

# Komputerowo wspomagane zarządzanie przebiegiem procesów produkcyjnych w systemach PPC w oparciu o metodologię DBR

## Computer aided manufacturing process management in PPC systems based on the DBR methodology

EWA MOROZ \*

Materiały z XX SKWPIE, Jurata 2016 r.  
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.167

W pracy zaprezentowano systemowe podejście do komputerowo wspomaganego zarządzania procesem produkcyjnym realizowanym w systemach PPC/MRP II w oparciu o założenia teorii ograniczeń i metodę „werbel-bufor-lina” (DBR).

**SŁOWA KLUCZOWE:** systemy PPC, teoria ograniczeń, metoda „werbel-bufor-lina”

*The article presents a systemic approach to the computer aided management of the production process conducted in PPC/MRP II systems based on the theory of constraints' assumptions and the drum-buffer-rop method.*

**KEYWORDS:** PPC system, theory of constraints, drum-buffer-rop

Jednym z istotnych aspektów rozpatrywanych w ramach współczesnych koncepcji komputerowo zintegrowanego wytwarzania (CIM) jest problematyka wspomaganego planowania i sterowania procesami produkcyjnymi (PPC) [1]. W opracowaniu zwrócono uwagę na problematykę określania i optymalnego wykorzystania zdolności produkcyjnej realizowaną w ramach systemów komputerowych PPC/MRP II w powiązaniu z obszarem planowania technologii za pomocą systemów CAP/CAM. Podstawowym założeniem prezentowanej koncepcji, określanej mianem teorii ograniczeń (*theory of constraints* – TOC), jest założenie, że w każdym systemie istnieje jedno podstawowe ograniczenie warunkujące wydajność systemu w danym okresie [2, 3]. Zaprezentowana metodologia DBR (*Drum-Buffer-Rope*; werbel-bufor-linia) stanowi rozwinięcie znanej z literatury metody eliminowania „wąskich gardeł” w celu uzyskania oczekiwanego wzrostu zdolności produkcyjnych [5].

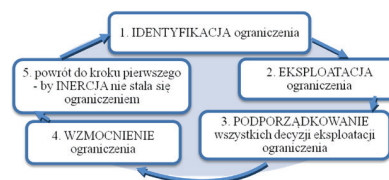
### Teoria ograniczeń w procesach produkcyjnych – metodologia DBR

Wprowadzanie usprawnień związane jest z uzyskaniem odpowiedzi na trzy podstawowe pytania [4]: 1) co zmienić?, 2) na co zmienić?, 3) jak przeprowadzić zmianę? Przy takiej tradycyjnej organizacji procesu produkcyjnego, jeśli właściwa (przypisana w harmonogramie) praca nie jest osiągalna we właściwym miejscu i we właściwym czasie, wówczas zawsze można dokonać korekt harmonogramu w obrębie każdego z ogniw procesu. Tymczasem TOC wyraźnie wskazuje, że produkcji nie należy planować wszędzie, a jedynie w obszarze „wąskiego gardła”. Zgodnie z zasadami TOC należy ustalić harmonogram pracy jednego (najsłabszego) ogniwa i przez ustalenie tego harmonogramu usprawnić cały proces. W teorii ograniczeń podstawowa strategia programowania stanowiąca klucz do systemowości operacji produkcyjnych określana jest jako „werbel-bufor-lina” (DBR). „Werbel” to rytm procesu produkcyjnego wyznaczany przez przepustowość wąskiego gardła. „Bufor” stanowi zapas nakierowany na utrzymanie cią-

głości pracy. „Lina” to pojęcie określające termin uruchomienia produkcji, to zasada dostarczania materiałów lub elementów na stanowisku pracy według możliwości „wąskiego gardła”.

### Pięć kroków implementacji DBR

Każdy realizowany w obrębie komputerowo zintegrowanego wytwarzania proces produkcyjny składa się z szeregu ogniw. W każdym z realizowanych procesów istnieje słabe ogniwo – „wąskie gardło” (*bottleneck*). Według prezentowanej koncepcji konieczne jest zrozumienie, że najsłabsze ogniwo reprezentuje cały system, a system nie może działać lepiej niż najsłabsze ogniwo. Stąd oczywiste wydaje się założenie, że na najsłabszym ogniwie należy skupić podstawowy wysiłek organizacyjny i techniczny. Realizuje się to we współdziałaniu z obszarem komputerowo wspomaganego przygotowania produkcji realizowanym w systemach CAP/CAM. Zgodnie teorią ograniczeń w odniesieniu do każdego analizowanego ogniwa systemu produkcyjnego należy podjąć działania zmierzające do realizacji zaprezentowanych na rys. 1 pięciu podstawowych jej kroków [6].



Rys. 1. Metodyka pięciu kroków poprawy przepustowości ogniwa systemu produkcyjnego

Wysiłek poświęcony na **Identyfikację** ograniczenia to krok pierwszy. Słabe ogniwo to wyznacznik tempa, „werbel” określający tempo produkcji całego procesu. W tradycyjnym procesie produkcyjnym przyspieszenia w jednych punktach procesu pomagają nadrobić lokalne opóźnienia „wąskiego gardła”. Jednak każde opóźnienie czy blokada na wąskim gardle oznaczają produkcję bezpowrotnie straconą w kategorii dochodu.

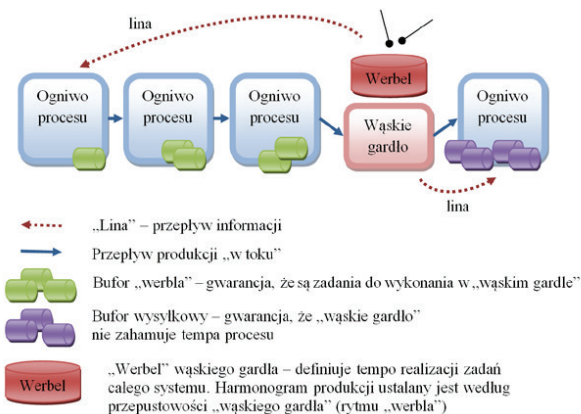
Stąd kolejny krok to **Eksploatacja** ograniczenia. Aby podnieść świadomość istotności opóźnień, pojawiających się blokad i generalnej niższej produktywności (lub jej braku), na „wąskim gardle” należy w pierwszej kolejności w sposób jednoznaczny opisać procedury i schemat działania dla tego jednego krytycznego miejsca. Szczególnie istotne staje się na tym etapie powiązanie z obszarem zmiany koncepcji realizacji danych operacji technologicznych poprzez komputerowe projektowanie oprzyrządowania technologicznego i komputerowo wspomaganym doborem parametrów technologicznych – obszar systemów CAP/CAM.

Na tym etapie analizy warto zwrócić uwagę na znaczenie wszelkich defektów procesu pojawiających się w „wąskim gardle”. Defekty w „wąskim gardle” kosztują system bezpowrotnie stracony czas, a to wymierna strata zrealizowanej sprzedaży. Uświadomienie sobie tego faktu powodować winno natychmi-

\* Dr Ewa Moroz (emoroz@adm.pcz.pl) – Instytut Informatyki, Wydział Elektryczny, Politechnika Częstochowska

stowe skupienie uwagi kierownictwa na błędach pojawiających się w „wąskim gardle” (dalszy etap eksploatacji ograniczenia). Zastosowanie technik zarządzania jakością (systemy CAQ) powinno w stosunkowo krótkim czasie doprowadzić do poprawy sytuacji.

Krok trzeci TOC to **Podporządkowanie** wszystkich decyzji konieczności eksploatacji ograniczenia. Należy powiązać działania wszystkich części systemu z możliwościami „wąskiego gardła” („werbla”). Narzędziem realizacji tego procesu jest „lina” (rys. 2). Stworzenie „liny” polega na podporządkowaniu harmonogramu rozpoczęcia oraz terminów zakończenia produkcji przepustowości (rytmowi) „werbla”. Czyli jedną „liną” łączy się „wąskie gardło” z operacjami wejściowymi (początkiem procesu), a drugą „linę” przerzuca się do operacji końcowej. Powstaje struktura łącząca system w całość. Priorytetem planowania stają się zadania realizowane w obrębie „wąskiego gardła” i to jest zasadnicza zasada. Rezultaty możliwe do osiągnięcia na tym etapie procesu wdrażania zasad teorii ograniczeń to zmniejszenie produkcji w toku nawet o połowę w ciągu dwóch–trzech miesięcy, również w odniesieniu do dużych (rozbudowanych) procesów produkcyjnych.



Rys. 2. Koncepcja metody „werbel-bufor-lina”

Krok czwarty to **Wzmocnienie** ograniczenia realizowane najczęściej poprzez dodatkowe inwestycje w obszarze ograniczenia. Jedną z dróg zwiększenia produktywności słabego ogniwa jest bowiem dodanie dodatkowej przepustowości (rozbudowanie, lub zwielokrotnienie zastosowanego stanowiska produkcyjnego). Ostatni, piąty krok to **Walka z inercją** i tendencją do powrotu do dotychczasowych przyzwyczajeń. Aby system działał sprawnie, konieczna jest implementacja procesu ciągłej poprawy (*process of on-going improvement* – POOGI). Należy dążyć do optymalizacji procesu produkcyjnego (zwiększać produkcję, redukować produkcję w toku i czas trwania procesu). Ponadto jeśli dotychczasowe ograniczenie („wąskie gardło”) zostało udrożnione, należy powrócić do kroku pierwszego i wykorzystując ten sam algorytm działania, sprawdzić czy ograniczenie nie przemieściło się w inny punkt procesu.

## Zarządzanie buforami procesu produkcyjnego

Tradycyjne bufor bezpieczeństwa w postaci produkcji w toku na poszczególnych ogniwach procesu nie stanowią rozwiązania systemowego, co więcej jest to rozwiązanie sprzeczne z istotą teorii ograniczeń. Dla potrzeb algorytmów sterujących procesami produkcyjnymi wykorzystywanych w systemach PPC/MRP II niezbędnym staje się zdefiniowanie pojęcia „bufor” w odniesieniu do założeń TOC. Pierwszy typ buforów to **bufory produkcyjne**. Suma czasu pracy przeznaczanego na realizację produkcji w toku między rozpoczęciem procesu, a „werblem” („wąskim gardłem”) liczona według przepustowości „werbla” tworzy **bufor „werbla”**, niezależnie od tego, czy jest to praca w toku aktualnie wykonywana, czy zadanie czekające na realizację. Suma czasu pracy przeznaczanego na realizację pro-

dukcji w toku za „werblem” (po „wąskim gardle”) tworzy **bufor wysyłkowy**. Te dwa bufor zastępują wielość lokalnych buforów (zapasów/produkcji w toku) zlokalizowanych na wszystkich ogniwach procesu. Wszystkie bufor nie są mierzone liczbą wyprodukowanych sztuk, ani roboczegodzin, ani wdrożeń, ale są mierzone czasem niezbędnym do obróbki zgromadzonych wyrobów. Bufor „werbla” to czas (z reguły liczba godzin), który produkcja w toku znajdująca się między wejściem do procesu a „werblem” potrzebuje do przejścia przez „wąskie gardło” w tempie wyznaczonym przez „werbel”. Należy zwrócić uwagę że, z mocy definicji, jakakolwiek produkcja w toku znajdująca się w „wąskim gardle” (nieważne czy w trakcie procesu, czy oczekująca) nie stanowi bufora.

Dodatkowy aspekt zagadnienia realizowany w trakcie komputerowej analizy rozpatrywanych procesów stanowi zamienność operacji produkcyjnych prowadzonych w „wąskim gardle”. Przy projektowaniu algorytmów wdrażanych systemów komputerowych należy podporządkować zarządzanie procesem przepustowości „wąskiego gardła”, również w zakresie produkowanego w danym okresie asortymentu.

Wynikające z definicji bufora produkcyjnego monitorowanie czasów poszczególnych zadań obróbkowych stanowi doskonałe narzędzie kontroli całego procesu produkcyjnego. Stąd kolejny typ buforów, to tzw. **bufory czasu**. Dla każdego typu zadania należy wyznaczyć czas trwania. Przy czym istotne jest, że nie należy uwzględniać dodatkowego czasu, a jedynie „czas agresywny”, czyli czas umożliwiający wykonanie zadania w warunkach braku przestoju, defektów czy pomyłek. Jest to zgodne z zasadą: „nie chroń pojedynczych zadań, a jedynie proces jako całość”. W projektowanych algorytmach bufor czasu wyznaczony dla realizacji zadania należy podzielić na trzy strefy: „zieloną”, „żółtą” i „czerwoną”. Status zadania jest określany czasem, który upłynął od momentu wejścia zadania do systemu. Jeśli jedno z zadań znajduje się w „polu czerwonym”, wówczas uzyskuje priorytet (pierwszeństwo w realizacji). W większości przypadków zadania docierają do „werbla” z zapasem czasu przed „czerwoną strefą”, lub na początku „strefy czerwonej”. Nieodmiennie zaletą takiego komputerowego systemu harmonogramowania produkcji pozostaje fakt, że w każdym momencie procesu znany jest czas realizacji każdego zadania.

## Podsumowanie

W opracowaniu przedstawiono propozycję wykorzystania metody *drum-buffer-rop* do potrzeb komputerowego planowania i sterowania procesami produkcyjnymi w systemach PPC/MRP II. Wykazano, że stosowanie niesystemowych (lub pozornie systemowych) metod komputerowego sterowania procesem produkcyjnym polegających na kontroli planu produkcji na każdym etapie i w każdym momencie prowadzi do wygenerowania nadmiernej ilości produkcji w toku (o zmiennej wartości), długich okresów przepływu, statycznej produktywności i wywołuje problemy z terminową realizacją zadań. Wykorzystanie w powstających algorytmach podstaw teorii ograniczeń pozwala zredukować produkcję w toku, czas przepływu, zwiększyć przepustowość i poprawić terminowość realizacji procesu produkcyjnego poprzez ściśle planowanie produkcji w „wąskim gardle”.

## LITERATURA

- Chlebus E. „Techniki komputerowe CAX w inżynierii produkcji”. WNT Warszawa 2000.
- Goldratt E.M., Cox, J. „The Goal: A Process of Ongoing Improvement”. North River Press 1992, Croton-on-Hudson, NY, at all.
- Goldratt E.M. „Theory of Constraints”. North River Press 1990, Croton-on-Hudson, NY, at all.
- Jacob D.B., McClelland W.T. Jr, „Theory of Constraints Project Management. A brief Introduction into the Basics”. The Goldratt Institute, New Haven, Connecticut 2001, s. 3.
- Pasternak K. „Zarys zarządzania produkcją”. PWE, Warszawa 2005.
- orms.pef.czu.cz (stan z dnia 13 marca 2016 r.).