

SZEREGOWANIE ZADAŃ W SKRZYŃCE PLANISTYCZNEJ GNIAZDA STYMULATORA

Iwona WOSIK

Streszczenie: W artykule przedstawiono koncepcję poziomowania produkcji ciągłej rozumianą jako: dobór wielkości produkcji, utrzymanie ciągłego przepływu operacji i regulowanie ilości pracy, związanej z wykonaniem zadań w gnieździe. W pracy opisano problem szeregowania zadań w produkcji na zlecenie, która utrzymuje charakter produkcji ciągłej. Do problemu szeregowania zadań zastosowano algorytm immunologiczny, który znajduje harmonogram z terminowo wykonanymi zadaniami.

Słowa kluczowe: szeregowanie zadań, algorytmy immunologiczne, Lean production.

1. Wstęp

Toyota Motor Corporation jest czołowym producentem samochodów, a od lat jest przedmiotem obserwacji i wzorem do naśladowania. Toyota osiągnęła swój sukces nie przez zakup nowych maszyn i technologii, ale dzięki reorganizacji procesów produkcyjnych i ludzi. Konkurencyjne jest zatem to przedsiębiorstwo, które, dysponując takimi samymi zasobami, potrafi zorganizować produkcję zapewniającą lepsze spełnienie oczekiwań klienta niż to zapewnia konkurent.

Toyota wprowadziła proces ciągłej poprawy „kaizen”. Kaizen jest to metoda ciągłej poprawy jakości i wydajności pracy przy pomocy małych kroków, co oznacza nieustanne ulepszanie, polegające na codziennym wprowadzaniu nawet drobnych poprawek. Ucząc się od prekursora przedsiębiorstwa powinny angażować wszystkich pracowników w proces poprawy jakości, co pozwala na szybką poprawę efektywności bez ponoszenia znacznych inwestycji.

Toyota dostrzegła, że maszyny, mają różne stopnie wydajności, dlatego musi być ustalony plan, wg którego będą najlepiej wykorzystywane. Wszelka nadprodukcja jest „marnotrawstwem”. W Toyocie produkcja jest inicjowana w zależności od tego, co się wydarzy na następnym stanowisku (lub zostało sprzedane do odbiorcy). Kanban jest częścią podejścia JIT, które jest skierowane na eliminowanie zapasów. Jest to samoregulujący się, zdecentralizowany system sterowania przepływem materiałów w sposób ssący, poczynając od montażu finalnego.

W Toyocie maszyny zostały poukładane zgodnie z sekwencją procesu, a nie zgrupowane ze względu na ich podobieństwo. Łączenie stanowisk w komórki odbywa się według kryterium specjalizacji przedmiotowej, które polega na zamknięciu w komórce całości procesu obróbki przedmiotu [1]. Pracownik nie obsługuje jednej maszyny, ale trzy i nie uczestniczy w jednym procesie produkcyjnym, ale w wielu. Pracownik obsługuje kilka stanowisk, aby zminimalizować konieczność wytwarzania nadwyżek części.

Usprawnienia wprowadzone w Toyocie pociągnęły za sobą konieczność wprowadzenia nowego sposobu planowania i harmonogramowania produkcji. Zadanie planowania i harmonogramowania produkcji sprowadza się do wyznaczenia optymalnych programów

produkcji wyrobów finalnych, obciążeń stanowisk oraz określania niezbędnych zapasów potrzebnych do realizacji tych programów z uwzględnieniem skali czasu [2].

W artykule tym, porównano system harmonogramowania produkcji za pomocą zasady FIFO, która inicjuje przepływ kart Kanban, z szeregowaniem partii zadań za pomocą algorytmu meta-heurystycznego: Algorytmu Immunologicznego Optymalizacji Wielokryterialnej (ang.: MOIA – Multi Objective Immune Algorithm). Scharakteryzowano produkcję, dla której możliwe jest zastosowanie obu metod. Przedstawiono przykład zastosowania MOIA dla szeregowania kart kanban w skrzynce planistycznej gniazda stymulatora (stymulator - segment strumienia wartości, w którym produkt przybiera ostateczną formę wymaganą przez klienta).

2. Poziomowanie produkcji

Przy projektowaniu struktury przedsiębiorstwa uwzględnia się zmiany technologiczne w korelacji z możliwościami produkcyjnymi – poziomowanie produkcji. Zmiany te polegają na przystosowaniu parametrów produkcyjnych do zdolności produkcyjnych, zmianie przydziału operacji do stanowiska roboczego bądź na synchronizacji minimalnych okresów powtarzalności dla poszczególnych stanowisk w celu zmniejszenia przerw w pracy na tych stanowiskach [3]. W tym artykule przez poziomowanie produkcji rozumie się dobór wielkości produkcji, utrzymanie ciągłego przepływu operacji i regulowanie ilości pracy, zleconej do tej kolejki.

Zakładając że popyt jest stały, uzależnienie tempa produkcji od wielkości zlecenia klienta pozwala zaspokoić potrzeby klienta. Przy stałym popycie czas taktu – to tempo w jakim klienci zamawiają gotowe wyroby - równa się ilorazowi całkowitego dostępnego czasu produkcyjnego na zmianie przez zamówienia klienta przypadające na zmianę [1]. Aby zapewnić zdolność do zaspokojenia wymagań klienta w przypadku większych wahań popytu, przyjmuje się stały czas taktu, który równa się ilorazowi całkowitego dostępnego czasu produkcyjnego przez średni długoterminowy popyt. Jeśli w linii produkcyjnej wykonywany jest jeden rodzaj produktu, problem harmonogramowania w praktyce nie występuje, gdyż przepływ jest zdeterminowany przez zaprojektowany proces.

Natomiast poziomowanie produkcji w sytuacji produkcji na zlecenie polega na utrzymywaniu przepływu FIFO przez operacje i starannym regulowaniu ilości pracy, zleconej do tej kolejki. Tym razem zamówienia nie są dzielone ze względu na klienta, ale z uwagi na przepustowość wąskiego gardła w kolejce FIFO. Wąskie gardło jest „ustawiaczem tempa” dla kolejki FIFO [1, 4]. W produkcji na zlecenie problem znalezienia kompromisu pomiędzy wykorzystaniem zdolności produkcyjnych, minimalizacją kosztów utrzymywania wyrobów gotowych w magazynie (zwanym supermarketem) i terminowością zleceń jest trudniejszy. Stosując regułę priorytetu FIFO nie rozwiązuje się problemu nieterminowych zleceń, a utrzymywanie wysokich zapasów magazynowych jest niepraktyczne. Przy często zmieniających się asortymentach, których wejście ma charakter losowy, do szeregowania zadań proponuje się zastosowanie algorytmów meta-heurystycznych. Niestety algorytmy te są czasochłonne ze względu na NP trudny charakter problemu, dlatego wciąż poszukuje się algorytmów sprawniejszych, które dostarczą rozwiązania w zdefiniowanym czasie. W pracy zastosowano MOIA dla problemu szeregowania zadań w produkcji na zlecenie, która utrzymuje charakter produkcji ciągłej.

3. Charakterystyka problemu

W odpowiedzi na pojawiający się problem znalezienia kompromisu pomiędzy wykorzystaniem zdolności produkcyjnych, minimalizacją kosztów utrzymywania wyrobów gotowych w magazynie (zwanym supermarketem) i terminowością zleceń poszukuje się metody, która będzie generowała harmonogramy z zadaniami nieopóźnionymi.

W artykule do rozwiązania problemu szeregowania zadań zaproponowano MOIA, który ocenia harmonogramy wg kryterium terminowości realizacji zleceń. Karty kanban są umieszczane w skrzynce planistycznej gniazda stymulatora wg kolejności wygenerowanej przez MOIA. MOIA jest biologicznym algorytmem optymalizacji, którego parametry oraz wartości progowe sterowane są przez systemy wnioskowania oparte na logice rozmytej. Zaproponowane systemy mają za zadanie wykorzystać wewnętrzne właściwości oraz umiejętności do przeszukiwania przestrzeni rozwiązań MOIA. Zaletą MOIA jest umiejętność równoważenia przestrzeni przeszukiwań z jakością znajdujących harmonogramów [5]. MOIA znajduje rozwiązanie w czasie zdefiniowanym przez decydenta. Kroki MOIA są przedstawione w [6].

W dalszych rozdziałach pracy scharakteryzowano zadania objęte problemem szeregowania, problem szeregowania zadań na linii oraz zastosowano MOIA dla problemu szeregowania zadań w produkcji na zlecenie, która utrzymuje charakter produkcji ciągłej.

4. Harmonogramowanie stymulatora

Zastosowanie produkcji ciągłej, która polega na przetwarzaniu i przekazywaniu części w gniazdach lub liniach produkcyjnych bezpośrednio z jednego stanowiska na drugie, po jednej sztuce (wielkość partii transportowej = 1) pozwala na:

- skrócenie czasu trwania produkcji (szybka reakcja na wymagania klienta);
- skrócenie czasu cyklu obrotu pieniądza;
- zminimalizowanie poziomu zapasów;
- szybkie wykrywanie braków;
- poprawę przepływu informacji między stanowiskami, które są połączone na zasadzie „klient - dostawca”.

Za słowami Dove Logozzo:

„Jeśli jesteś wyczulony na przepływ, będziesz łatwo dostrzegał marnotrawstwo” [4] dzisiejsze przedsiębiorstwa przyporządkowują wyroby do gniazd – tworzą rodziny produktów i realizują ciągłą produkcję. Sterowanie produkcją zamówień klienta odbywa się wyciągając z supermarketu pojemniki wyrobów gotowych i ustawiając je do wysyłki, karty kanban są wyciągane z pojemników i umieszczane w skrzynce planistycznej (tab. 3) gniazda stymulatora w odpowiedniej sekwencji dla każdego okresu wysyłki (np. co 4 h). Pracownik transportu wyciąga kanbany ze skrzynki w każdej podziałce (20 min) i dostarcza je do gniazda, aby zainicjować produkcję [4]. Problem szeregowania zadań w produkcji na zlecenie jest rozwiązywany zgodnie z zasadą FIFO – pierwsze weszło, pierwsze wyszło, którą rozumie się: zaspokojenie potrzeby klienta produktem A powoduje powstanie braku w supermarkecie, inicjowane jest więc zlecenie produkcyjne produktu A. Zasada FIFO sprawdza się przy małych wahaniami popytu. Problem pojawia się wówczas, gdy popyt jest zmienny, a koszty utrzymania dużych ilości wyrobów gotowych w supermarkecie kłócą się z zasadą likwidacji marnotrawstwa. Do rozwiązania problemu w pracy zaproponowano, aby zlecenia były szeregowane za pomocą MOIA, w którym kryterium oceny harmonogramów jest terminowość wykonania zadań.

5. Charakterystyka zadań w gnieździe

Po otrzymaniu zleceń, należy je przydzielić do gniazda produkcyjnego, tworząc rodzinę produktów. W procesie przyporządkowania właściwych wyrobów do stymulatora (tworzenia rodziny produktów), obowiązują następujące wskazówki [4]:

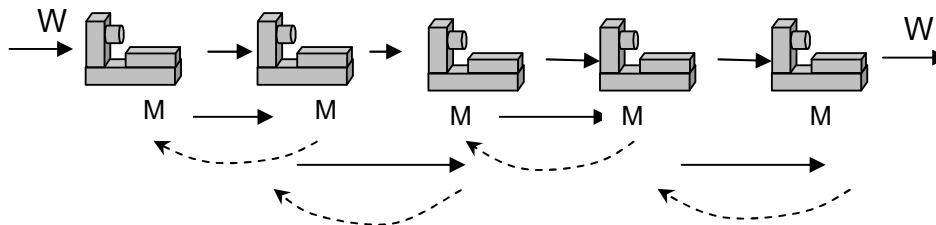
- jeśli popyt jest wystarczająco duży tworzone jest gniazdo dedykowane tylko jednemu produktowi. Wówczas nie występuje problem szeregowania zadań – problem, kolejki zadań przed zasobem;
- jeśli popyt na dane produkty jest zmienny i możliwe jest utrzymanie krótkich czasów przebrojeń, tworzone są gniazda produkujące kilka wyrobów. Całkowita wydajność gniazd jest taka sama, ale zdolność do reagowania na zmiany popytu jest lepsza;
- czas potrzebny operatorowi na obróbkę jednej części od początku do końca nie powinien różnić się między poszczególnymi wyrobami produkowanymi w gnieździe bardziej niż 30%. W przeciwnym przypadku trudno jest utrzymać przepływ i produktywność. W takim przypadku gniazdo jest dzielone, a niektóre rzadko lub w niewielkich ilościach produkowane wyroby przydzielane są do innych gniazd;
- kiedy operacje wymagane do wytworzenia różnych wyrobów gniazda różnią się (pomijane są pewne operacje) operatorzy muszą się często przestawiać wraz ze zmianą montowanego produktu. Zmniejsza to produktywność, zwiększa prawdopodobieństwo powstania problemów z jakością. Dlatego wyroby te produkowane są w osobnych gniazdach.

Problem harmonogramowania zadań w stymulatorze występuje, gdy zadania konkurują o dostęp do wspólnego, ograniczonego zasobu. Produkty są przydzielane w partiach (równych pojemności pojemnika transportowego), a każda zmiana produktu jest związana z koniecznością przezbierania urządzeń. Harmonogramem produkcji nazywać będziemy takie przyporządkowanie w czasie zadań do stymulatora, dla którego spełnione będą następujące warunki:

- w każdym czasie na maszynie wykonywana jest co najwyżej jedno zadanie,
- operacje są wykonywane w przedziale czasu wynikającym z tempa ustalonemu przez wąskie gardło,
- wszystkie zadania zostaną wykonane,
- wykonanie każdej pojedynczej operacji nie może być przerwane.

6. Charakterystyka przepływu zadań przez gniazdo

Wyroby należące do rodziny produktów mogą być wykonywane są na liniach stałych lub zmiennych, w zależności od ich podobieństwa technologicznego. W linii stałej (rys.1) każdy wyrób wymaga kolejnego wykonania operacji na kolejnych specjalistycznych maszynach. Każdy operator może obsługiwać dwie maszyny i przemieszczać się tam i z powrotem w każdym przedziale taktu. Kiedy operatorzy przechodzą do stanowiska w dół strumienia, przenoszą ze sobą części, przechodzenie w górę strumienia odbywa się bez części. Każdy operator dzieli czas taktu w takim samym stopniu między dwa stanowiska. Zaletą takiego podziału pracy jest to, że operatorzy przemieszczają się w tym samym czasie nadając tempo. Wadą jest to, że zabiegi muszą być równo podzielone w czasie taktu na każdym stanowisku [4].



Rys. 1. Czterech operatorów obsługuje pięć stanowisk w linii stałej

W odróżnieniu od linii stałej, linia zmienna umożliwia produkcję różnych technologicznie podobnych wyrobów, różniących się na przykład wymiarami, jednakże liczba i kolejność operacji, które są realizowane, musi być taka sama dla wszystkich tych elementów. Po zakończeniu serii wyrobów linia może zostać przebrojona i uruchamiana się w niej produkcję innych wyrobów. Okres pomiędzy rozpoczęciem pierwszego wyrobu dwóch kolejnych partii tego samego wyrobu nazywamy okresem powtarzalności.

Wyposażenie linii jest ustawiane w kształcie litery „U”, co minimalizuje przemieszczenia operatora. Zaletą takiego działania jest to, iż operator obsługujący wiele stanowisk rozumie realizowany proces i może wykazać się kreatywnością. Pracownicy wykonują różne kombinacje zabiegów oparte na pracy w poprzek gniazda. Każdy operator wykonuje część pracy trwającą przez czas bliski czasowi taktu.

7. Studium przypadku

Wyroby przyporządkowane do gniazda, przedstawia Tabela Rodzin Wyrobów - MRW (tab.1). Wyroby zacięniowane będą wykonane w gnieździe produkcyjnym. Wyroby pogrupowano w oparciu o podobną kolejność operacji i zbliżone czasy jednostkowe. Czasy jednostkowe operacji podane są w min. (tab. 1).

Wąskim gardłem jest Tokarka uniwersalna, operacja: toczyć zgrubnie trwa 12 min. Czas taktu wynosi więc 12 min. na szt. Tętno gniazda = czas taktu x liczba partii (12 szt. w pojemniku) = 144 min. = 2h 24min. Zmniejszenie podziałki czasowej (tętna gniazda) i szybsza reakcja na pojawiające się problemy umożliwia produkcję, bez potrzeby utrzymywania zapasów wyrobów gotowych.

Wielkość serii oraz termin realizacji zlecenia (w godzinach) przedstawione są w tab.1.

Problem polega na znalezieniu takiej kolejności wykonania zadań, która zapewni terminowe wykonanie zleceń. Przestrzeń możliwych rozwiązań wynosi $6! = 720$ rozwiązań.

Przyjęto, że wg zasady FIFO zlecenia wykonane byłyby w następującej kolejności: 1,5,3,2,4,6 wówczas całkowite opóźnienie wykonania zadań wynosiłoby 408 min. W przypadku kolejności: 3,2,1,6,4,5 opóźnienie wynosi 210 min, a dla 6,5,4,1,2,3 opóźnienie wynosi 54 min. Zastosowanie dla problemu szeregowania zleceń MOIA pozwoliło już w 4 pokoleniu znaleźć kolejność wykonania zadań, która gwarantuje terminowe ich wykonanie: 6,5,4,2,1,3. W kolejnych uruchomieniach algorytmu uzyskano kolejności: 2,6,4,1,5,3 i 2,5,1,6,4,3, które również gwarantują terminowe wykonanie zadań.

Zadania będą wykonane w gnieździe produkcyjnym, którego maszyny poukładane są w kształcie litery „U”, dzięki temu pracownik może obsługiwać do 3 maszyn. Rys. 2 przedstawia stanowiska, które obsługuje czterech pracowników: P1 – P4.

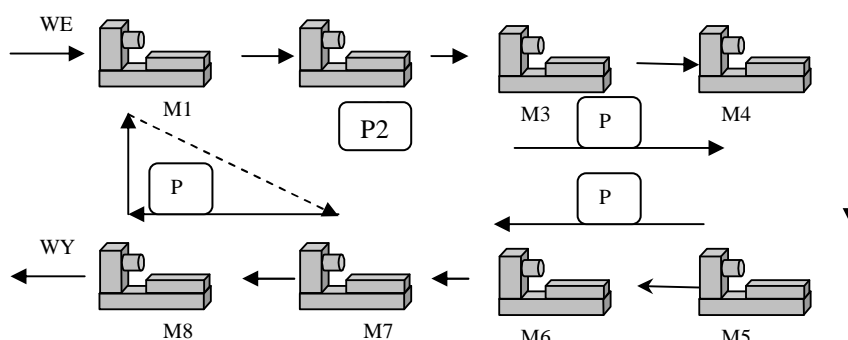
Tab. 1. Tworzenie rodziny wyrobów

Tabela Rodzin Wyrobów	Seria	Termin	Piła ramowa	Tokarka	Tokarka	Wiertarka	Dłutownica	Frezarka	Szlifierka	Szlifierka
1. Wałek zębaty 1	30	24	1	9	8	3	6	4	4	4
2. Koło zębate 1	28	22	1	10	8	4	5	5	3	2
3. Wałek zębaty dwustopniowy	30	30	1	12	9	3	6	4	4	4
Wałek dwustopniowy	44	20	1	8	7	4	7		4	4
4. Wałek zębaty z rowkiem pod wpust 1	15	26	1	10	8	3	5	4	4	4
5. Wałek zębaty z rowkiem pod wpust 2	13	24	1	10	8	3	6	3	4	4
6. Koło zębate podwójnie uzębione 1	30	30	1	11	9	3	5	7	3	2
Koło zębate podwójnie uzębione 2	60	20	1	21	8	2	6	8	3	2
Przyłaczka	30	10	1	10	12					

Przyjęto, że harmonogram zadań stymulatora jest następujący: 2,5,1,6,4,3, przepływ zadań przez gniazdo produkcyjne jest ciągłony i występuje supermarket wyrobów gotowych. Dla tak przyjętych założeń czas wykonania wszystkich zadań wynosi 1788 min. Terminy zakończenia serii zadań są następujące: 2- 372, 5 - 528, 1 - 888, 6 - 1248, 4 - 1428, 3 - 1788 min. Liczność kart kanban przedstawia tab.2.

Tab. 2. Liczność kart kanban

Nr zadania	1	2	3	4	5	6
Liczba kart kanban	2,5	2,33	2,5	1,25	1,08	2,5



Rys. 2. Czterech operatorów obsługuje osiem stanowisk w linii zmiennej

Harmonogram pobierania kart kanban ze skrzynki planistycznej przedstawia tab. 3. Skrzynka planistyczna jest narzędziem poziomowania wielkości i asortymentu produkcji w stymulatorze. W kolumnach przegródek znajdują się kanbany (k) dla każdej podziałki czasowej, w rzędach przegródek znajdują się kanbany (k) dla każdego typu wyrobów gotowych w gnieździe. Harmonogram ten przedstawia czas trwania dwóch zmian, druga zmiana została przedłużona o godzinę, co wynika z konieczności zakończenia partii zadań. 0,33k oznacza, że kanban zawiera polecenie produkcji liczby sztuk równej 0,33 wielkości partii.

Tab. 3. Skrzynka planistyczna gniazda stymulatora

	6.00 8.24	8.24 10.48	10.48 11.36	11.36 14.00	14.00 14.36	14.36 17.00	17.00 18.12	18.12 20.36	20.36 23.00
1						k	0,5k		
2	k	k	0,33k						
3									
4									
5				k	0,25k				
6								k	k

7. Podsumowanie

Produkcja, która charakteryzuje się dużą zmiennością, jest nakierowana na oczekiwania klienta i niestety trudna w kontekście organizacji i zarządzania. Lean production, przedstawiono w tym artykule jako koncepcję poziomowania produkcji, rozumianego jako: dobór wielkości produkcji, utrzymanie ciągłego przepływu operacji i regulowanie ilości pracy, związanej z wykonaniem zadań w gnieździe.

W artykule przedstawiono problem ciągłego przepływu produkcji, minimalizacji czasu pobytu zadań w systemie, przez minimalizację czynności nie podnoszących wartość, czyli przestojów. W artykule poruszono również problem terminowości wykonania zadań. Rezygnacja z zasady FIFO i zastosowanie losowego algorytmu MOIA do szeregowania zadań stymulatora pozwala na znalezienie harmonogramu z nieopóźnionymi zadaniami. Zastosowanie MOIA daje szansę na szybką reakcję w sytuacji zmiennych oczekiwań klientów.

W artykule przedstawiono przykład zastosowania MOIA dla szeregowania kart kanban w skrzynce planistycznej gniazda stymulatora. Znaleziono harmonogram z terminowo wykonanymi zadaniami, przydzielono operatorów do stanowisk, którzy wykonują zadania zgodnie z taktem gniazda. Przedstawiono harmonogram pobierania kart kanban ze skrzynki planistycznej gniazda stymulatora dla dwóch zmian.

Przedstawione podejścia i metody pozwalają zrozumieć problem „odchudzenia produkcji” oraz zapoznać się z nowymi algorytmami wspomagającymi procesy planistyczne.

Literatura

1. Rother M, Shook J.: Learning to see value stream mapping to create value and eliminate muda. The Lean Enterprise Institute, USA 1999.
2. Banaszak Z, Muszyński W.: Systemy elastycznej automatyzacji dyskretnych procesów produkcyjnych. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1991..
3. Skołod B.: Zarządzanie operacyjne. Produkcja w małych i średnich przedsiębiorstwach. Mamografia 117, wyd. Pol. Śl., Gliwice 2006.
4. Rother M, Harris Rick.: Tworzenie ciągłego przepływu. Wrocławskie centrum Transferu Technologii, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2004.
5. Skołod B, Wosik I.: Multi-objective genetic and immune algorithms for butch scheduling problem with dependent setups. Recent developments in artificial intelligence methods, Gliwice 2007, s. 185-196.
6. Skołod B, Wosik I.: Algorytmy immunologiczne w szeregowaniu zadań produkcyjnych. Zarządzanie przedsiębiorstwem nr 1, 2008.

Dr inż. Iwona WOSIK

Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania

Politechnika Śląska

44-100 Gliwice, ul. Konarskiego 18A

tel.: (032) 237 24 60

e-mail: iwona.wosik@polsl.pl