

PLANOWANIE PRODUKCJI W ZŁOŻONYM SYSTEMIE Z OGRANICZONYMI ZASOBAMI

Streszczenie

W artykule zostanie przedstawiona analiza i symulacja produkcji w systemie o złożonej strukturze produkcyjnej umożliwiające planowanie przepływu produkcji w systemie z ograniczeniami zasobowymi. Przy planowaniu produkcji w takich strukturach warto wspomóc się Teorią Ograniczeń, która dostarcza wiedzy umożliwiającej racjonalne wykorzystanie dostępnych zasobów. Wiedza ta pozwala wykryć ograniczenie i dostarcza metody pozwalające koncentrować się na ograniczeniach oraz skutecznie zarządzać tymi ograniczeniami.

Słowa kluczowe: harmonogramowanie produkcji, harmonogramowanie z ograniczeniami, zasoby produkcyjne, Teoria Ograniczeń

1. WPROWADZENIE

Jednym z największych problemów występujących w systemach produkcyjnych jest efektywne planowanie produkcji przy maksymalnym poziomie wykorzystania zasobów produkcyjnych. System produkcyjny, dla którego należy zaplanować harmonogram produkcji może zawierać ograniczenia, od których zależy możliwość osiągnięcia założonych celów. Ograniczenia te mogą dotyczyć zarówno zasobów jak i operacji przeprowadzanych na zasobach i muszą być wzięte pod uwagę przy tworzeniu harmonogramu. Właściwie w każdym przedsiębiorstwie istnieją jakieś zasoby krytyczne. Zgodnie z teorią ograniczeń to im należy poświęcić najwięcej czasu przy harmonogramowaniu zadań. Odpowiednie podejście do tego zagadnienia zagwarantuje nam, że przedsiębiorstwo będzie pracowało właściwie, a ewentualne awarie nie spowodują zbyt dużych opóźnień na linii produkcyjnej.

Przy planowaniu produkcji w takich systemach warto wspomóc się Teorią Ograniczeń, która poprzez swoje reguły, w tym „five focusing steps”, dostarcza wiedzy umożliwiającej racjonalne wykorzystanie dostępnych zasobów [2]. Wiedza ta umożliwia identyfikację zasobów stanowiących wąskie gardła w systemie produkcyjnym i dostarcza metod pozwalających koncentrować się na ograniczeniach oraz skutecznie nimi zarządzać. Jedną z tych metod jest algorytm DBR (*ang. Drum – Buffer – Rope*). Charakterystyka tych elementów jest następująca:

- Drum (werbel) – nadaje procesowi odpowiedni rytm produkcji, zgodnie z planem uwzględniającym wąskie gardła procesu produkcyjnego,
- Buffer (bufor) – zapasy materiałowe umieszczone w procesie przed „wąskimi gardłami” mające za zadanie utrzymać ciągłość pracy werbla (wąskiego gardła).
Istnieją dwa rodzaje buforów:
 - o bufor czasowy – aby produkcja miała pewne wyprzedzenie czasowe, bufor tego typu wprowadza się głównie przed wąskim gardłem,
 - o bufor ilościowy – jest to zapas wyrobów finalnych, które powinny trafić do odbiorcy,

* Politechnika Śląska, Instytut Automatyki, Zakład Inżynierii Systemów

- Rope (lina) – służy do synchronizacji dostarczania materiałów lub elementów do stanowiska pracy według tempa pracy „wąskiego gardła”.

Zadaniem DBR jest zwiększenie przepływu produkcji przy równoczesnym zmniejszeniu zapotrzebowań i minimalizacji kosztów. Do wsparcia produkcji zorganizowanej na zasadzie przepływu konieczny jest niezawodny przepływ materiału.

Wdrożenie standardowego modelu DBR wymaga dość specjalistycznego oprogramowania. Z tego względu wprowadzono alternatywną metodę dla przedsiębiorstw, które pracują już w oparciu o system Planowania Potrzeb Materiałowych MRP (*ang. Manufacturing Resources Planning*). Nosi ona nazwę uproszczonego DBR lub S-DBR (*ang. Simplified Drum-Buffer-Rope*) [4]. Może być użyta tylko w przypadkach, gdy przedsiębiorstwo nie jest ograniczone przez zasoby wewnętrzne. W tym przypadku rolę werbla pełni zamówienia klientów. Po nadejściu zamówienia jest sprawdzane obciążenie wąskiego gardła. Jeśli nie ma zbyt dużego obciążenia, to zamówienie jest akceptowane i trafia do kolejki produkcyjnej. Wykorzystuje się tylko jeden bufor dla gotowych wyrobów. Lina już nie jest przywiązana do harmonogramu CCR (*ang. Capacity Constrained Resource*) zasobu o ograniczonej zdolności produkcyjnej. Zamiast tego, zlecenia produkcyjne generowane są automatycznie na podstawie złożonych zamówień. Zasoby CCR wykorzystywane są prawie maksymalnie i nawet niewielkie odstępstwa od przyjętego harmonogramu ich obciążenia mogą spowodować, że staną się wąskim gardłem.

Harmonogramowanie produkcji można zdefiniować jako zadanie wyznaczenia takiego rozdziału w czasie dostępnych zasobów produkcyjnych, który zapewni zaspokojenie zapotrzebowania na produkowane wyroby przy najlepszym ich wykorzystaniu. Niezbędna jest szczegółowa znajomość struktury informacyjnej procesu produkcyjnego oraz szybka reakcja na zmiany występujące w systemie produkcyjnym (popyt, awarie) przy zachowaniu możliwego do realizacji harmonogramu produkcyjnego. Większość producentów nie jest w stanie szybciej reagować na rosnące potrzeby klientów oraz na obniżkę kosztów produkcji, dopóki nie zastosuje odpowiedniej metodyki harmonogramowania. Musi ona uwzględniać wszystkie ograniczenia w procesie produkcji oraz integrować proces harmonogramowania z funkcjonalnością procesu produkcyjnego.

Harmonogramowanie produkcji jest ściśle powiązane z planowaniem produkcji. Przy tworzeniu harmonogramu istotne jest znalezienie pewnej równowagi pomiędzy różnymi celami. Rozpatrywane są cele globalne, na przykład minimalizacja średniego opóźnienia wszystkich zleceń czy minimalizacja całkowitych kosztów utrzymania. Występują również cele lokalne, takie jak maksymalne ograniczenie przebrożeń wybranej maszyny w pewnym okresie czy też maksymalizacja czasu pracy wybranego gniazda produkcyjnego. Konieczność szybkiego dostosowania planu produkcji do zmieniających się wymagań klientów, zmian w konfiguracji systemu, ograniczeń czasowych i kosztowych realizacji zleceń nie zawsze pozwala planiście na szukanie optymalnego rozwiązania. Najczęściej przyjmuje się do realizacji rozwiązanie najlepsze ze względu na określoną funkcję celu bądź pierwsze, uzyskane szybko przy spełnieniu zadanych ograniczeń [1].

W planowaniu produkcji ważne jest zarówno planowanie zleceń w czasie – harmonogramowanie jak i bilansowanie obciążeń. Bilansowanie polega na porównaniu zdolności produkcyjnych z zapotrzebowaniem na te zdolności wynikających z pracochłonności procesu (procesów) wytwarzania wyrobów. Stopień szczegółowości podejmowanych decyzji zależy od skali czasu jakiej one dotyczą i złożoności systemu wytwarzania. Dokładność bilansowania zdolności produkcyjnych uzależniona jest od przyjętego okresu czasu. Jednostką bilansowania może być np. miesiąc, tydzień, godzina itd. Bilansowanie szacunkowe zdolności produkcyjnych polega na porównaniu zdolności produkcyjnych całego systemu produkcyjnego lub poszczególnych zasobów produkcyjnych

z wymaganymi zdolnościami produkcyjnymi dla zleceń produkcyjnych w danym okresie czasu. Pozwala to określić: czy możliwa jest realizacja zlecenia produkcyjnego w wymaganym terminie lub jaki jest najwcześniejszy możliwy (szacowany) termin realizacji zlecenia produkcyjnego? [3]

2. STRUKTURA SYMULOWANEGO PROCESU PRODUKCYJNEGO

Dla potrzeb symulacji zaprojektowano system produkcyjny złożony z pięciu rodzajów zasobów produkcyjnych (rys.1) dla których zdefiniowane są czasy przebrojeń zasobów. W systemie zaplanowano produkcję trzech rodzajów produktów w ilościach wskazywanych przez stałe tygodniowe zapotrzebowanie (popyt), które ustalane jest na początku symulacji. Struktura systemu ze względu na przepływ materiałów jest mieszana. Reprezentacja struktury widoczna jest w prawym oknie aplikacji. Zawiera ona podstruktury typu A oraz V a ponadto struktura produkcji z surowca F jest strukturą typu I:

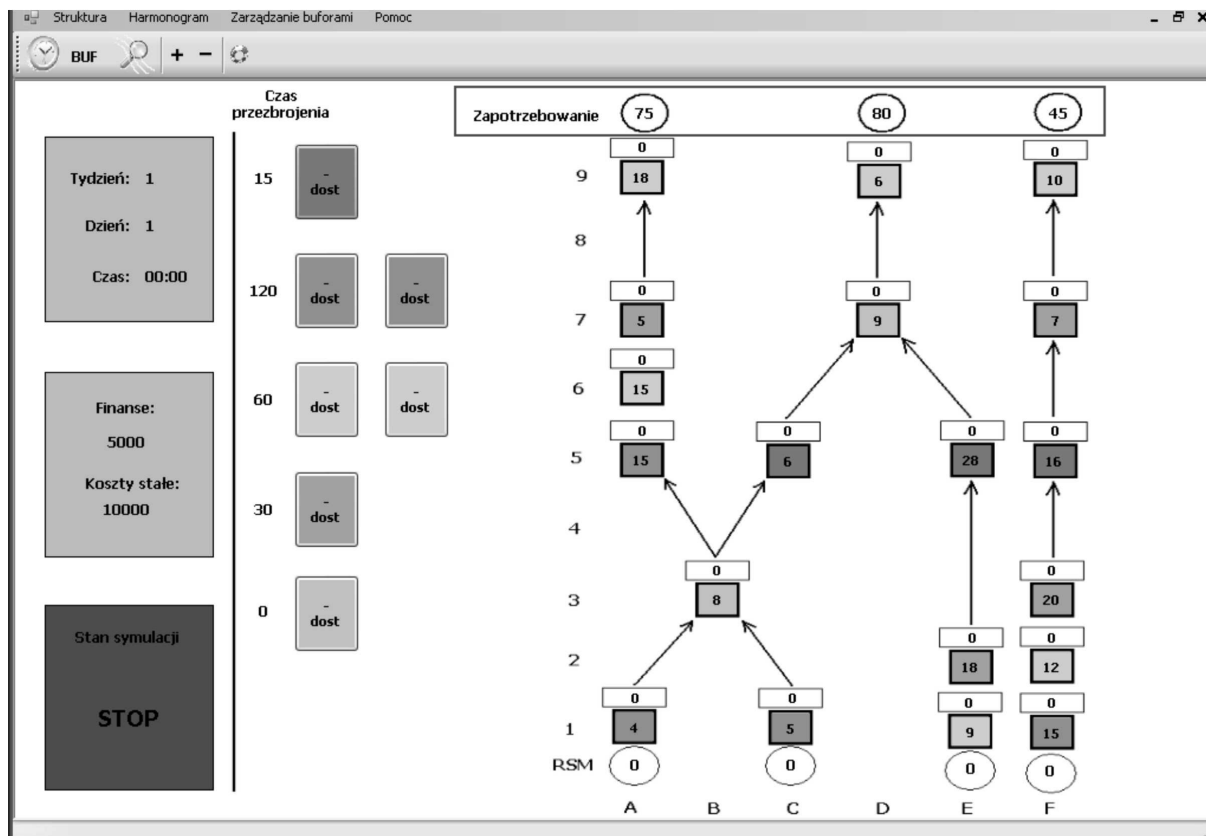
1. struktura typu I – materiał przepływa w takiej kolejności jak linia montażowa. Prace główne wykonywane są jako ciąg zdarzeń, wąskie gardło stanowi najwolniejsza operacja,
2. struktura typu A – główny przepływ materiału przebiega w sposób – „wiele do jednego”, tak jak w systemie w którym wiele rozgałęzień linii produkcyjnej zbiega się w jedną. Największym problemem w tego typu strukturze jest synchronizacja zbiegania się linii w taki sposób aby w punkcie łączenia dostawy materiału odbywały się bez opóźnień – dokładnie na czas,
3. struktura typu V – główny przepływ materiału przebiega w sposób – „jeden do wielu” tak jak w strukturze gdzie z jednego surowca można uzyskać wiele produktów finalnych. Klasycznym przykładem są zakłady przetwórstwa mięsnego lub huty stali. Głównym problemem tego typu struktury jest „przywłaszczanie” – gdy jedna operacja (B) przekierowuje materiał do innej operacji (A). Gdy materiał zostanie przetworzony w operacji A nie może zostać wykorzystany w operacji B bez znacznych nakładów pracy.

Dostępne dla użytkownika zasoby produkcyjne są reprezentowane przez przyciski znajdujące się z lewej strony struktury przepływu procesów produkcyjnych (rodzaj I do V). Łącznie w strukturze znajduje się 7 zasobów, które przydzielane są do odpowiednich operacji. Możliwość przydzielenia danego zasobu do operacji jest determinowana kolorem operacji. W celu ułatwienia analizy procesu produkcyjnego operacje technologiczne oznaczone są w sposób tablicowy (np. A1, B3). Ponadto podana jest informacja o operacji do której przydzielony jest zasób (np. A1, D3 lub w przypadku gdy zasób nie jest jeszcze przydzielony, znak ‘ - ’) oraz jego stan:

- dost – zasób jest dostępny,
- zbroj – trwa przezbieranie zasobu,
- prod – trwa produkcja.

Dla potrzeb symulacji należy zdefiniować następujące parametry wejściowe:

- stan początkowy finansów przedsiębiorstwa ,
- wartość tygodniowych kosztów stałych przedsiębiorstwa,
- czasy przebrojeń poszczególnych typów zasobów technologicznych,
- początkowe zapasy półproduktów w buforach międzyoperacyjnych,
- koszty zakupu surowców (zakup surowców wiąże się z zmniejszeniem środków finansowych przedsiębiorstwa).



Rys. 1. Okno aplikacji oraz struktura przepływu procesów produkcyjnych.

Symulacja polega na zarządzaniu przydziałem zasobów do poszczególnych operacji technologicznych oraz odpowiednim zakupie surowców niezbędnych do produkcji. Celem symulacji jest zwrócenie uwagi na ograniczenia zasobowe oraz finansowe, a przede wszystkim na skuteczne zarządzanie tymi ograniczeniami. Podstawowe ograniczenia struktury to:

- ograniczenie finansowe, które nie pozwala na swobodę w zakupie surowców,
- ograniczenie zasobowe – mała liczba zasobów w stosunku do operacji technologicznych,
- długi cykl produkcyjny.

Założenia wstępne przykładowej symulacji.

1. Zakład produkuje trzy wyroby finalne: A, D, F wykorzystując 4 różne surowce.
2. Zakład pracuje 5 dni w tygodniu po 8 godzin czyli 2400 minut.
3. Struktura procesu produkcyjnego jest przedstawiona na rysunku 1.
4. Inwestycje: 5 000 PLN
5. Koszty działalności (remonty, energia płace itp.) wynoszą 10000 PLN.
6. Notowany jest stały popyt 45 sztuk tygodniowo na produkt A, 60 sztuk tygodniowo na produkt D, 40 sztuk tygodniowo na produkt F.

$$W_A = 180 [PLN]$$

7. Cena sprzedaży produktów finalnych: $W_D = 240 [PLN]$

$$W_F = 180 [PLN]$$

8. Czasy wykonania produktów finalnych są sumą czasów wszystkich operacji. Czasy te wynoszą odpowiednio: $C_A=70$ min: $C_D=93$ min: $C_F=80$ min.

9. Czasy przebrojeń zasobów:
 - a. I rodzaju (niebieskiego): 15 min.
 - b. II rodzaju (zielonego): 40 min.
 - c. III rodzaju (żółtego): 60 min.
 - d. IV rodzaju (czerwonego): 0 min.
 - e. V rodzaju (szarego): 10 min.
10. Zawartość bufora operacji A6: 20 szt.
11. Zawartość bufora operacji F5: 10 szt.

5. ANALIZA OBCIĄŻENIOWA ZASOBÓW

Przed rozpoczęciem symulacji pomocne jest uruchomienie „Analizy obciążeniowej zasobów”. dzięki której można oszacować obciążenie zasobów niezbędne do zrealizowania określonego planu produkcji. Analiza pozwala wskazać zasoby krytyczne i dla nich należy zwrócić uwagę na sposób ich przydzielania do operacji. Zasoby te są najsłabszym ogniwem systemu, więc straty czasu na tych zasobach wpływają na straty całego systemu produkcyjnego. Obciążenie zasobu większe niż 100% oznacza brak możliwości realizacji planu produkcyjnego. W tym przypadku istotne byłoby podjęcie decyzji o pracy zasoby krytycznego dającego maksymalny zysk produkując wyrób najbardziej opłacalny.

Analiza obciążeniowa zasobów ma na celu porównania zdolności produkcyjnych z zapotrzebowaniem na te zdolności wynikających z pracochłonności procesu (procesów) wytwarzania wyrobów.

Produkt	Max Zapotrzebowanie	Analizowane Zapotrzebowanie
A	45	45
B	0	
C	0	
D	60	60
E	0	
F	40	40

	Jednostki	Minuty	Obciążenie [%]
Niebieski	1	2520	105
Zielony	2	1590	33
Żółty	2	2445	50
Czerwony	1	2185	91
Szary	1	1020	42

Rys 2. Identyfikacja ograniczenia zasobowego w założonym systemie produkcyjnym

Źródło: opracowanie własne

Jak widać na rysunku 2 realizacja zapotrzebowania na wszystkie produkty wymaga 105% nakładu czasu pracy zasobu rodzaju I (niebieskiego). Jest to zasób krytyczny tej struktury produkcyjnej dla założonego planu produkcyjnego. W tych warunkach nie uda się zaspokoić potrzeb rynku, dlatego należy zastanowić się jak eksploatować ograniczenie aby osiągnąć maksymalny wynik finansowy.

Błędna identyfikacja ograniczenia mogłaby spowodować, że możemy podjąć działania nie w tym miejscu gdzie należałoby lub podjąć błędne decyzje, które mogłyby doprowadzić do poważnych komplikacji finansowych. Zasób krytyczny powinien dyktować tempo pracy całej struktury i z tego powodu określany jest jako Werbel.

6. ANALIZA RENTOWNOŚCI I PRZEPUSTOWOŚCI ZASOBÓW

Analiza rentowności.

Koszt pracy jednego zasobu na minutę:

$$K_{pm} = K_s / 7 \times 2400 = 10000 / 16800 = 0,595 \text{ [PLN/min]} \quad (1)$$

Koszty wytworzenia pojedynczej sztuki poszczególnych produktów wynoszą:

$$K_A = K_{pm} \times C_A = 0,595 \times 70 = 41,65 \text{ [PLN]} \quad (2)$$

$$K_D = K_{pm} \times C_D = 0,595 \times 93 = 55,33 \text{ [PLN]} \quad (3)$$

$$K_F = K_{pm} \times C_F = 0,595 \times 80 = 47,60 \text{ [PLN]} \quad (4)$$

Wyliczenie kosztów zakupu surowców na sztukę produktu:

$$S_{PA} = S_A + S_C = 30 + 35 = 65 \text{ [PLN]} \quad (5)$$

$$S_{PD} = S_A + S_C + S_E = 30 + 35 + 30 = 95 \text{ [PLN]} \quad (6)$$

$$S_{PF} = S_F = 65 \text{ [PLN]} \quad (7)$$

$$W_A = 180 \text{ [PLN]}$$

Wartość sprzedaży jednej sztuki produktów: $W_D = 240 \text{ [PLN]}$

$$W_F = 180 \text{ [PLN]}$$

Wyliczenie zysku ze sprzedaży sztuki pojedynczego wyrobu:

$$Z_A = W_A - S_{PA} - K_A = 180 - 65 - 41,65 = 73,35 \text{ [PLN]} \quad (8)$$

$$Z_D = W_D - S_{PD} - K_D = 240 - 95 - 55,33 = 89,67 \text{ [PLN]} \quad (9)$$

$$Z_F = W_F - S_{PF} - K_F = 180 - 65 - 47,60 = 67,40 \text{ [PLN]} \quad (10)$$

Zasób krytyczny (niebieski) nie jest wykorzystywany w procesie produkcji wyrobu A. Jest wykorzystywany w procesie produkcji wyrobów D i F (zasoby dla operacji C5; E5; F5). Analiza rentowności sugeruje, że spośród produktów D i F bardziej opłaca się produkować produkt D.

Analiza przepustowości zasobu krytycznego który jest wykorzystywany do produkcji wyrobów D i F doprowadziła do odmiennych wniosków niż w analizie rentowności:

$$T_D = \frac{W_D - S_D}{t_D} = \frac{240 - 95}{34} = 4,26 \text{ [PLN / min]},$$
$$T_F = \frac{W_F - S_F}{t_F} = \frac{180 - 65}{16} = 7,18 \text{ [PLN / min]}. \quad (11)$$

Ograniczeniem systemu jest element o najmniejszej przepustowości czyli element, który determinuje pracę całego systemu. Pieniądże płynące do przedsiębiorstwa wg TOC to

pieniądze uzyskiwane od odbiorców za sprzedane wyroby, pomniejszone o kwoty wypłacane dostawcom za surowce i półfabrykaty użyte do wyprodukowania tychże wyrobów w zadanej jednostce czasu. Miara ta nazywana jest Przepustowością (*ang. Throughput*). W języku TOC mówi się, iż przedsiębiorstwo generuje Przepustowość z pieniędzy zainwestowanych w środki trwałe i zapasy, czyli tak zwanych Inwestycji (*ang. Investment*), ponosząc przy tym Koszty Działalności (*ang. Operating Expenses*).

6. PRZEPROWADZONE SYMULACJE

Przeprowadzono symulacje w których produkcję zaplanowano w oparciu o analizę rentowności (rys. 3) oraz w oparciu o analizę przepustowości zasobu krytycznego (rys. 4)

Zasób krytyczny (typ I - niebieski) powinien dyktować tempo pracy całej struktury i z tego powodu określany jest jako Werbel. Na tym zasobie nie powinno następować żadne zahamowanie produkcji. Werbel powinien pracować z możliwie największą wydajnością i należy uczynić wszystko, żeby mógł tak pracować. Przede wszystkim, werbel nie może czekać na półprodukty, wytworzone w wyniku poprzednich operacji. Warto w tym celu stworzyć pewien zapas półproduktów, wytworzonych w poprzednich operacjach, żeby zakłócenia w działaniu systemu nie wpływały na pracę werbla. Taki zapas będzie tworzył Bufor werbla.

Wyniki tygodniowej symulacji									
Dane finansowe					Obciążenie zasobów				
Zysk :	14240				[%]	Przestój	Produkcja	Zbrojenie	
Stan finansów :	19240				Niebieski	14	85	1	
Śr. Wydajność :	19				Zielony	63	33	4	
Sprzedaż :	95				Zółty	46	47	7	
Koszty stałe :	10000				Czerwony	14	86	0	
					Szary	53	47	0	
Produkt	Tyg. zapotrz.	Sprzedaż	Wydajność						
A	40	40	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
D	60	55	A1 : 13	F2 : 18	E5 : 70	F7 : 0			
F	40	0	C1 : 16	B3 : 26	F5 : 0	A9 : 29			
			E1 : 22	F3 : 33	A6 : 12	D9 : 11			
			F1 : 24	A5 : 12	A7 : 8	F9 : 0			
			E2 : 44	C5 : 14	D7 : 21				

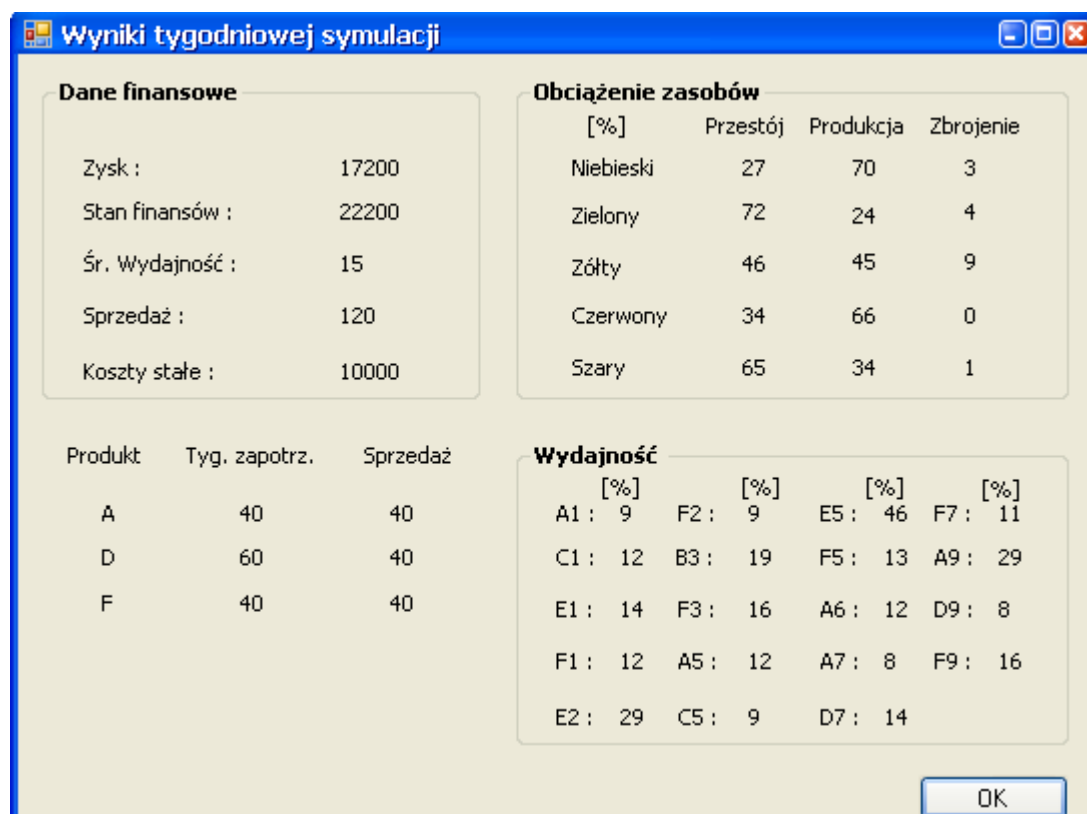
Rys 3. Wynik tygodniowej symulacji w oparciu o analizę rentowności

Wyniki jednoznacznie wskazują, że zasób krytyczny był dobrze zarządzany. Zasób ten pracował jak Werbel i pozwolił na zrealizowanie większości zapotrzebowania na produkt D. Niezależnie udało się zaspokoić zapotrzebowanie rynkowe na produkt A.

Kolejno przeprowadzono symulacje z uwzględnieniem analizy przepustowości zasobu krytycznego (rys. 4).

W drugim przypadku wynik finansowy jest znacznie lepszy. Większa przepustowość zasobu typu I (niebieskiego) dla produktu F przyczyniła się z pewnością do osiągnięcia lepszych wyników. Duży wpływ ma też harmonogram ekspedycji surowców do bufora przed werblem. Przy tak złożonej strukturze istnieje wiele możliwości planowania harmonogramu dostaw surowców.

Koniec pięciodniowego tygodnia symulacji jest istotnym punktem symulacji. Po upływie takiego czasu stan finansów zostaje pomniejszony o koszty stałe prowadzenia przedsiębiorstwa. Symulacja przewidziana jest na tygodniowe partie dla których zadana jest wartość popytu (zapotrzebowania) jak również wymienionych wyżej kosztów prowadzenia działalności.



Rys 4. Wyniki symulacji z uwzględnieniem analizy przepustowości zasobu krytycznego

Analiza pięciodniowego tygodnia pracy zawiera informacje dotyczące:

- zysku przedsiębiorstwa po odliczeniu kosztów działalności,
- stanu finansów przedsiębiorstwa,
- średniej wydajności operacji przy ograniczonych zasobach [%],
- ilościowej sprzedaży gotowego produktu,
- kosztów stałych prowadzenia przedsiębiorstwa,
- zestawienia sprzedaży i zapotrzebowania poszczególnych wyrobów finalnych
- obciążenia poszczególnych zasobów (przestój, produkcja, zbrojenie),
- wydajności poszczególnych operacji przy ograniczonych zasobach.

Pomocą w bieżącym planowaniu produkcji jest raport dzienny, w których użytkownik dostaje informację na temat procentowej wydajności pracy poszczególnych operacji oraz ilościowej i walutowej wartości sprzedaży gotowych wyrobów produkcji na dany dzień (rys.5).

Raport dzienny

Dzień: 3

Wydajność

	[%]		[%]		[%]		[%]
A1 :	8	F2 :	22	E5 :	38	F7 :	14
C1 :	10	B3 :	16	F5 :	33	A9 :	0
E1 :	0	F3 :	41	A6 :	9	D9 :	7
F1 :	31	A5 :	10	A7 :	1	F9 :	13
E2 :	0	C5 :	8	D7 :	12		

Sprzedaż [szt] : 39

Sprzedaż [PLN] : 8220

OK

Rys 5. Przykładowy raport dzienny

8. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono analizę i symulację planowania przepływu produkcji w złożonej strukturze w której występują ograniczenia zasobowe. Przeprowadzając analizę systemu produkcyjnego w którym mogą występować różne typy struktur (I, A, V, T) oraz ograniczone zasoby warto zapoznać się z Teorią Ograniczeń, która dostarcza wiedzy umożliwiającej racjonalne wykorzystanie dostępnych zasobów. Wiedza ta pozwala wykryć ograniczenia i dostarcza metod pozwalających koncentrować się na ograniczeniach które limitują przychody przedsiębiorstwa oraz skutecznie nimi zarządzać. Planowanie produkcji opiera się na ciągłym procesie wykrywania ograniczeń struktury.

Zauważono, że stosując Teorię Ograniczeń w planowaniu przepływów osiągnięte zostały lepsze rezultaty. Metoda Werbel – Bufor – Lina pomaga przy harmonogramie dostaw, natomiast analiza Przepustowości zasobu krytycznego pozwala na zdecydowanie, który produkt produkować najpierw i jaką operacją należy obciążyć zasób krytyczny.

Struktura zaimplementowana w symulatorze o pozwala również na uwzględnienie istnienia ograniczeń zewnętrznych, dając możliwość wprowadzenia zmiany popytu na określone produkty jak również pozwala na regulację ograniczeń finansowych i surowcowych na początku symulacji. Problemem przy analizie tak złożonej struktury jest zarówno jej topologia, która ze względu na przepływ składa się z kilku typów struktur jak również możliwość wystąpienia większej ilości ograniczeń zasobowych. Symulator daje możliwość przeprowadzenia wielokrotnych symulacji w celu wybrania najlepszego sposobu zarządzania ograniczeniami.

Praca finansowana ze środków przewidzianych na BK-218/RAu1/2009/t.5.

LITERATURA

- [1] Banaszak Z., Gattner D., Mazur-Łukomska K., Muszyński W.: *Zarządzanie operacjami*, Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej, Zielona Góra, 1997.
- [2] Goldratt E.M.: *Łańcuch krytyczny*, Werbel, Warszawa 2000. Wydanie polskie
- [3] Krystek J., Jagodziński M.: *Realizacja algorytmów planowania potrzeb materiałowych i planowania zdolności produkcyjnych w zintegrowanym systemie informatycznym*. X K.K. „Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie”, Zakopane 2007, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2007, Tom I, str. 500-506.
- [4] Eli Schragenheim, H. William Dettmer: *Simplified Drum-Buffer-Rope. A Whole System Approach to High Velocity Manufacturing*, ©Copyright E. Schragenheim and H. W. Dettmer, 2000.

PRODUCTION PLANNING IN THE SYSTEM WITH CONSTRAINED RESOURCES

Abstract

The paper presents an analysis and simulation of production system with complex structure and constrained resources. We used the Theory of Constraints for production planning of such structures. Theory of Constraints delivers the useful knowledge to the rational use of available resources. This knowledge allows to detect constraints and provides the methods focused on the limitations and effectively managing the const.

Keywords: production scheduling, constraint-based scheduling, production resources, Theory of Constraints