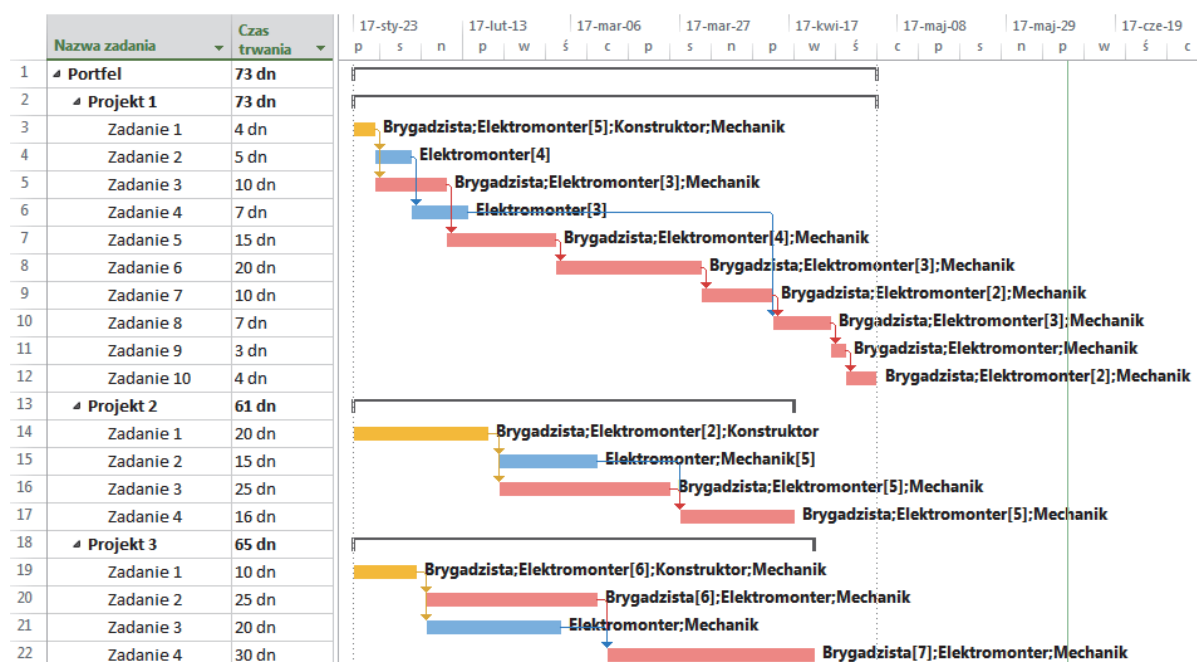
4.2. Implementacja metody łańcucha krytycznego w praktyce

Metoda łańcucha krytycznego została wykorzystana do zaplanowania portfela trzech projektów produkcyjno-usługowych w jednym z opolskich przedsiębiorstw, które realizuje zlecenia w zakresie kompleksowego projektowania i wdrażania automatyki przemysłowej oraz wykonywania skomplikowanych instalacji elektrycznych dla różnego rodzaju budynków przemysłowych.

Na początku opracowano harmonogram bezpieczny (z 0,9 prawdopodobieństwa realizacji projektu na czas) tych projektów. Na rysunku 2 przedstawiono harmonogram portfela opisywanych projektów. W celu lepszej czytelności rysunku nie zastosowano nazw zadań i projektów tylko symboliczne nazwy typu: zadanie 1, zadanie 2, itd. Do stworzenia harmonogramu portfela projektów wykorzystano program MS Project. Na harmonogramie zaznaczono ścieżki krytyczne projektów (kolor czerwony) oraz zidentyfikowano zadania realizowane przez zasób krytyczny (kolor żółty).

Pierwszy projekt trwa 73 dni, drugi 61 dni, a trzeci 65 dni. Do realizacji portfela projektów wyznaczono 20 elektromonterów, 3 brygadzystów, 3 mechaników oraz 1 konstruktora, który zajmuje się konstruowaniem projektów instalacji i najczęściej potrzebny jest na wstępnym etapie realizacji zlecenia.

Zarząd spółki określił następującą kolejność projektów: Projekt 1, Projekt 3 i Projekt 2. Kolejność wykonywania projektów związana jest ściśle z priorytetami w przedsiębiorstwie. W przedsiębiorstwie przyjęto za podstawę do określania kolejności projektów wartość zysku jaki przedsiębiorstwo może uzyskać. Projekt z największą wartością NPV ma pierwszeństwo realizacji.

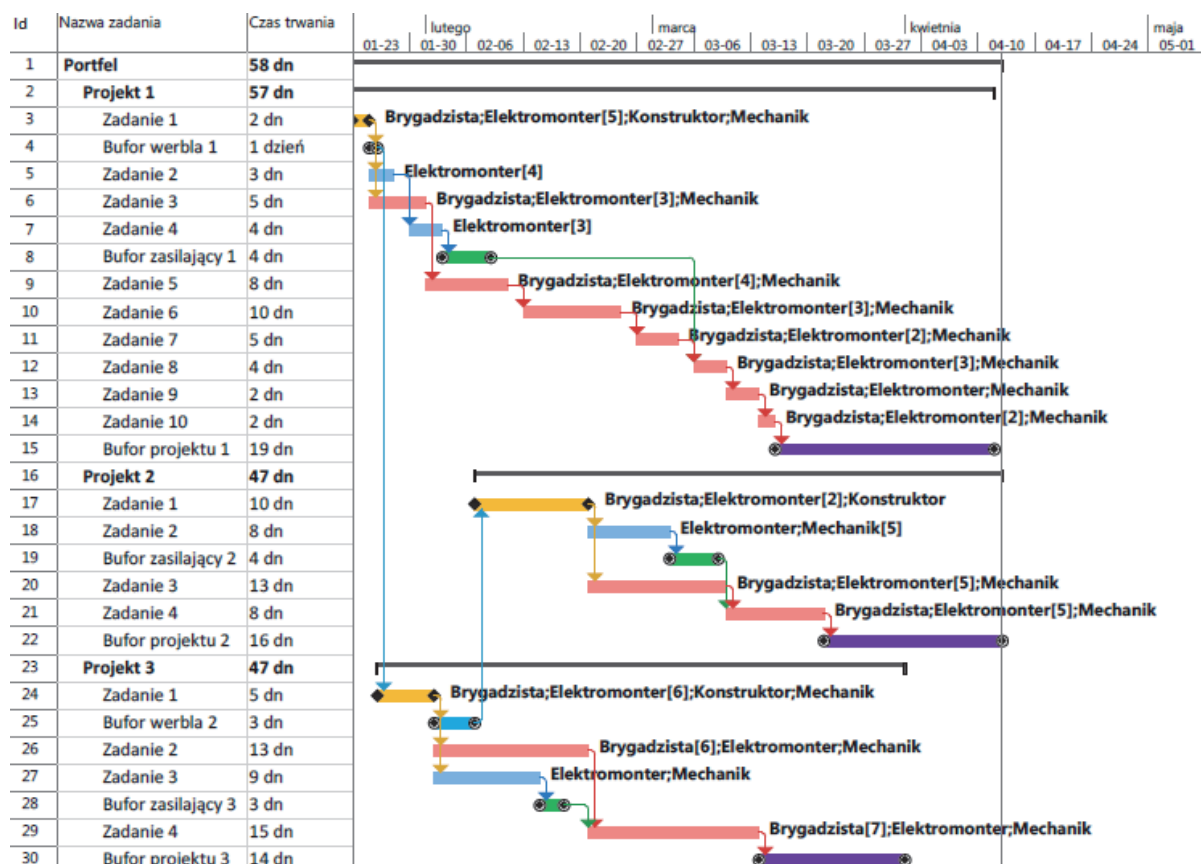


Rys. 2. Harmonogramy projektów w ujęciu portfela projektów
 Źródło: Opracowanie własne.

Następnym krokiem w planowaniu realizacji portfela projektów było opracowanie harmonogramów poszczególnych projektów zgodnie z założeniami koncepcji łańcucha krytycznego. Na rysunku 3 przedstawiono harmonogramy poszczególnych projektów z uwzględnieniem kolejności realizacji projektów. Projekty zostały ułożone zgodnie z zasobem krytycznym, którym w tym przypadku jest „Konstruktor”, czyli tak zwany werbel. Werbel jest wykorzystywany w każdym projekcie i jest obciążony przez 17 dni realizacji portfela projektów.

W opracowanym harmonogramie zlokalizowano trzy bufory projektu oraz trzy bufory zasilające. Jednak wprowadzone bufory czasu nie zabezpieczają realizacji całego portfela, tylko poszczególnych projektów oraz nie monitorują opóźnienia krytycznego zasobu, którym jest „Konstruktor”. W związku z tym wprowadzono do harmonogramu portfela projektów bufory werbla. Bufor werbla jest umieszczany w harmonogramie portfela projektu w celu zabezpieczenia go przed opóźnieniami realizacji zadań przez zasób krytyczny oraz jeżeli zadanie wykonywane przez werbel zostanie zakończone szybciej, zasób od razu przechodzi do realizacji kolejnego projektu. Jak już podkreślano stosuje się go tylko w środowisku wieloprojektowym⁵⁴. W tabeli 1 przedstawiono zestawienie wielkości wszystkich zlokalizowanych buforów w harmonogramie portfela projektu.

⁵⁴ Leach L.P.: Critical Chain Project Management Improves Project Performance, Advanced Project Institute, Delmar Circle 2000, p. 59.



Rys. 3. Harmonogram portfela projektów z buforami werbalnymi

Źródło: Opracowanie własne.

Do określenia wielkości buforów czasu (projektu i zasilającego) wykorzystano metodę proponowaną przez E. M. Goldratta, który twierdzi, że bufor powinien wynosić połowę sumy czasów zadań leżących na ścieżce (czasów agresywnych). Z kolei wielkość buforów werbla, które wprowadzono między Projektem 1, a Projektem 3 oraz między Projektem 3 i Projektem 2, określona została jako połowa czasów agresywnych ostatniego zadania z poprzedniego projektu. Wprowadzone bufory werbla monitoruje się w ten sam sposób, jak bufory czasu.

Tabela 1

Zestawienie wielkości wszystkich buforów zlokalizowanych
w harmonogramie portfela projektów

Dotyczy projektu/ów	Ścieżka zadań	Długość ścieżki	Wielkość bufora	Rodzaj bufora
Projekt 1	1-3-5-6-7-8-9-10	38 dni	19 dni	Bufor projektu 1
Projekt 2	1-3-4	31 dni	16 dni	Bufor projektu 2
Projekt 3	1-2-4	33 dni	17 dni	Bufor projektu 3
Projekt 1	2-4	7 dni	4 dni	Bufor zasilający 1
Projekt 2	2	8 dni	4 dni	Bufor zasilający 2
Projekt 3	3	9 dni	3 dni	Bufor zasilający 3
Projekt 1 i 3	1	2 dni	1 dzień	Bufor werbla 1
Projekt 3 i 2	1	5 dni	3 dni	Bufor werbla 2

Źródło: Opracowanie własne.

Dzięki zastosowaniu koncepcji łańcucha krytycznego na etapie opracowania harmonogramu portfela projektów skrócono planowany czas realizacji z 73 do 58 dni, czyli harmonogram portfela projektów stworzony zgodnie z założeniami koncepcji CCPM jest o ponad 20% krótszy niż planowany tradycyjnie. Metoda łańcucha krytycznego umożliwiła również wyeliminowanie wielozadaniowości zasobów, przydzielając zasoby w 100% do realizacji jednego zadania, a następnie po jego zakończeniu przydzielenie do innego projektu.

Oprócz skrócenia czasu realizacji portfela projektów przedsiębiorstwo poniosło o 13% mniejsze koszty niż planowano. Ponadto, dzięki wdrożonej metodzie opracowano nowe procedury postępowania dla planowania i realizacji projektu produkcyjno-usługowych w środowisku wieloprojektowym.

Nie obeszło się jednak bez problemów. Największą barierą we wdrożeniu opracowanej procedury i zastosowaniu metody łańcucha krytycznego są ludzie, którzy od wielu lat byli przyzwyczajeni do innego stylu pracy niż zakłada CCPM. Jednak po kilku spotkaniach i szkoleniach większość osób pracujących w przedsiębiorstwie przy planowaniu i realizowaniu zleceń (projektów) produkcyjno-usługowych przyznało, że metoda jest skuteczna i w przyszłości będzie realizować projekty zgodnie z wdrożoną procedurą.

5. Podsumowanie

Implementacja metody łańcuch krytycznego do planowania i realizacji projektów produkcyjno-usługowych może przynieść znaczące korzyści finansowe i organizacyjne. Jak wskazują wyniki badań przeprowadzonych w jednym z opolskich przedsiębiorstw, które realizuje zlecenia produkcyjno-usługowe w zakresie kompleksowego projektowania i wdrażania automatyki przemysłowej oraz wykonywania skomplikowanych instalacji elektrycznych różnego rodzaju dla budynków przemysłowych, korzyści te są następujące:

- skrócenie czasów trwania zadań ujętych w projekcie do agresywnych – harmonogram portfela projektów był o ponad 20% krótszy niż planowany metodą tradycyjną,
- szybsza realizacja projektu,
- skuteczniejsza i efektywniejsza realizacja projektu – monitorowanie postępu realizacji zadań na bieżąco,
- skuteczniejsze monitorowanie projektu poprzez wykorzystanie buforów czasu i werbla,
- skrócenie czasu dostarczenia projektu klientowi,
- sprawniejsze planowanie projektu w środowisku wieloprojektowym,
- lepsza komunikacja w zespole – większość osób zmieniło swoje podejście do planowania i realizacji zleceń (projektów),
- likwidacja zjawiska wielozadaniowości zasobów – dzięki stosowaniu w 100% zaangażowania zasobu do jednego zadania,

– identyfikowanie zasobów krytycznych, które są wykorzystywane w portfolio projektów według kolejności ich wykonania – priorytetów.

Oprócz wymienionych korzyści wdrożenie metody łańcucha krytycznego wymagało dużego zaangażowania kadry zarządczej przedsiębiorstwa, która zna i rozumie filozofię pracy w systemie „sztafetowym”, czyli najpierw realizujemy projekty o najwyższym priorytecie, angażując tam zasoby krytyczne, a później przenosimy je do następnego projektu. Dzięki zaangażowaniu Zarządu spółki w jednej z opolskich firm udało się wdrożyć z powodzeniem metodę łańcucha krytycznego, chociaż nie obyło się bez problemów. W tym przypadku najtrudniejsze było wypracowanie właściwej procedury planowania i realizacji zleceń, którą zaakceptują pracownicy przedsiębiorstwa. Wiedząc, że najczęściej występującą barierą reorganizacji stylu pracy są ludzie, od początku prowadzenia prac nad wdrożeniem metody łańcucha krytycznego zaangażowani byli wszyscy pracownicy firmy, którzy zajmują się planowaniem i realizacją zleceń w spółce.

Bibliografia

1. A guide to the project management body of knowledge. 5th edition. PMI, Newtown Square, PA, USA 2013.
2. Abramowski K., Peterson L., Stawicki J.: Zarządzanie projektami w środowisku wieloprojektowym, magazyn CXO, nr 12, 2003, (dostęp on-line, www.jsproject.pl, październik 2015).
3. Bednarz L.: Planowanie zadań i zasobów w projektach logistycznych metodą łańcucha krytycznego, Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, TOM I, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2009, s. 80-87.
4. Bevilacqua M., Ciarapica F.E., Giacchetta G.: Critical chain and risk analysis applied to high – risk industry maintenance. A case study, *International Journal of Project Management*, 27/2009, p. 419-432.
5. Błaszczak T.: Problem czasowo-kosztowy projektu z buforem nakładu pracy, [w:] *Badania operacyjne. Metody i zastosowanie*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice, 2011, s. 147-164.
6. Bradley K.: *Podstawy metodyki PRINCE2*, Centrum Rozwiązań Menedżerskich, Warszawa, 2006.
7. Chiu-Chi Wei, Ping-Hung Liu, Ying-Chin Tsai: Resource – Constraint project management using enhanced theory of constraint, *International Journal of Project Management*, 20/2002, p. 561-567
8. Dobson M.S., Dobson D.S.: *Managing Multiple Projects*, AMACOM American Management Association, New York, 2002.

9. DRM Associates: Critical Chain Project Management, (www.npd-solutions.com, dostęp on-line marzec 2014).
10. Goldratt E.M.: Łańcuch krytyczny: projekt na czas. Wyd. Mint Books, Warszawa, 2009.
11. Graham K. Rand: Critical chain, the theory of constrains applied to Project management, *International Journal of Project Management*, 18/2000, p. 173-177.
12. Grysik A., Knapieńska A., Tomczyńska A.: Zarządzanie projektami badawczo-rozwojowymi w sektorze przemysłu, Ośrodek przetwarzania informacji, Warszawa 2012.
13. Hass K.B.: Introducing the new project complexity model part I, (www.projecttimes.com, dostęp on-line luty 2016).
14. Hass K.B.: Managing complex projects that are too large, too long and too costly, (www.projecttimes.com, dostęp on-line luty 2016).
15. Herroelen W., Leus R., Demeulemeester E.: Critical chain project scheduling: Do not oversimplify, *Project Management Journal*, 33 (4), 2002, p. 48-60.
16. Leach L.P.: Critical Chain Project Management Improves Project Performance, Advanced Project Institute, Delmar Circle 2000.
17. Leach L.P.: Lean Project Management: Eight Principles for Success. Advanced Projects, Boise, Idaho 2005.
18. Lova A., Maroto C. Tormos P.: A multicriteria heuristic method to improve resource allocation in multiproject scheduling. *European Journal of Operational Research*, 127, 2000, p. 408-424.
19. Łapuńska I., Biniasz D.: Planowanie projektów w oparciu o analizę założeń krytycznych. [w:] Knosala R. (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Tom I, Oficyna, Opole, 2014, s. 855-866.
20. Łapuńska I., Pisz I.: Zastosowanie metody łańcucha krytycznego w harmonogramowaniu projektów logistycznych, *Logistyka*, 5, 2012, s. 123-127.
21. McGevna V.: Critical chain as an extension to CPM, (www.angolti.com/techresources.html, dostęp on-line maj 2014).
22. Multi-Project Critical Chain, Three Vital Points, (www.realization.com, dostęp on-line marzec 2014).
23. Office Government Commerce (OGC): PRINCE2TM – Skuteczne zarządzanie projektami, TSO, Londyn 2010.
24. Połośki M, Pruszyński K.: Lokalizacja buforów czasu w metodzie łańcucha krytycznego w harmonogramach robót budowlanych. Cz. 1. Podstawy teoretyczne. *Przegląd Budowlany*, nr 2/2008, s. 44-49.
25. Połośki M, Pruszyński K.: Lokalizacja buforów czasu w metodzie łańcucha krytycznego w harmonogramach robót budowlanych. Cz. 2. Praktyczne zastosowanie. *Przegląd Budowlany*, nr 3/2008, s. 55-62.

26. Połośński M., Pruszyński K.: Wyznaczanie wielkości buforów czasu i terminu zakończenia przedsięwzięcia w harmonogramach budowlanych, *Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Seria Studia i materiały*, 20/2008, s. 289-297.
27. Pruszyński K.: Koncepcja monitorowania zużycia buforów w harmonogramie budowlanym, *Civil and Environmental Engineering*, 2/2011, s. 383-388.
28. Rogolska M., Hejducki Z.: Zastosowanie buforów czasu w harmonogramowaniu procesów budowlanych, *Przegląd Budowlany, Zarządzanie i Organizacja*, 6/2005, s. 36-42.
29. Shanlin Yang, Lei Fu: Critical chain and evidence reasoning applied to multi-project resource schedule in automobile R&D process, *International Journal of Project Management*, 32/2014, p. 166-177.
30. Sońta-Drączkowska E.: Zarządzanie wieloma projektami, *Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne*, Warszawa 2012.
31. Spalek S.: The Role of Project Management Office in the Multi-Project Environment, *International Journal of Management and Enterprise Development*, Vol. 12, No. 2, 2012. p. 172-188.
32. Stawicki J.: Project i project management governance w różnych typach projektów. JS Project, (<http://www.jsproject.pl/blog-project-managera/portfel-i-pmo/243-project-governance>, dostęp on-line kwiecień 2014).
33. Steyn H.: Project applications of the theory of constraints Beyond critical chain scheduling, *International Journal of Project Management*, 20/2002, p. 75-80.
34. Stępień P.: Środowisko wieloprojektowe cz. 1-4, (www.skutecznyprojekt.pl, dostęp on-line luty 2012).
35. The Standish Group: *The Chaos Report: The Winning Hand*, 2016.
36. The Standish Group: *The Chaos Manifesto, Think Big, Act Small*. 2013.
37. Trocki M.: *Nowoczesne zarządzanie projektami*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013.
38. Urbaniak M.: Harmonogramowanie projektów informatycznych zużyciem metody łańcucha krytycznego na podstawie rozmytej charakterystyki kompetencji, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu*, 221/2012, s. 150-170.
39. Woeppel M.J.: *Jak wdrożyć teorię ograniczeń w firmie produkcyjnej*, Poradnik praktyka, MINT Books, Warszawa 2009.
40. Zajączkowski G.: Laboratorium Dr Irena Eris, Case study: wdrożenie łańcucha krytycznego, *Zarządzanie Projektami, Magazyn*, 2/2013, s. 44-48.