

Jolanta ŁOPATOWSKA  
Politechnika Gdańska  
Wydział Zarządzania i Ekonomii  
Jolanta.Lopatowska@zie.pg.gda.pl

## PLANOWANIE REALIZACJI PROJEKTÓW W ŚRODOWISKU WIELOPROJEKTOWYM Z WYKORZYSTANIEM METODY ŁAŃCUCHA KRYTYCZNEGO

**Streszczenie.** Metoda CCMPM (Critical Chain Multi Project Management) pozwala zarządzać projektami w środowisku wieloprojektowym zgodnie z zasadami teorii ograniczeń TOC. Poprzez zsynchronizowanie projektów względem terminów zadań wykorzystujących zasób ograniczający pozwala na maksymalne jego wyeksploatowanie. Bufor ograniczenia chroni termin wykonania zadania przez zasób ograniczający w kolejnym projekcie. W artykule przedstawiono schemat postępowania w procesie planowania realizacji projektów w środowisku wieloprojektowym zgodnie z metodą CCMPM. Przedstawiony przykład ilustruje realizację tych zasad.

**Słowa kluczowe:** teoria ograniczeń, łańcuch krytyczny, zarządzanie projektami, CCPM, CCMPM

## PLANNING THE IMPLEMENTATION OF PROJECTS IN MULTI PROJECT ENVIRONMENT USING A CRITICAL CHAIN

**Abstract.** Critical Chain Multi Project Management method allows to manage projects in accordance with the Theory of Constraints TOC. CCMPM allows for maximum exploitation of the constraining resource identified from the multi project perspective. It synchronizes projects against time of tasks performed by the constraining resource. The paper presents rules of conduct in the process of project planning in multi-project environment according to the CCMPM method. An example illustrates the implementation of these principles.

**Keywords:** Theory of Constraints, critical chain, project management, CCPM, CCMPM

## 1. Wstęp

Opracowana przez Eliyahu Goldratta teoria ograniczeń TOC (Theory of Constraints), koncentruje się na identyfikowaniu ograniczenia w systemie i właściwym nim zarządzaniu, w celu osiągnięcia maksymalnego przerobu. W to ujęcie wpisuje się metoda łańcucha krytycznego CCPM (Critical Chain Project Management), wspomagająca efektywne zarządzanie projektami. Rozwijana jest ona również pod nazwą metody harmonogramowania łańcucha krytycznego i zarządzania buforami CC/BM (Critical Chain Scheduling and Buffer Management). Łańcuch krytyczny, który stanowi ograniczenie w projekcie został zdefiniowany przez Goldratta jako najdłuższy czasowo łańcuch współzależnych kroków, po wyeliminowaniu problemu wielozadaniowości (multi-tasking)<sup>1</sup>. Jest on również określany jako najdłuższy łańcuch zadań w projekcie, uwzględniając zarówno zależności między zadaniami, jak i ograniczenia zasobów niezbędnych do ich realizacji<sup>2</sup>. Metoda łańcucha krytycznego wymaga rygorystycznego określenia czasu wykonania poszczególnych zadań i podawania go z 50% prawdopodobieństwem wykonania. Globalne bufora chronią terminy wykonania projektu i jego etapów, a nie poszczególnych zadań. Określanie czasu wykonania zadań z 90% prawdopodobieństwem i budowanie buforów lokalnych przy każdym zadaniu skutkuje bowiem ich utratą z powodu tzw. syndromu studenta oraz niewykorzystania czasu zaoszczędzonego dzięki szybszemu wykonaniu zadania<sup>3</sup>.

Metoda łańcucha krytycznego pozwala zbudować satysfakcjonujący plan projektu, efektywnie go realizować i skutecznie kontrolować oraz zarządzać niepewnością<sup>4</sup>. W planowaniu zadań łańcucha krytycznego wykorzystywane jest wsteczne harmonogramowanie odkładające wykorzystanie zasobów „na ostatnią chwilę”, co eliminuje efekt studenta<sup>5</sup>. Zadania w poszczególnych gałęziach realizowane są sztafetowo, w każdej ze ścieżek stosowany jest system wielokrotnego powiadamiania o zbliżającym się terminie rozpoczęcia zadania i dla jego wykonania rezerwowane są odpowiednie zasoby. Kontrola realizacji planu wiąże się z nadzorem stanu buforów czasowych i podejmowaniem działań korygujących, gdy ich poziom znacząco się obniży (wykorzystany zostanie poziom zielony i/lub żółty buforu), co zagrażać może przekroczeniem czasu projektu. Metoda łańcucha krytycznego realizuje zatem w zarządzaniu projektami podejście pull. Zadania w projekcie uruchamiane są możliwie najpóźniej z uwzględnieniem buforów zabezpieczających terminowość, zgodnie z uwarunkowaniami w projekcie i możliwościami przerobowymi systemu. Pracownicy z kolei

<sup>1</sup> Goldratt E.M.: Łańcuch krytyczny. Projekty na czas. MINT Books, Warszawa 2009, s. 175-186.

<sup>2</sup> Cyplik P., Adamczak M., Hadaś Ł.: Critical chain project management and drum-buffer-rope tools integration in construction industry - case study. „Log Forum”, 8 (1), 2012, p. 30.

Leach L.P.: Critical Chain Project Management. Artech House, Boston, London, 2014, pp. 120-121.

<sup>3</sup> Goldratt E.M.: Łańcuch krytyczny. Projekty na czas. MINT Books, Warszawa 2009, s. 129-130.

<sup>4</sup> Leach L.P.: Schedule and Cost Buffer Sizing. „Project Management Journal”, Vol. 6, No. 1, 2003, pp. 32-34.

<sup>5</sup> Robinson H., Richards R.: An introduction to Critical Change Project Management. AACE International Transaction, 2009, PS.S03.1-PS.S03.12.

zachęceni są do jak najszybszego ich zakończenia, a w razie potrzeby otrzymują zasobowe wsparcie<sup>6</sup>.

Metoda łańcucha krytycznego ma również zastosowanie w środowisku wieloprojektowym. Dla potrzeb rozwiązania problemu ograniczonych zasobów i wielozadaniowości identyfikowanej z perspektywy wielu realizowanych projektów można wykorzystać metodę CCMPM (Critical Chain Multi Project Management) zgodną z TOC. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie schematu postępowania w procesie planowania realizacji projektów w środowisku wieloprojektowym zgodnie z metodą CCMPM, przy wykorzystaniu graficznej formy planowania. Przedstawiony przykład ilustruje wykorzystanie opracowanego schematu postępowania.

## 2. Metoda CCMPM

Metoda CCMPM wymaga zidentyfikowania zasobu ograniczającego, którym mogą być m.in. środki finansowe, procedury czy czas pracy wykonawców, w środowisku równolegle realizowanych projektów. Planowanie projektów w środowisku wieloprojektowym odbywa się zgodnie z pięcioma krokami ciągłego doskonalenia, zwanymi też stanami skupienia (Five Focusing Steps), które są szeroko charakteryzowane w literaturze<sup>7</sup>. Postępowanie zgodnie z nimi pozwala na maksymalne wyeksploatowanie zasobu ograniczającego CR (constraint resource) dzięki zastosowaniu globalnych buforów i czasowo-zasobowym skoordynowaniu projektów poprzez zsynchronizowanie terminów zadań wykorzystujących zasób ograniczający. Plany realizacji pozostałych zadań w projektach muszą zostać podporządkowane terminom wykonania zadań przez zasób ograniczający (tabela 1).

Tabela 1

Etapy planowania projektów w środowisku wieloprojektowym zgodnie z krokami TOC

Lp.	kroki TOC	CCMPM
1	Identyfikacja ograniczenia.	Zidentyfikuj zasób ograniczający i jego wykorzystanie do realizacji zadań w poszczególnych projektach.
2	Wykorzystanie ograniczenia.	Skoordynuj i zaplanuj realizację zadań przez zasób ograniczający w poszczególnych projektach.
3	Podporządkowanie wszystkich decyzji maksymalnemu wykorzystaniu ograniczenia.	Zsynchronizuj realizację zadań w poszczególnych projektach z zaplanowanym terminem wykorzystania zasobu ograniczającego w każdym z nich.
4	Wzmocnienie ograniczenia.	Wzmocnij zasób krytyczny.
5	Powrót do kroku 1.	Powrót do kroku 1.

Źródło: Opracowanie własne.

<sup>6</sup> Sońta-Drączkowska E.: Zarządzanie wieloma projektami. PWE, Warszawa, 2012, s. 95-96.

<sup>7</sup> m.in. w pracach Goldratt E.M., Cox J.: Cel. Doskonałość w produkcji. Werbel, Warszawa, 2000, s. 382-390, Goldratt E.M.: Łańcuch krytyczny. Projekty na czas. MINT Books, Warszawa 2009, s. 73-88, Woeppl M.: Jak wdrożyć Teorię Ograniczeń w firmie produkcyjnej. MINT Books, Warszawa, 2009, s. 14-20.

Metoda CCMPM wymaga najpierw budowy planów poszczególnych projektów. Dla każdego projektu niezbędne staje się zidentyfikowanie łańcucha krytycznego oraz lokalizacji i wielkości buforów czasu. W planach realizacji projektów wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje buforów:

- bufor zasilający FD (feeding buffer) zlokalizowany na końcu każdej gałęzi warunkującej wykonanie zadania łańcucha krytycznego; jego celem jest ochrona terminowości wykonania zadań w łańcuchu krytycznym,
- bufor projektu PB (project buffer) zlokalizowany na końcu projektu; zadaniem jego jest ochrona terminu wykonania projektu.

Jeżeli zadania ze ścieżki zasilającej zużyją bufor zasilający, to wykorzystują bufor projektu. W metodzie CCMPM dodatkowo niezbędny jest jeszcze bufor ograniczenia CB (constraint buffer), zwany też buforem szeregowania (scheduling buffer) lub buforem zasobu ograniczającego (capacity constraint buffer). Bufor ten pozwala na maksymalną eksploatację zasobu ograniczającego i chroni przed jednoczesnym zaangażowaniem w realizację zbyt wielu projektów<sup>8</sup>. Jego celem jest ochrona terminu rozpoczęcia kolejnego projektu. Zabezpiecza on przed jego opóźnieniem wynikającym z niepewności czasu wykonania projektu o wyższym priorytecie, który wykorzystuje ograniczający zasób<sup>9</sup>. Zapewnia on dostępność zasobu ograniczającego, wtedy, gdy jest on potrzebny<sup>10</sup>. Bufor ten jest zlokalizowany w każdym projekcie, przed pierwszym zadaniem wykorzystującym ograniczający zasób<sup>11</sup>. Może znaleźć się w łańcuchu krytycznym projektu, ale nie musi.

W literaturze przedmiotu można znaleźć szereg propozycji określania wielkości buforów. Goldratt proponuje, by bufor projektu PB stanowił 50% różnicy pomiędzy czasem łańcucha krytycznego z 80-90% i 50% oszacowaniem czasu wykonania zadań<sup>12</sup>. W przypadku buforu ograniczenia można przyjąć ogólne założenie, by bufor był co najmniej równy długości ostatniego zadania wykonywanego projekcie o wyższym priorytecie<sup>13</sup>. Leach przedstawia propozycję wykorzystania do obliczeń wielkości buforów metody SSQ (Square Root of the Sum of the Square) bazującej na odchyleniu standardowym i czasach wykonania zadań określonych z 50 i 90% prawdopodobieństwem. Dodatkowo zauważa, że bufor projektu nie powinien być krótszy niż 25% czasu łańcucha krytycznego, natomiast bufor zasilający, co najmniej równy długości najkrótszego zadania w łańcuchu zasilającym<sup>14</sup>. Literatura

<sup>8</sup> Cox III J.F., Schleier, J.G.Jr. (red.): Theory of Constraints Handbook. McGraw- Hill, New York, 2010, p. 60.

<sup>9</sup> Araszkiwicz K.: Application of Critical Chain Management in Construction Projects Schedules in Multi Project Environment: a Case Study. "Procedia Engineering", 182, 2017, p. 36.

<sup>10</sup> Leach L.P.: Critical Chain Project Management. Artech House, Boston, London, 2014, p. 214.

<sup>11</sup> Cox III J.F., Schleier, J.G.Jr. (red.): Theory of Constraints Handbook. McGraw- Hill, New York, 2010, p. 60.

<sup>12</sup> Goldratt E.M.: Łańcuch krytyczny. Projekty na czas. MINT Books, Warszawa 2009, s.132-135.

<sup>13</sup> Cox III J.F., Schleier, J.G.Jr. (red.): Theory of Constraints Handbook. McGraw- Hill, New York, 2010, p. 60.

<sup>14</sup> Leach L.P.: Critical Chain Project Management. Artech House, Boston, London, 2014, p. 180-185.

przedstawia również propozycje metody obliczania wielkości buforów przy założeniu, że czas trwania czynności zadania podlega rozkładowi logarytmiczno-normalnemu<sup>15</sup>.

W literaturze można również znaleźć rozwiązania wykorzystujące bioalgorytmy i technologie ICT do określania priorytetów zadań, wielkości buforów i harmonogramowania projektów w środowisku wieloprojektowym w oparciu o metodę łańcucha krytycznego. Można tutaj wskazać metodę wielokryterialnej optymalizacji wykorzystującej chmurowy algorytm genetyczny (cloud genetic algorithm) do priorytetyzacji zadań i harmonogramowania projektów<sup>16</sup>. W ten obszar wpisują się również wielokryterialny algorytm ewolucyjny zastosowany do efektywnego wykorzystania zasobów ludzkich i optymalizacji cyklu projektu<sup>17</sup> oraz rozmyta metoda łańcucha krytycznego (Fuzy Critical Chain Method) oparta na algorytmie genetycznym do rozwiązywania problemu harmonogramowania ograniczonych zasobów<sup>18</sup>.

W dalszej części artykułu zostanie przedstawiony schemat postępowania w procesie planowania realizacji zadań zgodnie z metodą CCMPM, który stanowi rozwinięcie pięciu kroków TOC sformułowanych przez Goldratta i zadań przedstawionych w tabeli 1. Wykorzystuje on organizacyjne podejście i graficzną formę planowania.

### 3. Schemat postępowania w planowaniu realizacji projektów

W niniejszym podrozdziale zostanie przedstawiony schemat postępowania przy planowaniu projektów w środowisku wieloprojektowym z wykorzystaniem metody CCMPM. Jego celem jest uzyskanie planu realizacji projektów, który pozwoli na maksymalne wyeksploatowanie ograniczenia w projektach i zsynchronizowanie ich wykonania. Ponadto wspomaga on określenie kolejności wykonywania zadań wykorzystujących krytyczny zasób w różnych projektach, akceptowalnej z punktu widzenia przyjętego kryterium. Poprzez wykorzystanie graficznej formy planu pozwala na wskazanie planowanych terminów rozpoczęcia poszczególnych projektów i wykonania łańcuchów składających się na nie zadań oraz daje możliwość skutecznego zarządzania realizacją projektów.

<sup>15</sup> m.in. Połośki M., Ziółkowska A.: Wyznaczenie buforów czasu i terminu zakończenia przedsięwzięcia dla obiektu biurowego „Globis” we Wrocławiu. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*. Zeszyt 3(45), 2009, s. 26-34, Połośki M., Pruszyński K.: Wyznaczanie wielkości buforów czasu i terminu zakończenia przedsięwzięcia w harmonogramach budowlanych. *Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 90. Seria Studia i Materiały*, nr 20, 2008, s. 289-297.

<sup>16</sup> Wang W-x., Wang X., Ge X-l., Deng L.: Multi-objective optimization model for multi project scheduling on critical chain. *„Advances in Engineering Software”*, 68, 2014, pp. 32-39.

<sup>17</sup> Yannibelli V., Amandi A.: Hibridizing a Multi-objective simulated annealing algorithm with a multi-objective evolutionary algorithm to solve a multiobjective project scheduling problems. *„Expert System with Applications: An International Journal”*, Vol. 40, Iss. 7 2013, pp. 2421-2434.

<sup>18</sup> Bai C., Gershon M., Wei X.P.: Fuzzy critical chain method based on genetic algorithm for project scheduling. *“Information”*, vol. 13, iss. 3 b, 2010, pp. 877-892.



**Dane wejściowe** niezbędne do zaplanowania realizacji projektów w środowisku wieloprojektowym są następujące:

- logiczne powiązania pomiędzy zadaniami dla każdego z projektów,
- czasy wykonania poszczególnych zadań w projektach określone z prawdopodobieństwem 50% oraz 80-90%,
- zasoby niezbędne do realizacji poszczególnych zadań.

Postępowanie zgodne z przedstawionym schematem wymaga w pierwszym kroku zaplanowania realizacji poszczególnych projektów zgodnie z metodą łańcucha krytycznego CCPM. Podstawą planowania są czasy wykonania zadań określone z 50% prawdopodobieństwem. W procesie planowania realizacji projektu zgodnie z metodą CCPM można wykorzystać algorytm postępowania przedstawiony w literaturze<sup>19</sup>. Pierwszy krok schematu postępowania charakteryzuje realizowane w nim zadania.

### **Schemat postępowania:**

1. Zaplanuj realizację każdego projektu zgodnie z metodą łańcucha krytycznego CCPM. W tym celu:
  - zidentyfikuj łańcuch krytyczny,
  - określ wielkość i lokalizację buforów zasilających FB oraz buforu projektu PB,
  - zaplanuj sztafetową realizację zadań łańcucha krytycznego; zaplanuj wykonanie zadań przez wspólny zasób, zastosuj planowanie do przodu (forward scheduling) i zasadę ASAP (As Soon As Possible) dla zadań następujących po zadaniach wykorzystujących wspólny zasób oraz planowanie do tyłu (backward scheduling) i zasadę ALAP (As Late As Possible) dla zadań poprzedzających te zadania,
  - zaplanuj realizację zadań dla każdej ścieżki zasilającej łańcuch krytyczny, zaczynając od zadania kończącego ścieżkę i zlokalizowanego za nim buforu zasilającego FB oraz terminu rozpoczęcia zadania łańcucha krytycznego, w którym ta ścieżka kończy się; zastosuj planowanie do tyłu (backward scheduling) i zasadę ALAP (As Late As Possible).
2. Zidentyfikuj zasób ograniczający i zadania przez niego realizowane w poszczególnych projektach.
3. Określ kolejność realizacji zadań przez zasób ograniczający w poszczególnych projektach (tym samym kolejność realizacji projektów).
4. Określ lokalizację buforów ograniczenia CB (constraint buffer) i wyznacz ich wartości. Zaplanuj realizację zadań przez zasób ograniczający w poszczególnych projektach uwzględniając kolejność przyjętą w kroku 3, wielkość buforów ograniczenia oraz

---

<sup>19</sup> Łopatowska J.: Planowanie realizacji zadań zgodnie z koncepcją łańcucha krytycznego, w: Fertsch M., Grzybowska K., Stachowiak A. (red.): Zarządzanie - zasoby, ich dobór i sposoby wykorzystania. Instytut Inżynierii Zarządzania. Politechnika Poznańska, 2008, s. 115-126.

dostępność zasobu ograniczającego. Zastosuj planowanie do przodu (forward scheduling) oraz zasadę ASAP (As Soon As Possible).

5. Dla każdego projektu zaplanuj realizację jego zadań, przyjmując jako podstawę w procesie planowania tego projektu termin wykonania zadania przez zasób ograniczający określony w kroku 4 i wielkość buforu ograniczenia. Przeprowadź ponownie proces planowania projektów, w których dodany został bufor ograniczenia CB. Jeżeli zasób ograniczający znajduje się w łańcuchu krytycznym projektu, to wykonaj krok 5a. W przeciwnym przypadku wykonaj krok 5b.

5a Jeżeli zasób ograniczający znajduje się w łańcuchu krytycznym projektu, to zaplanuj realizację kolejnych zadań tego łańcucha. Zastosuj planowanie do przodu (forward scheduling) i zasadę ASAP (As Soon As Possible) dla kolejnych zadań oraz planowanie do tyłu (backward scheduling) i zasadę ALAP (As Late As Possible) dla zadań poprzedzających zadanie wykorzystujące ograniczający zasób. Przeprowadź proces planowania we wszystkich ścieżkach kończących się w zadaniach łańcucha krytycznego. Zastosuj planowanie do tyłu (backward scheduling) względem zadań, w których ścieżki mają swój koniec oraz zasadę ALAP (As Late As Possible). Przeprowadź proces planowania również we wszystkich ścieżkach mających tylko początek w łańcuchu krytycznym. Zastosuj planowanie do przodu (forward scheduling) względem zadania łańcucha krytycznego, w którym ścieżka ma swój początek i zasadę ASAP (As Soon As Possible). Podobnie zaplanuj realizację zadań we wszystkich kolejnych ścieżkach zasilających zaplanowane już ścieżki.

- 5b Jeżeli zasób ograniczający związany jest z zadaniem znajdującym się w jednej ze ścieżek zasilających (bezpośrednio lub pośrednio) łańcuch krytyczny, to zaplanuj realizację kolejnych zadań (we wszystkich kolejnych ścieżkach zasilających i łańcuchu krytycznym). Zastosuj planowanie do przodu (forward scheduling) i zasadę ASAP (As Soon As Possible). Przeprowadź planowanie dla zadań łańcucha krytycznego poprzedzających zadanie, w którym kończy się ostatnia rozważana ścieżka zasilająca. Zastosuj planowanie do tyłu (backward scheduling) oraz zasadę ALAP (As Late As Possible).

Przeprowadź proces planowania we wszystkich do tej pory nierozważanych ścieżkach kończących się w zadaniach łańcucha krytycznego. Zastosuj planowanie do tyłu (backward scheduling) względem zadań, w których ścieżki mają swój koniec oraz zasadę ALAP (As Late As Possible). Przeprowadź proces planowania również we wszystkich ścieżkach mających tylko początek w łańcuchu krytycznym. Zastosuj planowanie do przodu (forward scheduling) względem zadania łańcucha krytycznego, w którym ścieżka ma swój początek i zasadę ASAP (As Soon As Possible). Podobnie zaplanuj realizację zadań we wszystkich kolejnych ścieżkach zasilających zaplanowane już ścieżki.



Jeżeli w projekcie, w procesie ponownego planowania terminów realizacji zadań, termin rozpoczęcia  $t_{rozp}$  pierwszego zadania ze ścieżki zasilającej łańcuch krytyczny lub inną ścieżkę będzie mniejszy niż termin zakończenia  $t_{zakon}$  zadania łańcucha krytycznego lub innej ścieżki, po którym swój początek ma rozważana ścieżka zasilająca, tzn.  $t_{rozp} < t_{zakon}$ , to przejdź do kroku 6. W przeciwnym przypadku przejdź do kroku 7.

6. Zaplanuj przerwę w realizacji łańcucha krytycznego lub innej ścieżki o długości  $(t_{zakon} - t_{rozp})$ , po zadaniu zaczynającym ścieżkę zasilającą, w której nastąpił konflikt terminów rozpoczęcia pierwszego zadania. Zaczynając od tego zadania przeprowadź proces ponownego planowania terminów realizacji, dla zadań poprzedzających dane zadanie w ścieżce zasilającej (lub ciągu ścieżek zasilających) lub/i w łańcuchu krytycznym, stosując planowanie do tyłu (backward scheduling) i zasadę ALAP (As Late As Possible). Przeprowadź proces planowania dla wszystkich ścieżek zasilających, które mają początek i koniec w zadaniach, dla których terminy realizacji były ponownie planowane (poza już przeplanowanymi). Krok 6 powtórz aż do wyeliminowania konfliktu terminów we wszystkich ścieżkach.

Jeżeli ze względu na specyfikę projektu nie jest możliwe dokonanie przerwy w realizacji zadań, to określ inną kolejność wykonania zadań przez zasób ograniczający i przejdź do kroku 4 lub wzmocnij zasób ograniczający i przejdź do kroku 2.

7. W przypadku pojawienia się nowego konfliktu wykorzystania zasobów wykonaj kroki 4-6 i przeprowadź kolejną synchronizację projektów względem nowego zasobu ograniczenia. Krok 7 powtórz aż do wyeliminowania niepożądanych niezgodności w projektach lub wyeliminuj konflikt zasobów poprzez wzmocnienie zasobu ograniczenia.

W przypadku braku nowego konfliktu zasobów zakończ proces planowania.

W celu uzyskania kolejnej opcji planu zmień kolejność realizacji zadań przez zasób ograniczający w poszczególnych projektach i przejdź do realizacji kroku 4.

#### **Zaprezentowany schemat postępowania pozwala na uzyskanie:**

- akceptowalnej z punktu widzenia przyjętego kryterium kolejności realizacji projektów,
- harmonogramu wykorzystania zasobu ograniczającego przez poszczególne projekty i jego ochrony poprzez bufory zasobu ograniczającego,
- harmonogramu wykorzystania pozostałych zasobów,
- planowanych terminów rozpoczęcia poszczególnych projektów,
- planowanych terminów rozpoczęcia poszczególnych ścieżek w każdym z projektów,
- planowanego czasu realizacji poszczególnych projektów.

Przedstawiony schemat postępowania pozwala na rozwiązanie problemu współdzielenia zasobów przez projekty realizowane w środowisku wieloprojektowym. Umożliwia zsynchronizowanie projektów względem potrzeby maksymalnego wykorzystania zasobu ograniczającego, zaplanowanie jego sztafetowej pracy w różnych projektach i graficzną





prezentację planów wykonania projektów. Daje tym samym możliwość budowy realnych planów projektów i skutecznego nadzoru nad ich realizacją. W przypadku wystąpienia zakłóceń pozwala podejmować decyzje, które chronić będą przed nadmiernym wykorzystaniem buforów czasowych i przekroczeniami czasu realizacji projektów.

W procesie planowania niezbędne jest podjęcie decyzji o istotności projektów i kolejności ich wykonania, a tym samym kolejności przydziału zasobu ograniczającego do poszczególnych projektów. Do rozwiązania tego problemu można wykorzystać szereg podejść dotyczących rozwiązania zagadnienia szeregowania zadań. Kolejność może wynikać z priorytetu (ważności dla klienta) danego projektu oraz akceptacji terminów zaangażowania zasobu krytycznego. Można w tym celu wykorzystać również bioalgorytmy, logikę rozmytą lub powszechnie znane reguły szeregowania zadań, do których należą m.in. szeregowanie względem terminów wykonania (Due Date Sequencing) oraz czasu wykonania (Longest Operation Time, Shortes Operation Time). Z punktu widzenia TOC istotnym wyznacznikiem priorytetu projektu jest wartość przerobu projektu wynikająca z wykorzystania przez niego zasobu ograniczającego. W tym ujęciu współczynnik priorytetu WP projektu można przedstawić przy pomocy następującej zależności<sup>20</sup>:

$$WP = \frac{T}{WO} \quad (1)$$

gdzie:

- T – przerób (throughput) projektu wyrażony w jednostkach pieniężnych, np. zł
- WO – zapotrzebowanie projektu na ograniczający zasób wyrażone np. liczbą osobo-dni lub osobo-godzin.

Im współczynnik priorytetu ma większą wartość, tym projekt generuje większy przerób jednostkowy (przypadający na osobo-dzień) i tym projekt ma większe znaczenie.

W procesie planowania niezbędne jest również określenie wielkości buforów czasowych, zgodnie z metodami prezentowanymi w literaturze przedmiotu.

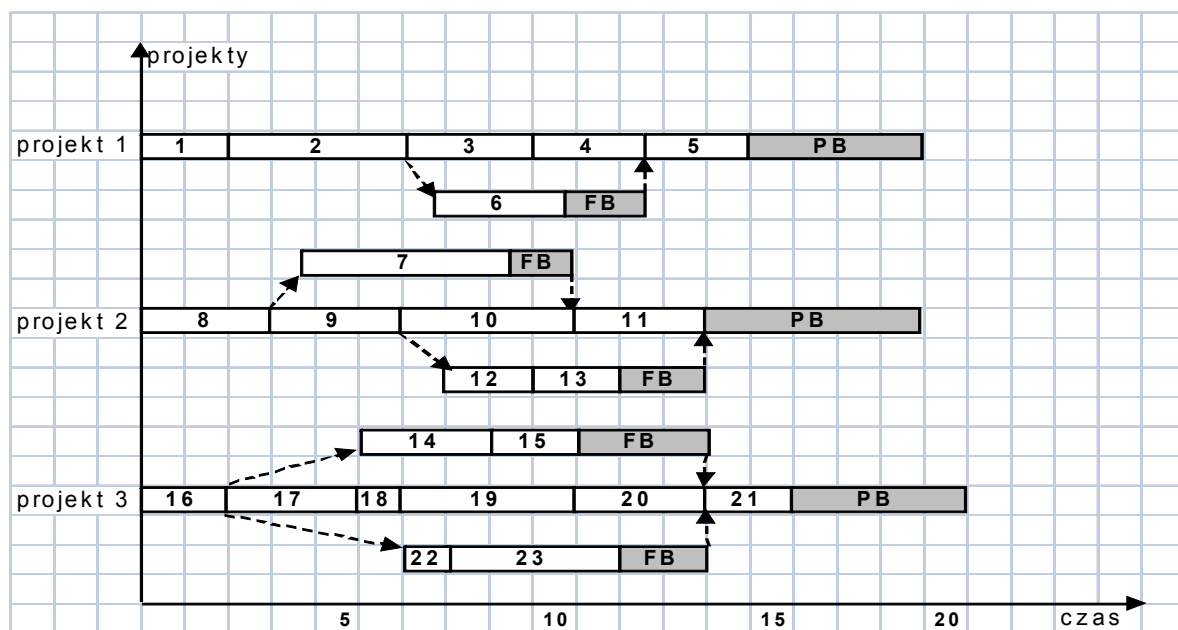
Przedstawiony schemat postępowania umożliwi zsynchronizowanie projektów i sztafetowe zaplanowanie zadań łańcucha krytycznego w każdym z nich (zgodnie z zasadą ASAP), realizację zadań łańcuchów zasilających „na ostatnią chwilę” (zgodnie z zasadą ALAP) oraz ochronę terminowości za pomocą buforów czasowych. W kolejnej części artykułu przedstawiony zostanie przykład ilustrujący przedstawiony schemat postępowania.

---

<sup>20</sup> Leach L.P.: Critical Chain Project Management. Artech House, Boston, London, 2014, p. 202.

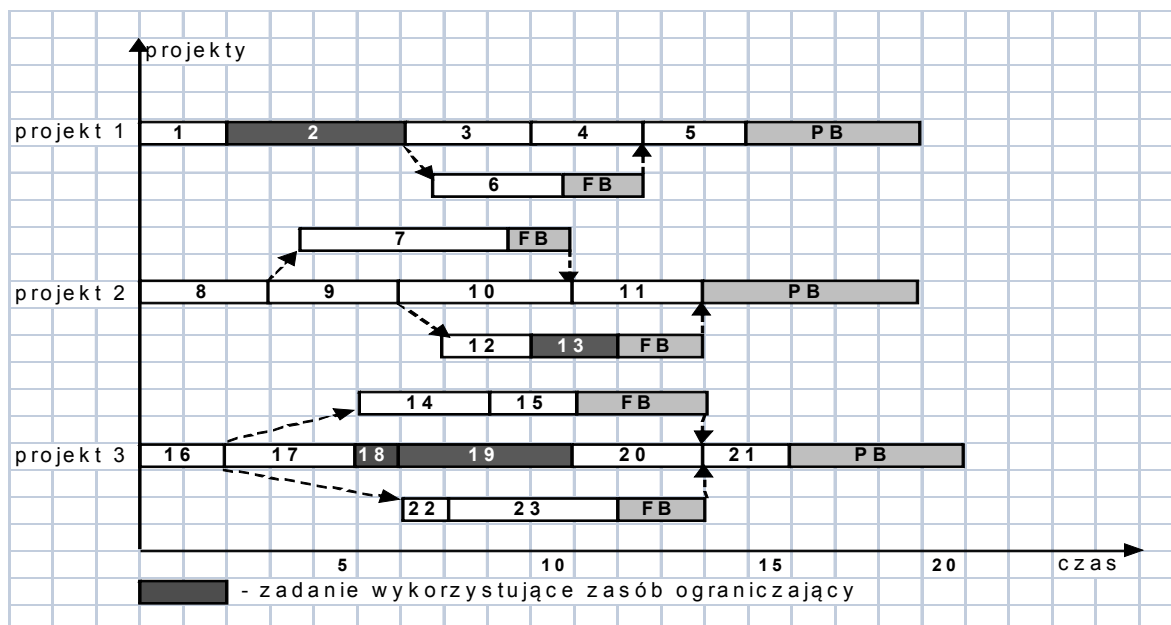
#### 4. Przykład zastosowania schematu postępowania w planowaniu realizacji projektów

Należy zaplanować realizację trzech projektów. Projekt 1 wymaga wykonania sześciu zadań (zadania o numerach od 1 do 6). Projekt 2 wymaga zrealizowania siedmiu zadań (zadania o numerach od 7 do 13), natomiast na projekt 3 składa się dziesięciu zadań (zadania o numerach od 14 do 23). Znajomość bezpośrednich zależności pomiędzy zadaniami w każdym z projektów oraz czasów wykonania zadań (określonych z 50 i 90% prawdopodobieństwem) i zasobów pozwoliła na przeprowadzenie pierwszego kroku schematu postępowania. Jego wyniki prezentuje rysunek 1.



Rys. 1. Plan wykonania każdego z projektów zgodnie z metodą łańcucha krytycznego CCPM  
Źródło: Opracowanie własne

Drugi krok postępowania wymaga zidentyfikowania zasobu ograniczającego. Stanowi go zasób niezbędny do wykonania zadań 2, 3, 18 i 19 (rys. 2).



Rys. 2. Zadania wykorzystujące zasób ograniczający w projektach 1-3

Źródło: Opracowanie własne.

Zgodnie z trzecim krokiem postępowania określona została kolejność realizowania zadań przez zasób ograniczający. Zgodnie z nią najpierw należy wykonać zadania 18 i 19, następnie 13 oraz 2. Zatem najwyższy priorytet posiada projekt 3, a najniższy 1.

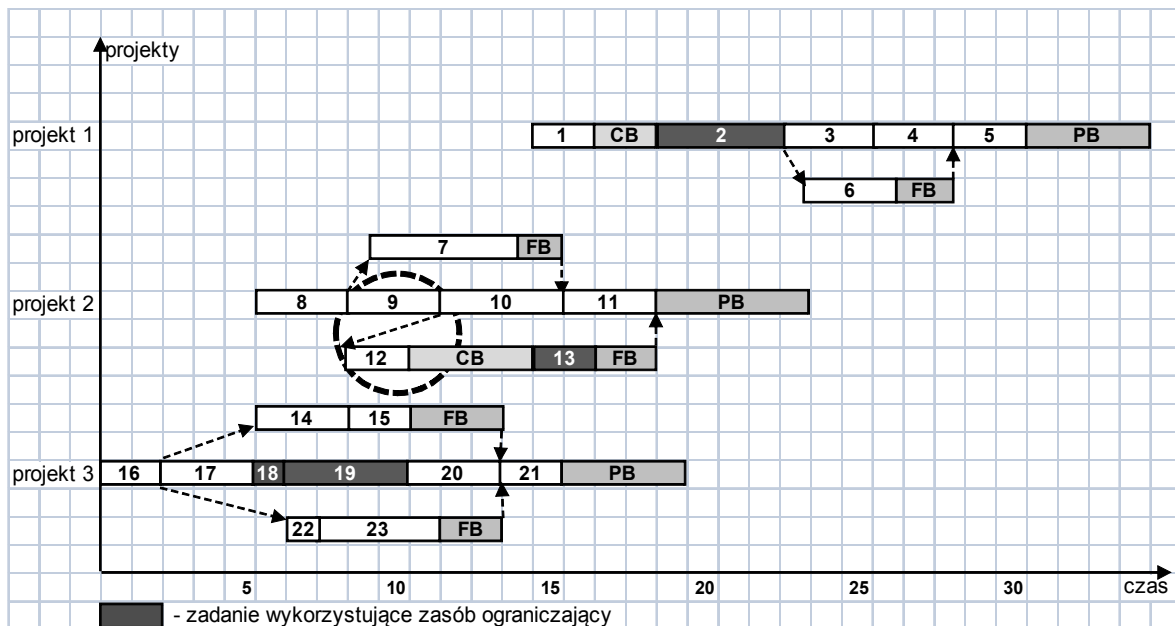
Kolejny krok postępowania (krok 4) wymaga zaplanowania realizacji zadań poszczególnych projektów przez zasób ograniczający. Przyjęto, że bufor ograniczenia równe będą długości czasu realizacji ostatniego zadania (z poprzedniego projektu) przez zasób ograniczający. Mają one zatem wartość:

- dla projektu 2 - 4 jednostki czasu,
- dla projektu 1 - 2 jednostki czasu.

Ponieważ w rozważanym przykładzie nie zostały uwzględnione projekty w trakcie realizacji, to projekt o najwyższym priorytecie (projekt 3) nie ma bufora ograniczenia. Zadania wykorzystujące zasób ograniczający zostały zaplanowane w terminach (rys. 3):

- projekt 3 – zadania 18 i 19 – od 6 do 10 jednostki czasu,
- projekt 2 – zadanie 13 – od 15 do 16 jednostki czasu,
- projekt 1 – zadanie 2 – od 19 do 22 jednostki czasu.

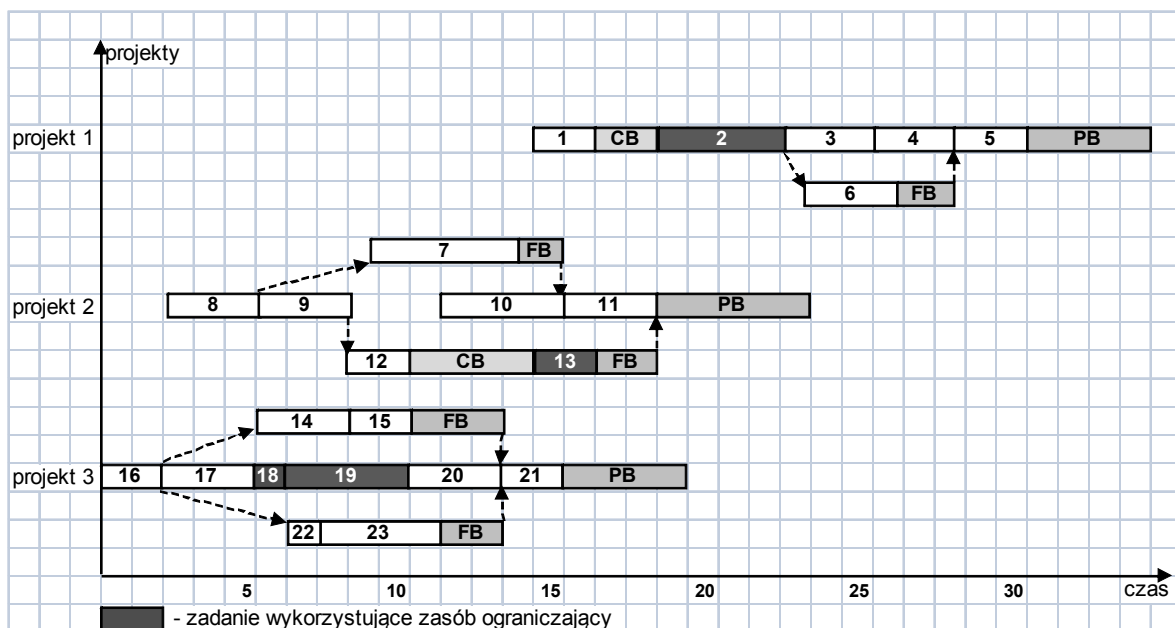
Piąty krok schematu postępowania wymaga zsynchronizowania projektów względem planu realizacji ich zadań przez zasób ograniczający. W przypadku projektu 1 i 3 wykorzystywany jest on do realizacji zadania z łańcucha krytycznego, natomiast w przypadku projektu 2 do realizacji zadania ścieżki zasilającej łańcuch krytyczny. Zatem ponowne planowanie projektu 2 odbywa się poprzez przeprowadzenie kroku 5b schematu postępowania, natomiast planowanie pozostałych projektów zgodnie z krokiem 5a. Wyniki planowania przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Plan wstępnej synchronizacji projektów

Źródło: Opracowanie własne.

Ponieważ w przypadku projektu 2 wystąpił konflikt terminów wykonania zadania 12 niezbędna jest korekta planu. Wymaga to wykonania kroku 6 schematu postępowania i zaplanowania przerwy w wykonaniu zadań łańcucha krytycznego o długości 3 jednostek czasu. Wyniki korekty przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Plan wykonania projektów

Źródło: Opracowanie własne.

Wynikiem przeprowadzonego postępowania jest synchronizacja projektów względem terminów wykorzystania zasobu ograniczającego w każdym z projektów. Rezultaty planowania przedstawia tabela 2.

Tabela 2

## Wyniki planowania realizacji przykładowych projektów

Wynik planowania	Projekt		
	1	2	3
Planowany termin rozpoczęcia projektu [jednostki czasu]	15	3	1
Planowany termin rozpoczęcia poszczególnych ścieżek [jednostki czasu]	ścieżka z zadaniem 6 - 24	ścieżka z zadaniem 7 - 9,5 ścieżka z zadaniami 12,13 - 9	ścieżka z zadaniami 14,15 - 6 ścieżka z zadaniami 22, 23 - 7
Terminy wykonania zadań przez zasób ograniczający [jednostki czasu]	zadanie 2 - od 19 do 22	zadanie 3 - od 15 do 16	zadania 18, 19 - od 6 do 10
Planowany termin wykonania projektu [jednostki czasu]	34	23	19

Źródło: Opracowanie własne.

Wykorzystany schemat postępowania pozwala zbudować satysfakcjonujący plan realizacji projektów. Umożliwia również skuteczne zarządzanie wykonaniem projektów. W przypadku pojawienia się kolejnego projektu zastosowanie przedstawionego schematu postępowania pozwala na jego zsynchronizowanie z dotychczas wykonywanymi projektami.

## 5. Podsumowanie

Metoda CCMPM pozwala zarządzać projektami w środowisku wieloprojektowym zgodnie z zasadami teorii ograniczeń TOC. Podstawą jej jest zidentyfikowanie zasobu ograniczającego z perspektywy wielu projektów i jego wyeksploatowanie. Przekłada się to na potrzebę sztafetowego zaplanowania wykonania zadań z różnych projektów, które wykorzystują zasób ograniczający i zabezpieczenia buforem ograniczenia dostępności tego zasobu. Wykonanie zadań z łańcucha krytycznego i pozostałych ścieżek poszczególnych projektów podporządkowane zostaje terminowi dostępności zasobu ograniczającego dla danego projektu. Pozwala to skoordynować i zsynchronizować projekty, chroni czas ich wykonania i zabezpiecza przed nadmiernym obciążeniem zadaniami.

W artykule przedstawiono schemat postępowania w procesie planowania projektów w środowisku wieloprojektowym, zgodnie z metodą CCMPM. Stanowi on rozwinięcie pięciu kroków TOC. W poszczególnych krokach schematu sformułowano działania niezbędne do wykonania w kolejnych etapach procesu planowania. Proces planowania i nadzoru nad wykonaniem projektów wspomaga graficzna forma prezentacji planów. Schemat postępowania wymaga określenia priorytetów poszczególnych projektów i wielkości buforów czasowych. Można w tym celu wykorzystać przedstawione ogólne wskazania formułowane m.in. przez Goldratta lub metody prezentowane w literaturze przedmiotu.



## Bibliografia

1. Araszkievicz K.: Application of Critical Chain Management in Construction Projects Schedules in Multi Project Environment: a Case Study. "Procedia Engineering", 182, 2017, pp.33-41.
2. Bai C., Gershon M., Wei XP.: Fuzzy critical chain method based on genetic algorithm for project scheduling. "Information", vol. 13, iss. 3 b, 2010, pp. 877–892.
3. Cox III J.F., Schleier, J.G.Jr. (red.): Theory of Constraints Handbook. McGraw- Hill, New York 2010.
4. Cyplik P., Adamczak M., Hadaś Ł.: Critical chain project management and drum-buffer-ropes tools integration in construction industry - case study. „Log Forum”, 8 (1), 2012, pp. 29-37.
5. Goldratt E.M.: Łańcuch krytyczny. Projekty na czas. MINT Books, Warszawa 2009.
6. Goldratt E.M., Cox J.: Cel. Doskonałość w produkcji. Werbel, Warszawa 2000.
7. Yannibelli V., Amandi A.: Hibridizing a Multi-objective simulated annealing algorithm with a multi-objective evolutionary algorithm to solve a multiobjective project scheduling problems. „Expert System with Applications: An International Journal”, Vol. 40, Iss. 7 2013, pp. 2421-2434.
8. Leach L.P.: Critical Chain Project Management. Artech House, Boston, London, 2014.
9. Leach L.P.: Schedule and Cost Buffer Sizing. "Project Management Journal", Vol. 6, No.1, 2003.
10. Łopatowska J.: Planowanie realizacji zadań zgodnie z koncepcją łańcucha krytycznego, w: Fertsch M., Grzybowska K., Stachowiak A. (red.): Zarządzanie - zasoby, ich dobór i sposoby wykorzystania. Instytut Inżynierii Zarządzania. Politechnika Poznańska, 2008, s. 115-126.
11. Robinson H., Richards R.: An introduction to Critical Change Project Management. AACE International Transaction, 2009, PS.S03.1-PS.S03.12.
12. Połośki M., Ziółkowska A.: Wyznaczenie buforów czasu i terminu zakończenia przedsięwzięcia dla obiektu biurowego „Globis” we Wrocławiu. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska Zeszyt 3(45), 2009, s. 26-34.
13. Połośki M., Pruszyński K.: Wyznaczanie wielkości buforów czasu i terminu zakończenia przedsięwzięcia w harmonogramach budowlanych. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 90. Seria Studia i Materiały, nr 20, 2008, s. 289-297.
14. Sońta-Drączkowska E.: Zarządzanie wieloma projektami. PWE, Warszawa 2012.
15. Wang W-x., Wang X., Ge X-l., Deng L.: Multi-objective optimization model for multi project scheduling on critical chain. „Advances in Engineering Software”, 68, 2014, pp. 32-39.
16. Woeppel M.: Jak wdrożyć Teorię Ograniczeń w firmie produkcyjnej. MINT Books, Warszawa 2009.

