

HARMONOGRAMOWANIE ZASOBÓW W HYBRYDOWYCH SYSTEMACH WYTWÓRCZYCH

Agnieszka SZOPA, Bożena SKOŁUD

Streszczenie: Małe i średnie przedsiębiorstwa funkcjonujące na współczesnym bardzo konkurencyjnym rynku, realizują współbieżnie zlecenia produkcyjne w różnych systemach organizacji produkcji (MTO, MTS oraz projekty) tworząc hybrydowy system produkcji. Celem niniejszego opracowania było zaprezentowanie metodyki harmonogramowania zasobów w warunkach ograniczeń deterministycznych.

Słowa kluczowe: harmonogramowanie, systemy hybrydowe, teoria ograniczeń

1. Systemy organizacji produkcji

Rynek, szczególnie tak konkurencyjny jak w obecnych czasach, szybko weryfikuje profesjonalizm działania organizacji i aby ta weryfikacja była dla firmy korzystna musi nieustannie dążyć do „bycia lepszym” w kontekście podnoszenia jakości oraz zapewnienia terminowości.

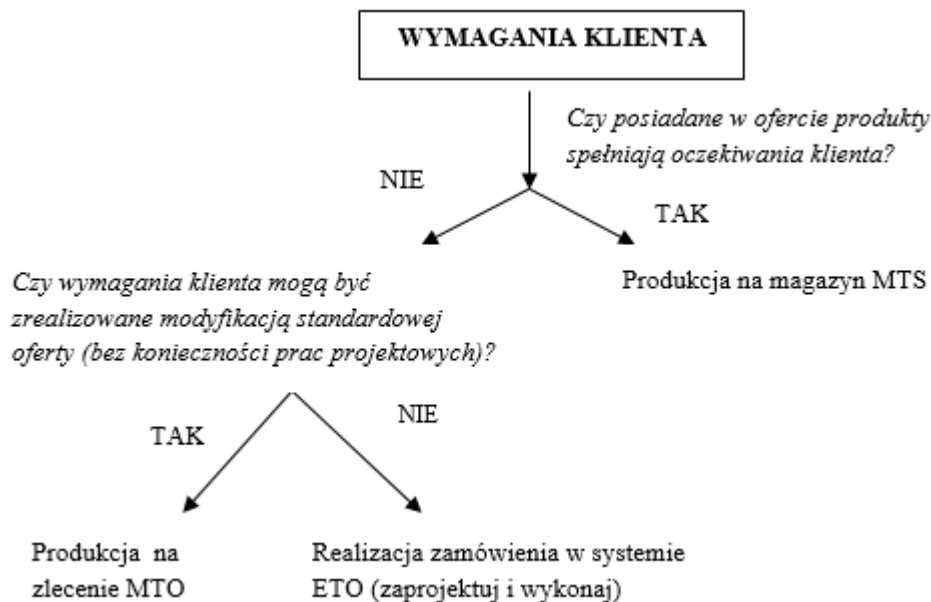
Firmy produkcyjne możemy podzielić na dwa typy:

- produkujące małe serie (produkcja jednostkowa i małoseryjna) różnorodnych wyrobów
- produkujące duże serie (produkcja wielkoseryjna i masowa) podobnych wyrobów.

Większość małych i średnich przedsiębiorstw jest przedstawicielami pierwszej grupy. Wynika to poniekąd z coraz krótszego czasu życia produktów, spowodowanym zmieniającymi się oczekiwaniami klientów. To z kolei przyczynia się do wyodrębniania działów R&D w strukturach organizacyjnych przedsiębiorstw lub do rozwoju ścisłej współpracy przemysłu z jednostkami badawczymi specjalizującymi się w dziedzinie, w której dany producent funkcjonuje. Coraz więcej projektowanych wyrobów ma charakter unikatowy, zgodny z oczekiwaniami klienta. Podobnie proces produkcyjny takiegoż wyrobu będzie niepowtarzalny. Z punktu widzenia zarządzania przygotowanie produkcji oraz samo wytwarzanie w takim przypadku ma więcej cech z zadań typu projekt niż tradycyjnie rozumianego wytwarzania.

Pamiętać jednak należy, że celem funkcjonowania każdej firmy jest osiągnięcie zysku, co w przypadku ograniczenia swojej działalności do realizacji tylko przedsięwzięć mających charakter projektów byłoby wysoko-ryzykowne. Większość firm, dąży do zmniejszenia ryzyka poprzez zwiększenie wydajności i obok produkcji unikatowej realizuje „standardową” produkcję. W zależności od wybranego przez przedsiębiorstwo systemu organizacji produkcji może mieć ona charakter produkcji na magazyn (Make-to-Stock), produkcji na zamówienie (Make-To-Order) lub być hybrydą obydwu systemów.

Jak wykazują badania większość projektów realizowanych w przedsiębiorstwach nie stanowi wyodrębnionego działania, a jest realizowana współbieżnie z innymi, to znaczy, że rozpoczynają się jednocześnie, bądź wcześniej rozpoczęte projekty jeszcze się nie zakończyły, a kolejne już są uruchamiane.



Rys. 1. Systemy organizacji produkcji
Źródło: opracowanie własne

Każda decyzja o realizacji zleceń jest związana z analizą dostępności zasobów w terminie, w którym dane zlecenie (zbiór zleceń) mają być wykonane. W kontekście projektu, należy zweryfikować ograniczenia z zakresem projektu, czasem realizacji oraz kosztami. Tworzą one tzw. żelazny trójkąt. Od zakresu zamówienia określanego przez klienta zależy czas jego realizacji oraz koszt. Zmiana zakresu wprost proporcjonalnie wpływa na dwie pozostałe wartości.



► Żelazny trójkąt – trzy ograniczenia projektu

Rys. 2. Żelazny trójkąt ograniczeń
Źródło: [4]

Podjęcie się realizacji określonego zakresu przedsięwzięcia w określonym czasie i za określoną cenę powoduje konieczność analizy ograniczeń wewnętrznych producenta.

Warunki realizacji danego przedsięwzięcia, będą więc kompromisem pomiędzy wymaganiami klienta, a możliwościami producenta.

2. Sformułowanie problemu

W licznych przedsiębiorstwach, w szczególności w małych i średnich, których działalność charakteryzuje się elastycznością oferowanych działań jednocześnie, występują produkcja seriami, produkcja jednostkowa oraz projekty, tworząc system hybrydowy. Pomimo trudności zarządzania takim złożonym systemem, przedsiębiorstwa decydują się na takie rozwiązanie, by zmaksymalizować wykorzystanie zasobów, w szczególności stanowisk roboczych, maszyn i urządzeń.

Warunkiem zrealizowania wszystkich zadań jest takie zaplanowanie aktywności, aby był dostęp do tych ograniczonych stanowisk lub/i maszyn w czasie. Należy również pamiętać o tym, że działalność każdego przedsiębiorstwa przebiega w warunkach ograniczeń, niektóre z nich mają charakter deterministyczny (są znane i stałe) tj. liczba zasobów i ich dostępność, natomiast inne są ograniczeniami przypadkowymi, związanymi z incydentalnymi sytuacjami takimi jak awaria urządzenia, choroba pracownika, na które firma może wpływać jedynie poprzez działania predykcyjne zmniejszające prawdopodobieństwo ich wystąpienia.

3. Planowanie zasobów w kontekście TOC

Harmonogramowanie definiowane jest jako przydział zdolności produkcyjnych do zadań w czasie. W rozważanym przypadku analizowana jest budowa harmonogramu w ograniczonym horyzoncie planistycznym z uwzględnieniem wcześniejszego obciążenia zasobów innymi zadaniami.

W kontekście przedstawionych rozważań pojawiają się pytania: Jakie techniki harmonogramowania zadań w opisanym systemie będą najbardziej efektywne?

Metody dokładne są czaso- i pamięciochłonne, zaś rozmiar problemów, które można rozwiązać w rozsądnym czasie jest ciągle zbyt mały. Co więcej implementacja odpowiednich algorytmów wymaga dużego doświadczenia programistycznego. Poważnym problemem jest także wiarygodność danych wejściowych, które często ulegają zaburzeniu tuż po kosztownym wyznaczeniu rozwiązania. Problemem jest zazwyczaj czas w jakim rozwiązanie jest uzyskiwane (metody dokładne) oraz brak odpowiedzi, czy w ogóle istnieje rozwiązanie dopuszczalne (metody heurystyczne i meta heurystyczne).

Odmienne od wyżej przedstawionych, praktyczne podejście do harmonogramowania opiera się na filozofii przedstawionej w połowie lat 80-tych przez Goldratt'a, zwanej Teorią Ograniczeń (TOC - Theory of Constraints). Jest to sposób myślenia o zarządzaniu przedsiębiorstwem, znajdujący zastosowanie w odniesieniu do wielu obszarów funkcjonowania organizacji w tym m.in. organizacji produkcji. TOC opiera się na założeniu, że wszystkie procesy przebiegające w organizacji są ogniwami łańcucha wzajemnie od siebie zależnymi. Koncepcja zakłada, że każdy system musi zawierać przynajmniej jedno ograniczenie, w przeciwnym wypadku organizacja mogłaby osiągać nielimitowane zyski. Brak nielimitowanych zysków to najlepszy dowód, że pewne ograniczenia zawsze istnieją. Teoria koncentruje się na tych najsłabszych ogniwach łańcucha tzw. ograniczeniach, gdyż efektywność ich wykorzystania decyduje o efektywności całego łańcucha. Funkcjonowanie organizacji w oparciu o TOC polega na

zarządzaniu poprzez świadomość istnienia ograniczeń i realizację 5 poniżej opisanych kroków:

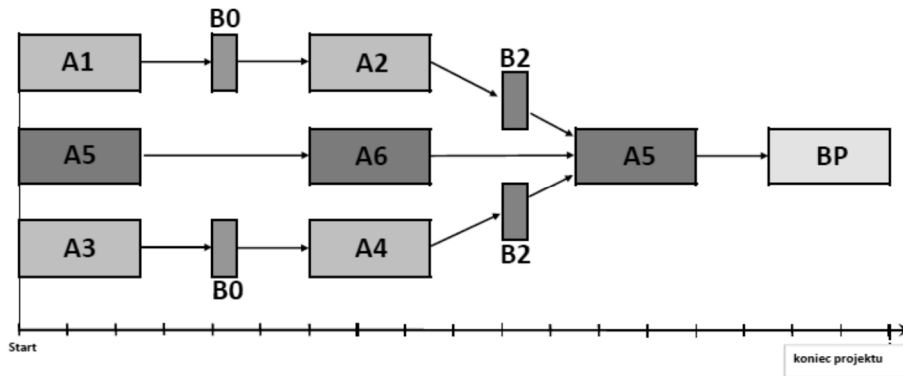
Krok 1	Identyfikacja ograniczeń systemu, nadanie im priorytetów w zależności od tego, jak ich wykorzystanie wpływa na maksymalizację funkcji celu. 1a) określenie zdolności produkcyjnych zasobów 1b) określenie obciążenia zasobów w stosunku do zdolności produkcyjnych 1c) określenie krytycznych ograniczeń zasobów (CCR Critical Constraint Resource)
Krok 2	Decyzja o sposobie maksymalnego wykorzystania CCR. Krok ten obejmuje działania związane z harmonogramowaniem. Dostosowanie harmonogramu pracy zasobów niekrytycznych, tak aby zapewnić maksymalne wykorzystanie CCR
Krok 3	Podporządkowanie wszystkich innych czynności maksymalnemu eksploataowaniu ograniczenia Krok ten ma zapewnić, że podejmowane działania określone w kroku 2 mają charakter globalny, a nie lokalny. Technika implementowaną w tym zakresie jest DBR (Bęben-Bufor-Linia), gdzie bęben jest ograniczeniem systemu, który wyznacza rytm pracy pozostałych zasobów. Lina to harmonogramy, a bufory to dodatkowe zasoby, które mają zabezpieczyć maksymalne wyzyskanie CCR.
Krok 4	Podniesienie (wzmocnienie) przepustowości wąskiego gardła
Krok 5	Jeśli ograniczenie nie stanowi już wąskiego gardła to identyfikacja kolejnego wąskiego gardła i powrót do kroku 1.

W kontekście niniejszego opracowania kluczowy jest krok drugi, który polega na stworzeniu harmonogramu zapewniającego jak najmniejsze przestoje na zasobach krytycznych. Do wyznaczenia przepływu dla produkcji MTS oraz MTO można wykorzystać Technikę Optymalnej Produkcji (OPT - Optimized Production Technology)

Z kolei do zleceń, mających charakter projektu można wykorzystać narzędzia właściwe dla zarządzania projektami, tj. metodę łańcucha krytycznego dla środowisk wieloprojektowych CCMPM (Critical Chain Multi Project Management), która stanowi rozwinięcie metody ścieżki krytycznej (CPM – Critical Path Method) o rozwiązanie konfliktów zasobowych.

Szeregując zadania należy kierować się pracą zasobu krytycznego CCR (Critical Chain Resource), który jest bębniem wyznaczającym rytm pracy pozostałych zasobów oraz realizacji wszystkich zamówień. Jeśli bęben ukończy pracę przed czasem, wszystkie kolejne czynności powinny być rozpoczęte w miarę możliwości wcześniej. Opóźnienie pracy bębna jest niedopuszczalne, a prawdopodobieństwo jego wystąpienia jest minimalizowane poprzez wprowadzenie buforów czasu:

- bufor ograniczenia (BO), umieszczany jest pomiędzy dwoma zadaniami CCR
- bufor projektu (BP) jest uwzględniony na końcu ścieżki krytycznej i chroni termin wykonania całego projektu, w którym wystąpią opóźnienia
- bufory zasilające (BZ) to bufory uwzględnione względem czynności niekrytycznych, które zasilają ścieżkę krytyczną. Zabezpieczają przed sytuacją, gdy opóźnienie czynności niekrytycznej spowoduje zmniejszenie wykorzystania wąskiego gardła.

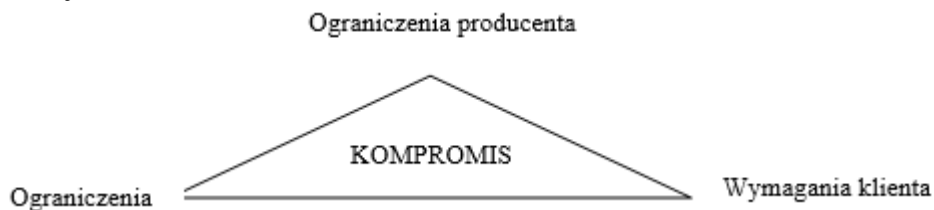


Rys. 3. Przykład łańcucha krytycznego z uwzględnieniem buforów
Źródło: opracowanie własne

W systemie hybrydowym będącym przedmiotem niniejszego opracowania konieczne będzie wyznaczenie ścieżki krytycznej dla realizacji 3 różnych typów zleceń, są to: stałe zlecenia związane z produkcją na magazyn (MTS), produkcja seryjna na zamówienie klienta (MTO) oraz realizacja unikatowych zamówień, czyli projektów. Przez zasoby w niniejszych rozważaniach rozumiane są maszyny oraz stanowiska, do których ograniczony jest dostęp w czasie. Zlecenia produkcyjne przyjmowane są w kolejności, wynikającej z nadanego im odpowiednio wskaźnika priorytetu.

4. Metodyka harmonogramowania w systemach hybrydowych

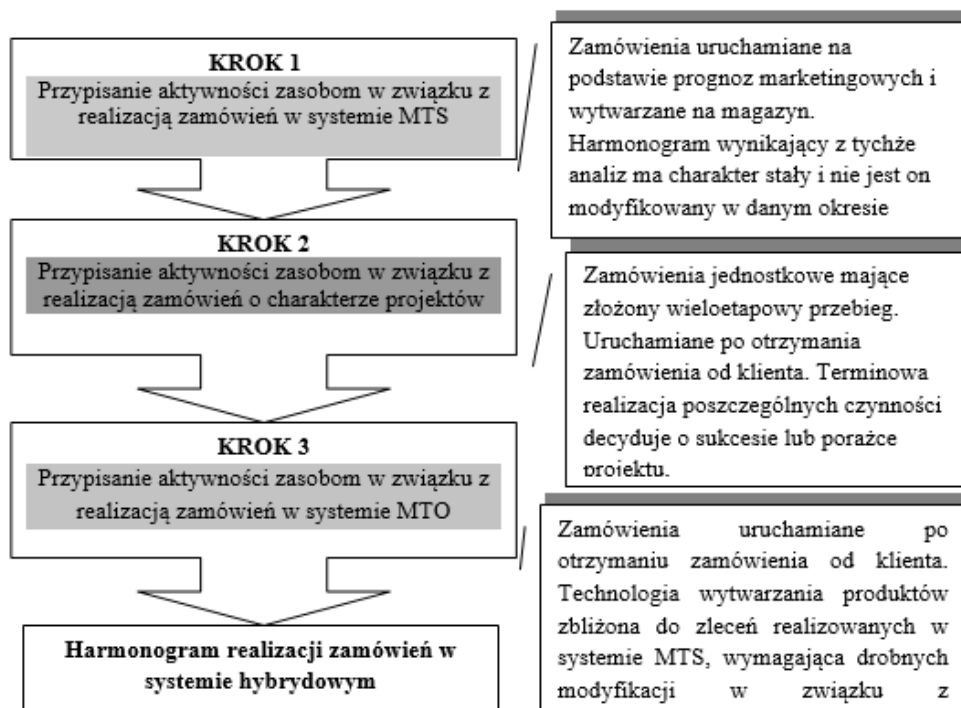
Realizując rozbudowany hybrydowy system produkcji organizacja zmagą się z dużą różnorodnością ograniczeń, mających różne źródło pochodzenia. Z jednej strony są to ograniczenia własne producenta (maszyny, stanowiska, nakłady finansowe, powierzchnia magazynowa, know-how, procedury) z drugiej strony ograniczenia wynikające z wymagań klienta (terminy realizacji, wymagania jakościowe, cena), na co nakładają się ograniczenia kontrahentów (cena, terminy realizacji, jakość) dostarczających materiały niezbędne do produkcji.



Rys. 4. Źródła ograniczeń w hybrydowym systemie organizacji produkcji
Źródło: opracowanie własne

Producent, kontrahent, klient funkcjonują w systemie wzajemnie od siebie zależnym. Sukces tego systemu polega na zrealizowaniu oczekiwań każdego z interesariuszy, które

bywają czasami sprzeczne, przez co generowana jest duża liczba ograniczeń. Klasyczne podejście zakłada eliminowanie ograniczeń, co w tym układzie nie jest dopuszczalne. Podejście Goldratt'a akceptuje istnienie tych ograniczeń, wskazuje konieczność znalezienia kompromisu satysfakcjonującego dla każdej ze stron, poprzez maksymalne wykorzystanie wąskiego gardła. Optymalna Technologia Produkcji stosowana jest do zleceń produkcyjnych powtarzających się okresowo, czyli zamówień realizowanych w systemie MTS oraz MTO opisanego w niniejszym artykule systemu hybrydowego. W omawianym układzie realizujemy dodatkowo zamówienia niemające charakteru powtarzającego się. Proces harmonogramowania w proponowanej metodologii polega na zaplanowaniu w pierwszej kolejności zamówień w systemie MTS, które są zazwyczaj zobowiązaniami długoterminowymi, uruchamianymi na podstawie analiz rynku, w których oczekiwany przez klienta termin realizacji jest krótki. W kolejnym kroku planuje się czynności związane z realizacją zamówień mających charakter projektów, które są wieloetapowe, a czas ich realizacji jest długi. Na bazie tak stworzonego planu produkcyjnego podejmuje się decyzję dotyczącą uruchomienia zleceń produkcyjnych realizowanych w systemie MTO, uruchamianych na podstawie otrzymanego zamówienia od klienta. Zlecenia te realizowane są w terminie wynikającym z dostępności zasobów krytycznych.



Rys. 5. Metodyka harmonogramowania w systemach hybrydowych
Źródło: opracowanie własne

Przedstawiony schemat postępowania jest metodyką generalną, a zakres realizacji poszczególnych kroków zależy od okresu planistycznego tworzonego harmonogramu. Realizowane mogą być wszystkie, bądź wybrane kroki w zależności od danej sytuacji.

5. Przykład ilustrujący

Branża materiałów ogniotrwałych jest rynkiem bardzo konkurencyjnym. Zmieniające się wymagania klientów, powoduje że aby przetrwać producenci stale zwiększają portfolio produktów. Odbiorcami produktów jest przemysł cementowniczy, hutniczy, energetyczny oraz producenci urządzeń grzewczych. Wymagania odbiorców nawet w obrębie danej branży mają mocno zindywidualizowany charakter ze względu na różny sposób prowadzenia procesów technologicznych.

Producenci, aby sprostać wymaganiom realizują 3 rodzaje zleceń:

- Produkcja znormalizowanych wyrobów o znanym zapotrzebowaniu rynku np. formowane maszynowo prostki ogniotrwałe tzw. cegła ogniotrwała. Jest to stała produkcja w długich seriach, uruchamiana na podstawie prognoz sprzedażowych.
- Produkcja wyrobów, które znajdują się w ofercie producenta, ale ze względu na zmienne zapotrzebowanie rynku lub konieczność uzgodnienia z odbiorcą drobnych kwestii technicznych produkcja uruchamiana jest po otrzymaniu zamówienia od klienta np. produkcja betonów ogniotrwałych.
- Produkcja mająca charakter projektów – produkcja unikatowa pod specyficzne wymagania klienta, często mająca charakter jednorazowy. Przykładem tego typu produkcji jest produkcja dla branży cementowniczej. Biorąc pod uwagę wymagania klienta ze względu na zmienną specyfikę stosowanych paliw alternatywnych, producent projektuje fragment wyłożenia ogniotrwałego. Projektowanie obejmuje kwestie konstrukcyjne, technologii wykonania oraz rodzaju materiału. Jest to produkcja krótkoseryjna, jednorazowa.

W stworzonym harmonogramie systemu hybrydowego mamy ściśle określony początek i koniec czynności zaplanowanych do realizacji, które nie ulegają zmianie w danym okresie planistycznym. Czas trwania czynności to różnica pomiędzy zakończeniem a rozpoczęciem czynności.

Δ_j^i - czas trwania czynności na zasobie j

$$\Delta_j^i = \sum_{i=1, \dots, l} (e_j^{MTSi} - s_j^{MTSi}) + (e_j^{Pi} - s_j^{Pi}) + (e_j^{MTOi} - s_j^{MTOi}) \quad (1)$$

dla naszego przykładu:

$$\Delta_1^i = (e_1^{MTSi} - s_1^{MTSi}) + (e_1^{Pi} - s_1^{Pi}) + (e_1^{MTOi} - s_1^{MTOi}) \quad (\text{w przykładzie 6 jednostek czasu})$$

$$\Delta_2^i = (e_2^{MTSi} - s_2^{MTSi}) + (e_2^{Pi} - s_2^{Pi}) + (e_2^{MTOi} - s_2^{MTOi}) \quad (\text{w przykładzie 5 jednostek czasu})$$

$$\Delta_3^i = (e_3^{MTSi} - s_3^{MTSi}) + (e_3^{Pi} - s_3^{Pi}) + (e_3^{MTOi} - s_3^{MTOi}) \quad (\text{w przykładzie 8 jednostek czasu})$$

Czas pomiędzy wykonywaniem zadań to stan bezczynności zasobu Δ_j^i .

Oznaczenia:

s_j^{MTSi} - start czynności związanych z realizacją zamówienia i w systemie MTS na zasobie j

e_j^{MTSi} - koniec czynności związanych z realizacją zamówienia i w systemie MTS na zasobie j

j

s_j^{Pi} - start czynności związanych z realizacją zamówienia i w formie projektu na zasobie j

e_j^{Pi} - koniec czynności związanych z realizacją zamówienia i w formie projektu na zasobie j

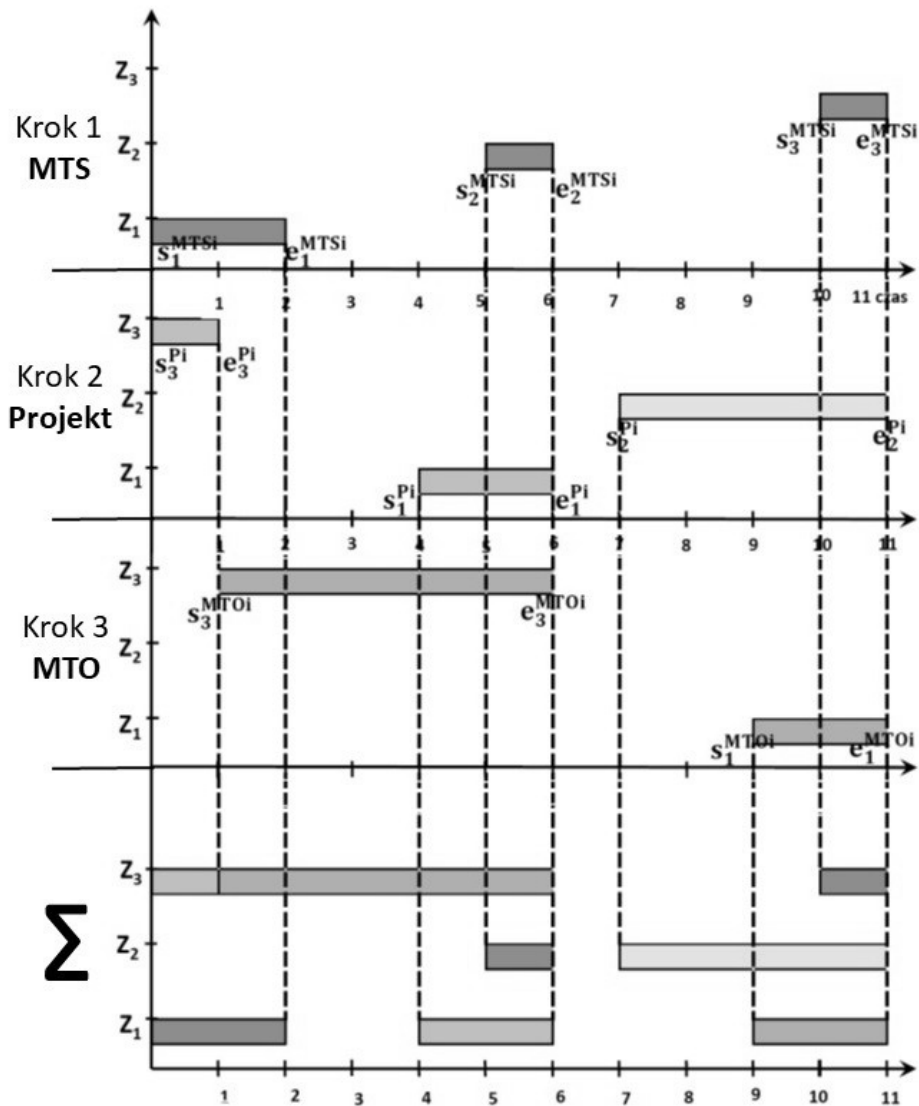
s_j^{MTOi} - start czynności związanych z realizacją zamówienia i w systemie MTO na zasobie j

e_j^{MTOi} - koniec czynności związanych z realizacją zamówienia i w systemie MTO na zasobie j

zasobie j

j = 1, 2, 3, ..., R_i – numer zasobu

i = 1, 2, 3... i - numer zamówienia



Rys. 6. Wykres Gantta ilustrujący sposób harmonogramowania. a) harmonogram zamówień MTS, b) harmonogram projektów, c) harmonogram zamówień MTO, d) harmonogram opisanego systemu hybrydowego.

Obciążenia zasobów możemy więc opisać jako zbiór wektorów V_j . Rozmiar tego wektora jest równy czasowi w którym mamy do dyspozycji zasób tj. $(b_j^i - s_j^i)$. Każdy element tego wektora odpowiada jednej jednostce czasu i w danej jednostce czasu t_j^i i może mieć wartość 0 lub 1.

$$V_j = [l_1, l_2, \dots, l_j]$$

$$l_j^t = \begin{cases} 0, & \text{gdy zasób } j \text{ jest nieobciążony} \\ 1, & \text{gdy zasób } j \text{ jest zajęty} \\ \emptyset & \text{możliwość implementacji nowego zamówienia} \end{cases}$$

gdzie:

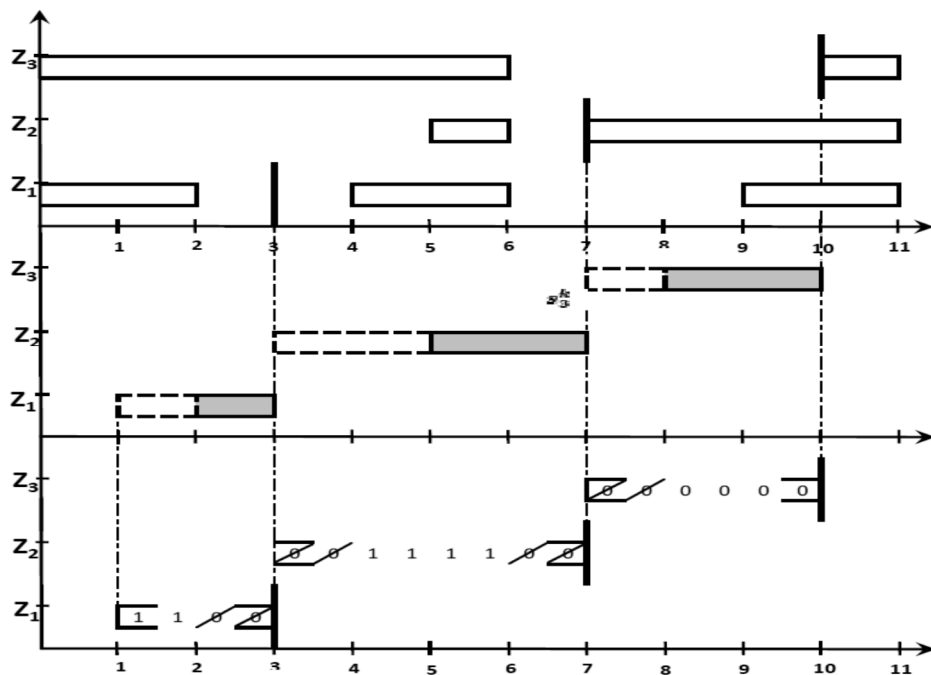
l_j^t - element wektora V_j

$t = s_j^k, s_j^k + 1, s_j^k + 2, s_j^k + n$ $k=I+1$ - numer nowego zamówienia

$s_j^k + n = b_j^k \Rightarrow b_j^k - s_j^k$

W tak opisanym systemie stajemy przed procesem decyzyjnym polegającym na odpowiedzi na pytanie: Czy możemy przyjąć do realizacji nowe zamówienie, które ma ściśle określony termin realizacji. Niezależnie od tego czy jest to zamówienie cykliczne (MTO), unikatowe (projekt), konieczne jest zaplanowanie zadań „do tyłu”.

Czynności niezbędne do realizacji nowego zamówienia powinny być wykonane w obszarze znajdującym się pomiędzy punktem określony jako najpóźniejszy możliwy termin zakończenia czynności, a najszybszym możliwym terminem rozpoczęcia czynności.



Rys.7. Wpisanie harmonogramu realizacji nowego zamówienia. a) zajętość zasobów wynikająca z wyk. 1, b) zajętości zasobów wynikająca z zaimplementowania nowego zamówienia, c) alternatywna metoda zapisu obciążenia zasobów.

Dla niniejszego przykładu:

$$\Delta_1^i = (e_1^{MTSi} - s_1^{MTSi}) + (e_1^{Pi} - s_1^{Pi}) + (e_1^{MTOi} - s_1^{MTOi}) \quad (\text{w przykładzie 6 jednostek czasu})$$

$$\Delta_2^i = (e_2^{MTSi} - s_2^{MTSi}) + (e_2^{Pi} - s_2^{Pi}) + (e_2^{MTOi} - s_2^{MTOi}) \quad (\text{w przykładzie 5 jednostek czasu})$$

$$\Delta_3^i = (e_3^{MTSi} - s_3^{MTSi}) + (e_3^{Pi} - s_3^{Pi}) + (e_3^{MTOi} - s_3^{MTOi}) \quad (\text{w przyk\u0142adzie 8 jednostek czasu})$$

$$\forall j \in R_j, \exists t_j \in \left. \begin{matrix} s_j^k, \dots, b_j^k \\ l_j^k = 0 \end{matrix} \right\} \quad (2)$$

$$\exists m_j \in \langle s_j^k, \dots, s_j^k + \Delta l_j \rangle, \forall t_i \in \langle m_i, \dots, m_i + \Delta l_j \rangle, l_j^k = 0 \quad (3)$$

Formu\u0142a 2 gwarantuje, \u017ce istnieje okres, w kt\u00f3rym zas\u00f3b j jest nieobci\u0105zony
 Formu\u0142a 3 m\u00f3wi o tym, i\u017c na zasobie j istnieje okres czasu bezczynno\u015bci d\u0142u\u017cszy lub r\u00f3wny
 okresowi potrzebnemu do realizacji nowego zam\u00f3wienia na tym zasobie.

6. Wnioski

W artykule wskazano nowe podej\u015bcie do tematu harmonogramowania w systemach hybrydowych \u0142\u0105cz\u0105cych MTS, Projekty i MTO. Przedstawiony spos\u00f3b harmonogramowania oparty jest o za\u0142o\u017cenia Teorii Ogranicze\u0144. W ma\u0142ych i \u015brednich przedsi\u0119biorstwach, walcz\u0105cych o ka\u017cde zam\u00f3wienie niezb\u0119dne jest stosowanie metod harmonogramowania produkcji charakteryzuj\u0105cy si\u0119 elastyczno\u015bci\u0105, przejrzysto\u015bci\u0105 oraz w miar\u0119 nisk\u0105 pr\u0105c\u00f3ch\u0142ono\u015bci\u0105 uwzgl\u0119dniaj\u0105cych liczne ograniczenia zasob\u00f3w wyst\u0119puj\u0105cych w zwi\u0105zku z produkcj\u0105 realizowan\u0105 w systemie hybrydowym. Przedmiotem dalszych rozwa\u017ani\u0105 b\u0119d\u0105 kwestie harmonogramowania zasob\u00f3w z uwzgl\u0119dnieniem ich cz\u0119\u015bciowego obci\u0105\u017cenia tzn. zasob\u00f3w kumulacyjnych w systemach hybrydowych, kt\u00f3re w danej jednostce czasu mog\u0105 realizowa\u0107 kilka czynno\u015bci r\u00f3wnocze\u015bnie. Liczba realizowanych zada\u0144 jest ograniczona pojemno\u015bci\u0105 danego zasobu.

Literatura

1. Smutnicki C., „Algorytmy szeregowania zada\u0144”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroc\u0142awskiej, Wroc\u0142aw, 2012.
2. Graham K. Rand, “Critical chain: the theory of constraints applied to project management”. International Journal of Project management, 18, 2000
3. Sko\u0142ud B., Bro\u0142 J., „Harmonogramowanie w \u015bredowisku wieloprojektowym”, Komputerowo zintegrowane zarz\u0105dzenie. T. 2. Pod red. Ryszarda Knosali. Opole : Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarz\u0105dzania Produkcj\u0105, 2007, s. 327-336,
4. <http://productlabs.co/zarzadzanie-projektami-trojkat-ograniczen/>
5. Sko\u0142ud B., Zientek A., Complex Products Design and Manufacturing, Modelovani a optimalizace prodnikovyh procesu. MOP, Plzen, Czechy, 23-24.01.2003. [2003], s. 93-96
6. Sko\u0142ud B., Zientek A., The role of constraints driven project management, Computer integrated manufacturing. Advanced design and management, Wydaw. Naukowo-Techniczne, 2003, s. 642-649
7. Krystek J., Trznadel T., Zastosowanie algorytmu DBR Teorii Ogranicze\u0144 do planowania produkcji. Przegl\u0105d elektrotechniczny, R.88, Nr10b, 201
8. Goldratt E., Cel: doskona\u0142o\u015b\u0107 w produkcji, Wyd. Werbel Warszawa 2000
9. Goldratt E. \u0141a\u0144cuch krytyczny: Projekty na czas, Wyd. Mint, Warszawa, 2009
10. Rand G.K., Critical chain: the theory of constraints applied to project management. International Journal of Project Management 18, 2000
11. Maruf A., Scheduling Method for MTS/MTO Production System, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 114, 2016
12. Ciu-Chi Wei, Ping-Hung Liu, Resource-constrained project management using enhanced theory of constraint, International Journal of Project Management 20, 2002

13. Gordon J., Tulip A., Resource scheduling, International Journal of Project Management, Vol. 15, No. 6, 1997
14. Mabin V., Balderstone S., The performance theory of constraints methodology, International Journal of operations and Production Management, Vol. 23, No. 6, 2003

Mgr inż. Agnieszka SZOPA
Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych
Oddział Materiałów Ogniotrwałych
44-100 Gliwice, ul. Toszecka 99
Tel.:(032) 270 18 34
e-mail: a.szopa@icimb.pl

Prof. dr inż. Bożena SKOŁUD
Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych
i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania
Politechnika Śląska
44-100 Gliwice, ul. Konarskiego 18A
tel.: (032) 237 12 19
e-mail: bozena.skolud@polsl.pl