



ZASTOSOWANIE METOD TEORII OGRANICZEŃ I DYNAMICZNEGO GRUPOWANIA ZADAŃ DO WSPOMAGANIA PLANOWANIA PROCESÓW OBRÓBKII CIEPLNEJ

Janusz Mleczeko

University of Bielsko-Biala, Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science, Poland

Corresponding author:

Janusz Mleczeko

University of Bielsko-Biala

Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science

Department of Industrial Engineering

Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Poland

phone: (+48) 33827253

e-mail: jmleczeko@ath.bielsko.pl

APPLICATION OF THEORY OF CONSTRAINTS AND DYNAMIC TASKS GROUPING TO SUPPORT HEAT TREATMENT PROCESSES PLANNING

ABSTRACT

Support of planning heat treatment processes in small batch production is very complex. In the analysed case, the bottlenecks of the processes were located on heat treatment. The difficulty in planning is due to necessity of adapting available resources to changing demand requirements. In the conditions of unit production crucial role plays changeovers time, availability of resources and cost of processing. Due to NP- difficult nature of optimization a simplified method was used. It was a complex of theory of constraints and dynamic task grouping. This is one of the attempts to solve the supporting process production problem with a method enabling its practical use.

KEYWORDS

Process production planning, heat treatment, theory of constraints, dynamic task grouping.

1. Wprowadzenie

Od dłuższego czasu firmy działające na współczesnym rynku zmuszone są do oferowania szerokiej gamy produktów, tak aby spełnić wysokie i często zmienne wymagania klienta. Skróceniu uległy czasy oczekiwania klienta na wyrób. Klienci stali się bardziej wymagający i chcą zaspokojenia swoich indywidualnych potrzeb. Zamiast produkcji masowej przedsiębiorstwa realizują produkcję małoseryjną i jednostkową [1, 6, 11]. Dla wielu przedsiębiorstw oznacza to konieczność wprowadzania nowych metod planistycznych, tak aby uwzględniać kryterium czasu i kosztów. Dostosowanie systemu wytwarzania do zmiennych potrzeb klienta okazuje się niezbędne dla zachowania przewagi konkurencyjnej w wielu branżach.

W analizowanym systemie wytwarzania występuje obróbka cieplna. Wspomaganie planowania procesów wytwarzania, w których występują procesy obróbki cieplnej nie należą do prostych. W warunkach produkcji małoseryjnej i jednostkowej nie można, ze względów zarówno ilości przebrojeń jak i związanych z tym kosztów, tworzyć wsadów do pieca składających się tylko z jednego wyrobu czy też półproduktu. Występuje konieczność agregacji różnych wyrobów, dla których parametry obróbki cieplnej są zgodne.

W wielu przedsiębiorstwach, również małych i średnich (MŚP) wykorzystywane są informatyczne systemy wspomaganie zarządzaniem. Najczęściej są to systemy klasy ERP. Niemniej jednak w wielu MŚP zakres wspomaganie procesów planistycznych w stosowanych systemach informatycznych jest niewystarczający i nie uwzględnia wspomaganie bardziej zaawansowanych procesów wytwarzania [6, 8]. Autor podjął się rozwiązanie problemu poprzez zastosowanie hybrydy metod TOC (ang. *Theory of Constraints* – teoria ograniczeń) i dynamicznego grupowania.

Artykuł posiada następującą strukturę: najpierw, analizowany problem został pokrótce opisany, później zaprezentowano przykład ilustrujący zagadnienie. Główną część artykułu stanowi opis rozwiązania problemu. Artykuł zamykają zauważone w trakcie realizacji wnioski.

2. Geneza problemu

W dużych firmach produkujących jednolite wyroby, dostawcy i odbiorcy są znani i realizują swoje zobowiązania wg ściśle określonego, zazwyczaj powtarzalnego harmonogramu, nazywanego również harmonogramem wzorcowym. W takim przypadku łatwiejsze jest zarządzanie zarówno wewnątrz przedsiębiorstwa, jak i rów-

niez zarządzanie łańcuchem dostaw [1]. Wokół nich tworzą się małe i średnie przedsiębiorstwa, produkujące zarówno elementy jak i podzespoły na ich potrzeby. Najczęściej w tego rodzaju przedsiębiorstwach realizowana jest produkcja zmienna, wieloasortymentowa i wersyjna realizowana w układzie małoseryjnym i jednostkowym [10, 13].

Wymogi współczesnego rynku MŚP powodują skrócenie okresu oczekiwania klienta na produkt z czym jest również związane skrócenie czasu podejmowania decyzji. Konieczność szybkiego podejmowania decyzji zmusza MŚP do poszukiwania odpowiednio wydajnych i utylitarnych metod zaimplementowanych w systemach informatycznych wspomagających proces decyzyjny. W warunkach produkcji jednostkowej i małoseryjnej ze względu na skrócenie horyzontu planistycznego często proces decyzyjny musi opierać się o dane szczebla operacyjnego.

W odpowiedzi na pojawiający się problem znalezienia kompromisu między wykorzystaniem zdolności produkcyjnych, minimalizacją kosztów utrzymywania wyrobów gotowych w magazynie i terminowością wykonywania zleceń ciągle poszukuje się odpowiednio wydajnej metody, która będzie wspierała proces decyzyjny na szczeblu operacyjnym, generowała zlecenia i harmonogramy wytwarzania wystarczająco dobre z punktu widzenia procesu decyzyjnego.

Kombinatoryczny charakter możliwych wariantów organizacji przepływu produkcji praktycznie uniemożliwia rozwiązanie tego problemu w sensie ilościowym, co oznacza w zasadzie brak możliwości uzyskania rozwiązania optymalnego w dopuszczalnym horyzontie czasowym [13].

Rezygnacja z metod poszukiwania rozwiązań metodą przeglądu zupełnego skłania do poszukiwania innych utylitarnych metod. Przykładem teorii, a w zasadzie praktycznych wskazówek znajdujących zastosowa-

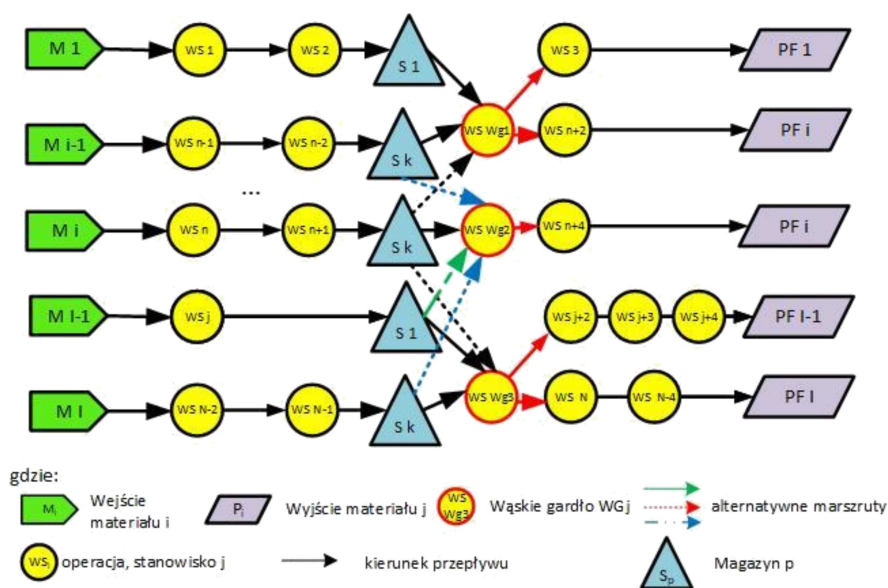
nie praktyczne, jest TOC stworzona końcem XX wieku przez E. Goldratta. Powszechnie obserwowane, limitowane zyski przedsiębiorstw stanowią najlepszy dowód na to, że pewne ograniczenia zawsze w nich występują [3–5]. Podstawowa różnica między TOC a innymi podejściami polega na tym, że wg TOC zasoby krytyczne stanowią punkty, wokół których koncentruje się działalność organizacji [8, 14]. Zadaniem zarządzania organizacją wytwarzania jest minimalizacja ich oddziaływań na przebieg procesów.

Po procesie identyfikacji wąskiego gardła, drugim z elementów proponowanej przez TOC metody jest maksymalizacja eksploatacji „wąskiego gardła”. W prezentowanym podejściu ten krok jest realizowany poprzez grupowanie dynamiczne zadań pozwalające zredukować ilość przebrojeń.

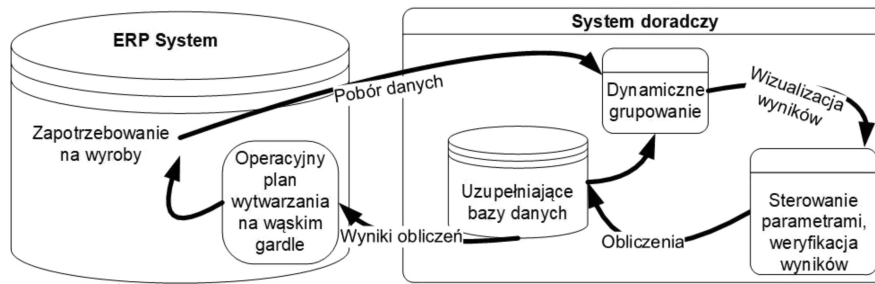
Badania z zakresu zarówno teorii ograniczeń jak i grupowania są nadal aktualne [2, 7, 9, 13, 15]. Przegląd literatury TOC wg [7] wskazuje na ponad 200 pozycji. Również literatura z zakresu grupowania zadań i technologii obróbki grupowej jest obszerna [2, 9]. Brak natomiast w literaturze praktycznych przykładów połączenia obu metod.

3. Definicja problemu

System przedstawiony na rys. 1 składa się z kilku linii produkcyjnych różnych komponentów dla których wymagana jest obróbka cieplna. Operacje w procesie przed wąskim gardłem realizowane są wg metody „pull”. Wąskie gardło pełni rolę synchronizującą proces. Obróbka cieplna realizowana jest w piecach będącymi wąskimi gardłami procesu (WG_i). Przed wąskim gardłem występuje buforowanie (S_k) umożliwiające grupowanie zadań obróbki cieplnej. Po przejściu wąskiego gardła operacje (WS_j) realizowane są wg metody „push”. Możliwe są alternatywne przebiegi procesów.



Rys. 1. System wytwarzania.



Rys. 2. Ogólna koncepcja rozwiązania.

Dla w/w systemu wytwarzania zaprezentowanego na rys. 1 należy rozwiązać następujący problem:

- 1) dla danego zapotrzebowania stworzyć operacyjny plan wytwarzania wyrobów uwzględniający dostępność zasobów odnawialnych i nieodnawialnych,
- 2) po stworzeniu planu operacyjnego zapewnić spełnienie warunku możliwości wytwórczych z zapotrzebowaniem klienta.

4. Rozwiązanie problemu

Przyjęto założenie, zgodne z TOC, o sterującej systemem roli wąskiego gardła. Proponowane rozwiązanie opiera się na zastosowaniu na wąskim gardle dynamicznego grupowania z wykorzystaniem dostępnych danych gromadzonych przez system klasy ERP. Wprowadzono dodatkowy zbiór danych wykorzystany w procesie grupowania oraz procedury generujące operacyjny plan wytwarzania na wąskim gardle (rys. 2) [8, 9].

Idea grupowania dynamicznego opiera się na następujących założeniach. Zadania (operacje) mające być wykonywane na wąskim gardle podlegają 3 stopniowemu grupowaniu:

- 1) klasyfikacja wg wzorca,
- 2) tworzenie podgrup technologicznie podobnych z uw-

zględnieniem kryterium zakresu grupowania – tworzenie podgrup,

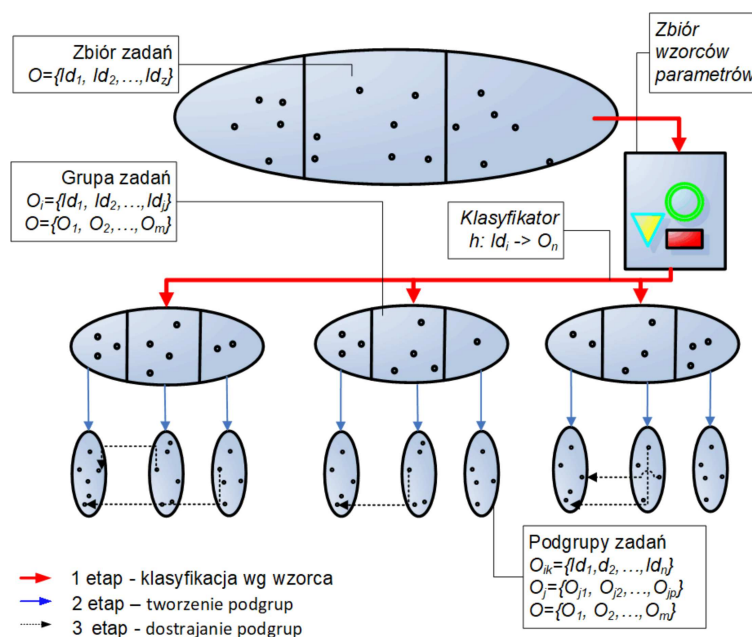
- 3) dostrajanie grup – przesunięcia elementów pomiędzy podgrupami lub/i dobieranie dodatkowych elementów zgodnych ze wzorcem (w klasyfikacji pierwszego kroku).

4.1. Klasyfikacja wg wzorca

W pierwszym kroku metody dokonuje się podziału grup stanowisk na typy jednorodne pod względem parametrów mających wpływ na przebrojenia. Dla każdego elementu zbioru typu zasobów $M = \{m^1, \dots, m^a, \dots, m^A\}$ dokonywany jest wybór parametrów mających wpływ na czasy przebrojeń. Dla elementów zbioru zasobów, grup stanowisk jednorodnych pod względem technologicznym, przyporządkowany jest odpowiadający im zbiór parametrów (P):

$$\begin{aligned}
 P^1 &= \{P_1^1, \dots, P_x^1, \dots, P_X^1\}, \dots, P^a \\
 &= \{P_1^a, \dots, P_x^a, \dots, P_X^a\}, \dots, P^A \\
 &= \{P_1^A, \dots, P_x^A, \dots, P_X^A\},
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

gdzie P_x^a – parametr mający istotny wpływ na czas przebrojenia stanowiska typu a , x – identyfikator parametrów, X – liczba parametrów.



Rys. 3. Grupowanie dynamiczne.

Sam przydział parametrów nie jest wystarczający. Należy również podać wpływ powyższego parametru na skrócenie czasu przezbrojenia. Powyższy wpływ trudno będzie w niektórych przypadkach określić w logice zerojedynkowej. W trudniejszych przypadkach można posiłkować się logiką rozmytą. Powyższe parametry będą stanowiły podstawowe kryterium przy klasyfikacji i tworzeniu grup. Samo kryterium może przybierać wartości statyczne, ale przynależność danego zadania do grupy nabierze charakteru dynamicznego, zależnego od cech organizacyjnych i istniejących ograniczeń.

Zbiór parametrów (P) opisujących operację procesu wytwarzania mającą wpływ na czas przezbrojenia grupy stanowisk M^a stanowi:

$$P^a = \{p_x^a\}_{x=1, \dots, X}. \quad (2)$$

Każdy z parametrów p_x^a należący do zbioru P^a jest opisany jest przez dwójkę:

$$p_x^a = (va_x^a, ie_x^a), \quad (3)$$

gdzie va_x^a – oznacza wartość parametru x dla grupy stanowisk M^a , ie_x^a – wpływ parametru x na czas przezbrojenia stanowiska M^a ,

$$va_x^a \in VA_x^a, \quad (4)$$

gdzie VA_x^a – zbiór wartości parametrów x dla grupy stanowisk M^a .

Oprócz wyboru parametrów należy również dokonać ograniczeń przy grupowaniu. Zasadniczym ograniczeniem przynależności do grupy będzie kryterium czasowe definiujące zakres grupowania. Zadania o planowanym terminie wykonania odległym od terminu wykonania pierwszego zadania mogą zostać odrzucone z przynależności do grupy.

Formalnie problem może być przedstawiony następująco: dla danego zbioru danych, $\{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$, tworzony jest klasyfikator $h: X \rightarrow Y$, który przyporządkowuje każdy obiekt $x \in X$ do etykiety klasyfikacyjnej $y \in Y$ w przypadku spełnienia warunku klasyfikacji. Utworzone zostaną zbiory Go_1, Go_2, \dots, Go_m przy czym $Go_i = \{Id_1, Id_2, \dots, Id_z\}$. Grupy mają charakter rozłączny przy czym dowolne $Go_i \subseteq Go$, oraz

$$\bigcup_i Go_i = Go, \quad (5)$$

przy czym $\forall i, k \in Id$ spełniony jest warunek $Go_i \cap Go_k = \emptyset$.

Przynależność elementów zbioru zadań Id_i do zbioru grup Go_i jest funkcją zależną od parametrów P :

$$Id_i \in Go_n : F(P). \quad (6)$$

Zbiór zadań zostaje podzielony na tyle klas ile jest etykiet $y_i \in \{1, 2, \dots, g\}$, gdzie etykieta jest unikalna wartość parametru mającego silny wpływ na czas przezbrojeń.

W przypadku analizowanego systemu zasadniczy i wykluczający włączanie do zbioru wpływ mają parametry obróbki cieplnej wsadu: temperatura wygrzewania, czas wygrzewania oraz możliwości technologiczne

danego pieca. W takim przypadku będzie tworzonych tyle grup ile będzie unikanych wartości iloczynu kartezjańskiego zbiorów wartości parametrów $P_1 \times P_2 \times \dots \times P_x$.

W tabeli 1 podano przykłady danych wejściowych zbiorów parametrów.

Tabela 1
Parametry wejściowe do 1 poziomu grupowania.

Wyrób	Wartość zbioru parametrów	Możliwości technologiczne
W1	PAR 01 11 min	WG-052
W2	PAR 01 11 min	WG-052
W3	PAR 01 8 min	WG-011, WG-014
W4	PAR 06 12 min	WG-006
W5	PAR 01 11 min	WG-052

W analizowanym przykładzie na pierwszym poziomie klasyfikacji zostaną utworzone 3 grupy $Go_1 = \{W1, W2, W5\}$, $Go_2 = \{W3\}$, $Go_3 = \{W4\}$. Dodatkowo względy technologiczne pozwalają wykonywać obróbkę cieplną dla wyrobu W3 w alternatywnych przebiegach procesu na stanowisku WG-011, WG-014, co również musi być uwzględnione w algorytmie tworzenia grup.

4.2. Tworzenie podgrup technologicznie podobnych z uwzględnieniem kryterium zakresu grupowania

Na tym etapie klasyfikacji następuje dalszy podział grup na podgrupy. Utworzone zostaną zbiory $\forall i \in \{1, 2, \dots, m\} Go_i = \{Go_{i1}, Go_{i2}, \dots, Go_{ip}\}$ przy czym $Go_{ix} = \{Id_{x1}, Id_{x2}, \dots, Id_{xz}\}$. Grupy mają charakter rozłączny przy czym dowolne $Go_{ix} \subseteq Go_i$, $Go_i \subseteq Go$, oraz

$$\bigcup_{ix} Go_{ix} = Go_i, \quad \bigcup_i Go_i = Go, \quad (7)$$

przy czym $\forall i, k \in Id$ spełniony jest warunek $Go_i \cap Go_k = \emptyset$ oraz $\forall i, k \in Id$ spełniony jest warunek $Go_{ix} \cap Go_{kx}$.

Przynależność elementów zbioru zadań Id_{ix} do zbioru grup Go_{ix} jest funkcją zależną od parametrów $P : \{Id_{ix} \in Go_{ix} : F(p)\}$. Na tym etapie klasyfikacji najważniejszą rolę odgrywają parametry organizacyjne $P_{20}, P_{21}, P_{22}, P_{23}, P_{24}$. Pełnią one rolę ograniczeń wprowadzających granicę przyporządkowania.

Tabela 2
Parametry dla grupowania drugiego poziomu.

Parametr	Opis
P20	Priorytet zlecenia
P21	Planowany termin dostawy
P22	Uwolnienie operacji
P23	Opóźnienie zlecenia w planie
P24	Dodatkowe ograniczenia związane z dostępnością narzędzia lub oprzyrządowanie

W analizowanym przykładzie parametr P22 uwzględnia dostępność operacji obróbki cieplej, tzn. weryfikuje czy poprzednie operacje zostały wykonane.

Ze względu na synchronizującą rolę wąskiego gardła przyjęto, że nie wymaga on analizy w trakcie tworzenia grup. Ograniczenie z niego wynikające jest spełnione przez sprzężenie zwrotne w procesie. Tym sprzężeniem zwrotnym jest rejestracja splywu produkcji w systemie ERP. Na szczególną uwagę w analizowanym przykładzie zasługuje parametr P24 wprowadzające dodatkowe ograniczenia związane z dostępnością narzędzia. Wsad może być realizowany tylko w dedykowanym dla danego wyrobu oprzyrządowaniu. Ze względu na gabaryty do jednego wsadu może wchodzić od 6 do 8 form, przy czym dany wyrób posiada zazwyczaj 1 do 2 form. Nie jest więc możliwe tworzenie jednorodnego, składającego się tylko z jednego wyrobu wsadu, ze względu na ograniczenia ilości form.

Przykładowe dane wejściowe do 2 poziomu grupowania przedstawia tabela 3.

Tabela 3
Parametry wejściowe do 2 poziomu grupowania.

Wyrób	Zap. A	Zap. B	Prior	Min data dostawy	Ilość form	Max ilość form w piecu
W1	0	100	2		2	6
W2	800	800	1	7.15	1	6
W3	100	0	1		2	8
W4	600	100	1	7.16	2	8
W5	0	100	3		1	6

Wdrożenie powyższej metody w praktykę produkcyjną wymagało stworzenia tzw. zleceń procesowych, gdzie powstawał mix produktów w jednym wsadzie do pieca uwzględniający wprowadzone ograniczenia dostępności zasobów. Jako jednostkę planistyczną przyjęto 1 zmianę. Za okres agregacji przyjęto zapotrzebowanie tygodniowe. Przyjęto, że planowanie przebiega codziennie, obejmując okres tygodniowy. Weryfikacja całości procesu planistycznego, uwzględniającego również powstałe niezgodności w procesie realizowana jest poprzez rejestrację produkcji przeprowadzana w systemie ERP. Częstość rejestracji z punktu widzenia procesu planistycznego nie może być mniejsza niż zmianowa. W praktyce, z innych powodów, odbywa się w trybie „on line”. Nie jest to wymóg konieczny do zastosowania proponowanej metody w praktyce.

The screenshot shows a software interface for process orders. At the top, there are fields for 'Kategoria Symbol', 'Lp', 'Nr zlecenia', 'Nazwa zlecenia', and 'Są elementy'. Below this, there are fields for 'T11', '0035', '006', 'PAR 01 11 min', and 'PR 001'. A 'Proces' field is set to 'Proces' and the 'Data wystaw:' is '26.08.2019'. There are tabs for 'Indeks', 'Ulice', 'Zam', 'Plan', 'MRP', 'KJM', 'Braki', and 'Nr rysunku'. Below the tabs, there are fields for 'PROCES' and 'Proces'. At the bottom, there are tabs for 'Podstawowe', 'Pomocnicze', 'Przewodniki', 'Struktura', 'Cykl prod.', 'Koszty', 'Marszruta', and 'Gantt'. The main area shows a tree view of resources. The root is 'PROCES .. Proces .. Produkcja na: 1 BJ .. P:001 .. Termin: 26.08.2019 12:52:51'. Underneath, there are three 'REZERWA .. Do podmiany (wolne gniazdo) .. Uzyskamy: 100 KPL' items, each with a blue arrow icon.

Rys. 4. Zlecenie procesowe w systemie doradczym.

Na tym etapie nie jest możliwe takie utworzenie zleceń procesowych dla obróbki cieplnej aby zapewnić peł-

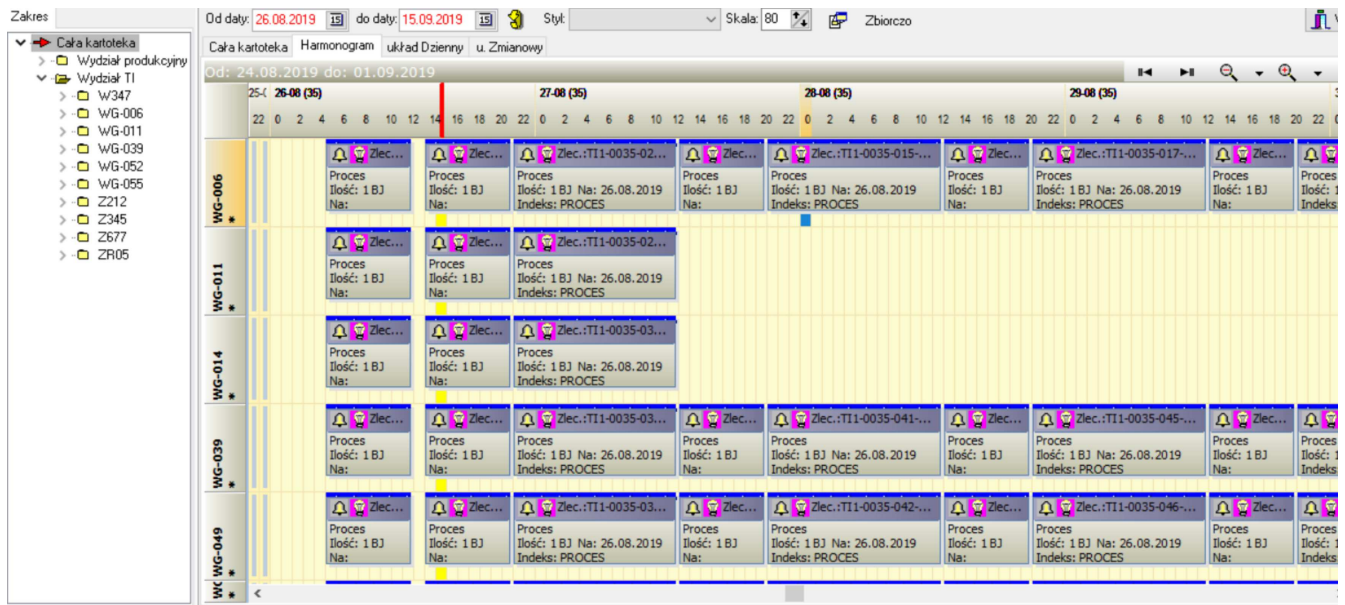
ne wykorzystanie wszystkich gniazd. Na tym etapie powstaje „REZERWA” – puste gniazdo (rys. 4). Puste gniazdo może takim pozostać – ale wtedy występuje niepełny wsad, system wytwarzania pracuje się na niższej wydajności. Patrząc na to z punktu widzenia „wąskiego gardła” nie jest to sytuacja pożądana. Rozwiązaniem jest wprowadzenie 3 poziomu grupowania.

4.3. Dostrajanie

Pierwsze dwa etapy polegały na stworzeniu grup i podgrup, dla których klasyfikacja odbywała się wg zgodności parametrów technologicznych $P_1 \div P_{19}$. W przypadku obróbki cieplej będzie to zgodność parametrów: temperatury, czasu wygrzewania przy zachowaniu ograniczeń organizacyjnych ($P_{20} \div P_{24}$). Kolejną fazą to dostrajanie. Dostrajanie grupowania odbywa się na wynikach grupowania przeprowadzonego w dwóch pierwszych etapach. Brane są pod uwagę dodatkowe warunki powodujące przesunięcia elementów zbioru w ramach jednej grupy pomiędzy podgrupami. Powyższego zadania nie można było zrealizować w kroku drugim, ponieważ parametry ograniczające grupowanie były natury organizacyjnej. W tej fazie dokonuje się przesunięć w obrębie sąsiadujących podgrup, weryfikując wynik grupowania dodatkowym ograniczeniem. Dla każdej grup analizowane są te podgrupy, które zostały uporządkowane na początku kolejki, czyli te, które powinny być wykonywane w pierwszej kolejności. W poprzedniej fazie zostały one oznaczone numerami początkowymi $Go_{k1}, Go_{(k+1),1}$. Dodatkową trudność może sprawiać brak danych będących podstawą do optymalizacji w klasycznej strukturze danych pakietu ERP. Często, aby wykonać ten etap musi nastąpić poszerzenie zestawu danych o parametry konieczne do powyższej analizy. W wyniku działania powyższej fazy nawet całe skupienia podgrup mogą zaniknąć i przesunąć się do podgrupy o indeksie poprzedzającym.

W praktyce etap ten można przeprowadzić na kilka sposobów. Najprostszy, ale najbardziej pracochłonny to ręczna ingerencja planisty w stworzony automatycznie plan. Możliwe jest to z „ekranu planisty” zawierającego wizualizację automatycznie utworzonego planu operacyjnego (rys. 5).

Drugi bardziej wydajny sposób polega na automatycznym dostrajaniu w oparciu o następujący algorytm. Wsady do pieców, w których występuje niepełne wypełnienie („REZERWA” z rys. 4) zostają podmienione – uzupełnione z dostępnych zleceń o zgodnych parametrach obróbki cieplnej ale o późniejszym (powyżej zadanego okresu agregacji pierwotnej) terminie zapotrzebowania. Dodatkowo dla niektórych przypadków wyrobów, o powtarzającym się cyklicznie zapotrzebowaniu, zastosowano możliwość odbudowy planowanego zapasu magazynowego. W algorytmie dostrajania uwzględniono również priorytety realizacji oraz dostępność materiałów czy też wykonanie poprzednich operacji w procesie.



Rys. 5. Zlecenie procesowe w systemie doradczym.

5. Wnioski

W warunkach produkcji małoseryjnej i jednostkowej wspomaganie systemem informatycznym procesu decyzyjnego zarządzania jest w wielu przypadkach niewystarczające. Wynika to zarówno z przyjmowanych założeń modelu zarządzania jak i niewydolności stosowanych algorytmów, czy też nieznaomości pełnej funkcjonalności stosowanych aplikacji. Wpływ na taki stan ma duża zmienność czynników planistycznych oraz wielosortymentowość wyrobów. W procesach organizacji i zarządzania produkcją, znaczna część przedsiębiorstw produkcyjnych wykorzystuje w praktyce produkcyjnej systemy klasy ERP. Zastosowanie systemów tej klasy w obecnych warunkach rynkowych w tradycyjnej formie często staje się niewystarczające. Tradycyjne obszary zastosowania tego rodzaju systemów jak finanse, gospodarka materiałowa muszą być znacznie poszerzone w obszarze zarządzania produkcją a w szczególności w planowaniu operacyjnym procesów wytwarzania. Obecna sytuacja rynkowa zmusza firmy do skracania cykli wytwarzania wyrobów, produkowanych w coraz mniejszych partiach a jednocześnie do redukcji kosztów oraz skracania czasu dostępności wyrobów. Odpowiedzią na te wymagania jest zmiana parku maszynowego, organizacji i technik wytwarzania oraz włączenie w proces decyzyjny systemów informatycznych na poziomie operacyjnym.

Najistotniejszą zmianą w obszarze systemów ERP jest rozpoczęcie traktowania ich nie, jako aplikacji docelowych, samoistnie działających, ale jako warstwy pośredniej, umożliwiającej działanie systemów wspomagających zarządzanie w obszarze operacyjnego zarządzania produkcją. Systemy klasy ERO stały się bardziej otwarte, umożliwiając budowę rozwiązań dedykowanych, specyficznych dla poszczególnych przedsiębiorstw.

Nową jakością jest wspomaganie decyzji na szczeblu operacyjnym w trybie „on line”. Systemy klasy ERP dostarczają wystarczającą dobrą kontenera danych, który może być wykorzystany w procesach bardziej zaawansowanych metod wspomaganie. Zastosowana metoda przyniosła oczekiwane rezultaty. Zastosowano uproszczenie, które w warunkach praktycznych nie obniżyło w znaczącym stopniu jakości planowania. Zastosowana metoda pozwala skrócić procesy planowania produkcji procesowej w warunkach wąskiego gardła ulokowanego na operacji obróbki cieplnej. Obecnie poszukiwane są dalsze rozwiązania wspomaganie procesów planistycznych mogące znaleźć zastosowanie praktyczne pozwalające na stosowanie uproszczeń, możliwych do zastosowania w systemach komputerowych i skracające pracochłonność realizacji procesów planistycznych.

Zarówno przeprowadzone badania jak i praktyka produkcyjna dowiodły użyteczności proponowanych rozwiązań.

Literatura

- [1] Banaszak Z., Kłos S., Mleczko J. *Zintegrowane systemy zarządzania*, PWE Warszawa, 2016.
- [2] Delgoshai A., Ali A., *Evolution of clustering techniques in designing cellular manufacturing systems: A state-of-art review*, International Journal of Industrial Engineering Computations, 10(2), 177–198, 2019.
- [3] Goldratt E., *Cel. Doskonałość w produkcji*, Werbel, Warszawa, 2002.
- [4] Goldratt E.M., *Cel II. To nie przypadek*, Wydawnictwo Mintbooks, Warszawa, 2007.
- [5] Goldratt E.M., Cox J., *Cel I. Doskonałość w produkcji*, Wydawnictwo Mintbooks, Warszawa, 2007.

- [6] Gunia G., *Zintegrowane systemy informatyczne przedsiębiorstw w kontekście Przemysłu 4.0*, Enterprise Management, 22(2), 7–12, 2019.
- [7] Ikeziri L.M., Souza F.B.D., Gupta M.C., de Camargo Fiorini P., *Theory of constraints: review and bibliometric analysis*, International Journal of Production Research, 1–35, 2018.
- [8] Linhares A., *Theory of constraints and the combinatorial complexity of the product-mix decision*, Int. J. Production Economics, 121, 121–129, 2009.
- [9] Maqtary N., Mohsen A., Bechkoum K., *Group formation techniques in computer-supported collaborative learning: A systematic literature review*, Technology, Knowledge and Learning, 24(2), 169–190, 2019.
- [10] Matuszek J., *Inżynieria produkcji*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej filii w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała, 2000.
- [11] Mleczko J., *Dynamic classification of tasks in condition of unit and small batch production*, Management and Production Engineering Review, 1(3), 41–55, 2010.
- [12] Mleczko J., *Manufacturing Processes Creating with Use of Dynamic Classification in Conditions of Unit and Small-batch Production: (monograph)*, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku Białej, 2014.
- [13] Skołud B., *Zarządzanie operacyjne*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2006.
- [14] Watson K.J., Blackstone J.H., Gardiner S.C., *The evolution of a management philosophy: The theory of constraints*, Journal of Operations Management, 25, 387–402, 2007.
- [15] Zupancic D., Buchmeister B., Aljaz T., *Reducing the Time of Task Execution with Existing Resources – Comparison of Approaches*, International Journal of Simulation Modelling, 16(3), 484–496, 2017.