

WSPOMAGANIE PROCESU PLANOWANIA PRODUKCJI Z WYKORZYSTANIEM OPROGRAMOWANIA PLANT SIMULATION

Mateusz KIKOLSKI

Streszczenie: Efektywne planowanie produkcji odgrywa kluczową rolę i należy do podstawowych zadań przedsiębiorstw produkcyjnych. Aby pozostać konkurencyjnym, przedsiębiorstwa muszą wytwarzać produkty wysokiej jakości, zachowując niskie koszty oraz zdolność szybkiego reagowania na zmienne wymagania klientów. W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania jednego z dostępnych rozwiązań przeznaczonych do symulacji procesów produkcyjnych we wspomaganii procesu planowania produkcji. Niniejsze opracowanie jest wstępną wersją koncepcji wdrożenia i ma na celu określenie kierunków dalszych prac badawczych.

Słowa kluczowe: planowanie produkcji, symulacja komputerowa, Tecnomatix Plant Simulation.

1. Wprowadzenie

Jednym z głównych celów przedsiębiorstw produkcyjnych jest osiągnięcie jak największego zysku. Aby osiągnąć wymaganą wydajność procesu, niezbędne jest odpowiednie zaplanowanie zadań produkcyjnych. Odpowiednie zaplanowanie procesu produkcyjnego ma istotny wpływ na wyniki uzyskiwane przez przedsiębiorstwa oraz określa pozostałe działania związane m.in. z planowaniem dostaw lub wyznaczaniem terminów realizacji projektów.

Planowanie jest to określanie przyszłych celów i zadań ekonomicznych oraz sposobu ich realizacji [1], jest głównym procesem każdego systemu zarządzania produkcją. Jego podstawowym zadaniem jest uzyskanie właściwego planu oraz odpowiednie uprządkowanie go w czasie [2].

Planowanie jest niezbędne na wszystkich poziomach działalności przedsiębiorstwa. Odpowiednie przygotowanie harmonogramu produkcji wymaga ciągłego monitorowania procesów występujących w przedsiębiorstwie.

Jako planowanie produkcji w prostych procesach produkcyjnych można uznać już działania polegające na wyznaczaniu zadań pracownikom, bazujące na doświadczeniu kierowników. Wraz ze wzrostem skomplikowania realizowanych zadań produkcyjnych, niezbędne staje się wykorzystanie metod i narzędzi wspomagających planowanie.

2. Planowanie produkcji

Planowanie procesów produkcyjnych jest jednym z podstawowych elementów zarządzania produkcją, które dotyczy projektowania systemów produkcyjnych, organizacji procesów produkcyjnych, ich planowania i sterowania nimi [3]. Planowanie produkcji jest centralnym procesem oraz kluczowym elementem każdego systemu zarządzania produkcją.

Jego zadaniem jest wygenerowanie właściwego planu oraz rozłożenie go w czasie [4]. W związku z tym ważne jest, aby proces planowania oparty był o rzetelne dane wejściowe.

Głównym celem tworzenia planów produkcyjnych jest uzyskanie jak najwyższej wydajności procesu. Odpowiednio zaplanowana produkcja umożliwia dokładne opracowanie terminów realizacji zamówień. Prawidłowo opracowane plany wskazują zadania niezbędne do poprawnego wytwarzania wyrobów – określają przebieg produkcji, jej wielkość, niezbędną infrastrukturę, a także szczegółowo ustalają zadania przeznaczone dla poszczególnych pracowników i maszyn.

Planowanie określa przebieg produkcji i powinno odbywać w oparciu o informacje dotyczące możliwości produkcyjnych przedsiębiorstwa [5].

Zależnie od typu produkcji, mogą występować różne typy planowania produkcji. Odpowiednie zaplanowanie produkcji jest ciągłym wyzwaniem, przed którym stają przedsiębiorstwa produkcyjne. Problemy planowania często wiążą się z przydziałem zadań lub operacji do maszyn oraz wyznaczaniem zadań poszczególnym pracownikom.

Obecne warunki rynkowe wymuszają na przedsiębiorstwach poszukiwanie coraz skuteczniejszych rozwiązań w planowaniu produkcji. Również stały rozwój technologii produkcji wymaga ciągłego rozwijania metod wspomagających planowanie zadań produkcyjnych. Do metod stosowanych wykorzystywanych w planowaniu produkcji można zaliczyć:

- MRP (Material Requirements Planning – planowanie zapotrzebowania materiałowego),
- MRP II (Manufacturing Resource Planning – planowanie zasobów wytwórczych),
- ERP (Enterprise Resource Planning - planowanie zasobów przedsiębiorstwa),
- APS (Advanced planning and scheduling),
- SCM (Supply Chain Management – zarządzanie łańcuchem dostaw).

Najważniejszym efektem odpowiednio przeprowadzonego planowania jest szczegółowy plan przyszłej produkcji.

3. Zastosowanie Plant Simulation w planowaniu produkcji

W poniższym opracowaniu przedstawiono oprogramowanie wykorzystane w badaniu. Jednocześnie dokonana zostanie analiza planu produkcji w oparciu o dane archiwalne przedsiębiorstwa.

3.1. Narzędzie symulacyjne

Badania symulacyjne mają coraz szersze zastosowanie i są wykorzystywane w wielu gałęziach nauki. Symulacja komputerowa, jako metoda, jest układem czynności badawczych, czyli strukturą działań etapowych zmierzających do osiągnięcia celu badawczego. Są to następujące czynności [6, 7]:

- sformułowanie problemu,
- tworzenie modelu matematycznego,
- sformułowanie programu dla komputera,
- sprawdzenie poprawności modelu,
- zaplanowanie eksperymentów symulacyjnych,
- wykonanie przebiegów symulacyjnych i analiza wyników.

Wdrażanie komputerowych rozwiązań w inżynierii produkcji pozwala na zmniejszenie kosztów przedsiębiorstwa wynikających z błędnych decyzji podejmowanych podczas planowania produkcji. Symulacja procesów produkcyjnych jest techniką, która służy do rozwiązywania problemów występujących podczas procesu wytwarzania. Opiera się na modelach wirtualnych [8]. Tworzenie modeli symulacyjnych polega na komputerowym przedstawieniu danego modelu, w którym ukazana jest aktywność obiektu bądź systemu. Największym wymogiem symulacji jest prawidłowe odtworzenie aktywności pierwowzoru modelu.

Symulacje komputerowe są wskazywane jako najczęściej wybierane narzędzia do analizy możliwości optymalizacji procesów w inżynierii produkcji. Przeprowadzenie symulacji komputerowej pozwala na ocenę, czy przedsięwzięcie zostało właściwie zaprojektowane i czy jest prowadzone we właściwy sposób. Symulacja dostarcza całościowego, kompleksowego spojrzenia na badany proces bądź produkt, umożliwia analizę wielokryterialną i przetestowanie różnych scenariuszy [9].

Obecnie stosowanych jest wiele narzędzi komputerowych przeznaczonych do przeprowadzania symulacji procesów produkcyjnych, które pozwalają na budowę modeli symulacyjnych [10]. Ze względu na zbliżone lub w wielu przypadkach pokrywające się funkcjonalności oprogramowania, wybór systemu nie jest najważniejszy. Należy zwrócić uwagę na dostępność wybranego oprogramowania oraz możliwość zastosowania systemu do określonych problemów. Wykonywane badania w obszarze komputerowej symulacji procesów produkcyjnych wykorzystują różne systemy [10, 11]:

- Arena
- Enterprise Dynamics,
- Flexim,
- Matlab Simulink,
- Tecnomatix Plant Simulation,
- ShowFlow.
- SIMUL8.

Jednym z dostępnych rozwiązań jest oprogramowanie Plant Simulation firmy Siemens, które zostało wykorzystane w prezentowanym artykule. Na wybór Plant Simulation wpływ miała dostępność wersji badawczej systemu, a także szerokie możliwości jego zastosowania. Umożliwia on badanie zarówno dyskretnych, jak i ciągłych procesów produkcyjnych. Plant Simulation łączy w sobie dziedziny technologiczne, inżynierię produkcji oraz logistykę. Obejmuje również zagadnienia związane z planowaniem produkcji [12]. Plant Simulation, tak jak większość dostępnego oprogramowania umożliwiającego budowę wirtualnych modeli, umożliwia przeprowadzenie symulacji oraz analizy produktu w całym cyklu wytwórczym, obserwację i wyeliminowanie potencjalnych problemów, które mogłyby spowodować kosztowne i pracochłonne modyfikacje procesu w przyszłości, minimalizację kosztów inwestycyjnych oraz optymalizację działania istniejących systemów logistycznych i produkcyjnych przez zastosowanie modyfikacji przetestowanych wcześniej na modelu symulacyjnym [13]. Daje to możliwość zaplanowania zrównoważonego procesu produkcyjnego jeszcze przed jego wdrożeniem, jak również umożliwia przeprowadzenie analizy i optymalizacji już istniejących procesów [11].

Modele symulacyjne stosowane są w celu zmniejszenia ryzyka niepowodzenia przy wprowadzaniu istotnych zmian do istniejących systemów wytwórczych. Dzięki stosowaniu Plant Simulation przedsiębiorstwa mogą przeprowadzać testy i eksperymenty według wybranych scenariuszy oraz sprecyzować najlepsze strategie służące do znaczącego

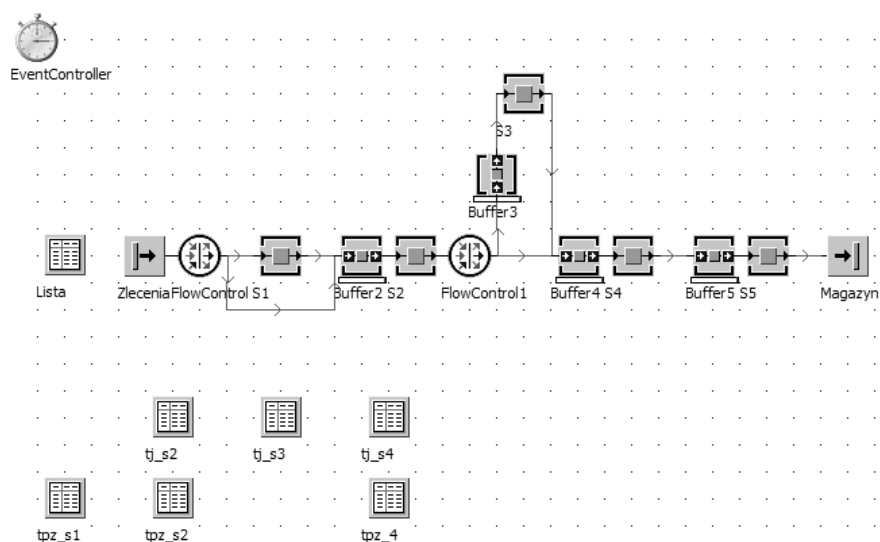
zwiększenia wydajności, zmniejszenia kosztów, zaoszczędzenia czasu, a także uzyskiwania zamierzonego poziomu jakości. Odbywa się to bez potrzeby przeprowadzania testów w obrębie hali produkcyjnej.

3.2. Koncepcja włączenia oprogramowania Plant Simulation do procesu planowania produkcji

Konstrukcja systemów produkcyjnych jest złożonym problemem inżynierskim wymagającym często wspólnego wykorzystywania zróżnicowanych metod i narzędzi.

Zaprojektowanie systemu planowania produkcji dla każdego przedsiębiorstwa jest poważnym wyzwaniem. Koncepcja wykorzystania wybranego oprogramowania została przedstawiona na przykładzie przedsiębiorstwa z branży poligraficznej. W omawianym przedsiębiorstwie główny harmonogram produkcji opracowywany jest w każdy piątek. Planowanie przyszłej produkcji poprzedzone jest kontrolą poprzedniego planu i zgromadzeniem zleceń klientów. Korzystając z wiedzy dotyczącej zaległych i nowych zleceń, a także informacji na temat poziomu zapasów tworzony jest plan produkcji na przyszły tydzień, który jest podstawą dalszych działań, dotyczących m.in. dostaw. Obecnie, przy planowaniu harmonogramu produkcji, pracownik odpowiadający za planowanie korzysta z wieloletniego doświadczenia i danych archiwalnych, przedstawiających czas przetwarzania wybranego zlecenia, bez narzędzia umożliwiającego dokładny pomiar czasu wykonania pojedynczych zleceń. Taka sytuacja skutkuje często nieprecyzyjnym wyznaczaniem zadań produkcyjnych, niewykonaniem pełnego planu w okresie zmiany roboczej lub niewykorzystaniem w całości dostępnego czasu. Ze względu na ograniczoną przestrzeń, ważnym zadaniem stojącym przed obsługą linii jest dostarczenie komponentów produkcyjnych w odpowiednim czasie.

Wykorzystanie oprogramowania Plant Simulation w procesie planowania produkcji wymaga wcześniejszego opracowania wirtualnego modelu przedstawiającego badaną linię produkcyjną (rysunek 2). Praca z systemem komputerowym powinna być poprzedzona szczegółową analizą badanego procesu.



Rys. 1. Wirtualny model badanego procesu produkcyjnego

Wirtualny model uwzględnia kluczowe parametry linii produkcyjnej przedsiębiorstwa, niezbędne do wykonania prawidłowej analizy, m.in. bazujące na danych archiwalnych ściśle określone czasy przetwarzania poszczególnych zleceń na dostępnych stanowiskach i czasy przebrożeń maszyn pomiędzy zleceniami. Stanowiska, oznaczone symbolami S1-S5, wyposażone są w pola odkładcze (przedstawione za pomocą obiektu Buffer) o pojemności 100 sztuk.

Dane wejściowe zostały określone na podstawie znajomości danych technologicznych procesu oraz danych dotyczących przepływów materiałów podczas produkcji. Szczególny nacisk zostało położony na odwzorowanie czynności związanych z obróbką pojedynczych komponentów.

Analizowany proces jest linią produkcyjną składającą się z pięciu stacji roboczych. Zależnie od zlecenia, część stanowisk może być wyłączona z planu produkcyjnego (tabela 1). Każda stacja jest wyposażona w pole odkładcze o pojemności 100 sztuk, na którym magazynowane są zapasy produkcji w toku. Wyjątkiem jest stanowisko pierwsze (S1), na które zlecenia kierowane są bezpośrednio z magazynu.

Tab. 1. Wykorzystanie stacji roboczych (Sx) w poszczególnych zleceniach (Zx).

Zlecenie	S1	S2	S3	S4	S5
Z1	+	+		+	+
Z2	+	+		+	+
Z3	+	+	+	+	+
Z4	+	+	+	+	+
Z5		+		+	+

Czas pracy linii wraz z przerwami wynosi 8 godzin i odwzorowuje jedną zmianę roboczą wraz z wyznaczoną przerwą, trwającą 15 minut. Nie uwzględniono danych dotyczących zużywanej energii oraz kosztów poszczególnych operacji. Model nie bierze również pod uwagę pracy wykonywanej przez pracowników, ponieważ nie jest to kluczowy element przebiegu omawianego procesu, którego funkcjonowanie określają maszyny. Dostępność wszystkich maszyn określono na poziomie 90%.

W tabeli 2 przedstawione zostały jednostkowe czasy obróbki i przebrożeń w poszczególnych zleceniach.

Tab. 2. Jednostkowe czasy obróbki i przebrożeń zleceń badanych w symulacji na poszczególnych stanowiskach.

Zlecenie	Stanowisko 1		Stanowisko 2		Stanowisko 3		Stanowisko 4		Stanowisko 5	
Z1	0.52	7:30	0.38	0:40	X	X	0.65	0:30	0:36	X
Z2	0.52	2:50	0.38	0:40	X	X	0.65	0:30	0:36	X
Z3	0.52	12:00	0.38	0:40	0.95	20:00	0.65	0:30	0:36	X
Z4	0.52	2:25	0.38	0:40	0.80	20:00	0.39	12:00	0:36	X
Z5	X	X	0.36	3:30	X	X	0.28	12:00	0:36	X
	tj	tj	tj	tpz	tj	tj	tpz	tpz	tj	tpz

gdzie:

tj – jednostkowy czas obróbki elementu; tpz – czas przebrożenia maszyny.

Ilość zleceń oraz ich wielkość w badanym przypadku została oparta na danych archiwalnych, przedstawiających wykonaną produkcję w czasie jednej zmiany roboczej (8 godzin). Wielkość poszczególnych partii produkcyjnych została przedstawiona w tabeli 3.

Tab. 3. Wielkość partii produkcyjnych w omawianym przypadku.

Zlecenie	Wielkość partii
Z1	175
Z2	115
Z3	145
Z4	160
Z5	130

Posiadając narzędzie w postaci modelu, możliwe staje się przeprowadzenie wielokrotnej symulacji i obserwacja reakcji stanowisk roboczych i systemu jako całości na zmienne warunki określone przez użytkownika.

Zadaniem modelu był pomiar czasu wykonania wskazanych zleceń w sytuacji, gdy poszczególne komponenty zostają przygotowane i dostarczone w momencie zwolnienia linii. Badany model przerwie pracę po upływie zmiany roboczej lub w chwili przetworzenia wszystkich zleceń z archiwalnego planu produkcji, którego wykonanie trwało pełną zmianę. Pozwoli to na porównanie różnic w czasie wykonania zlecenia pomiędzy planem, a cyfrowymi scenariuszami.

3.3. Wyniki symulacji komputerowej

Stanem wyjściowym był archiwalny plan produkcji. Badanie objęło cztery alternatywne plany produkcyjne (APP), różniące się pomiędzy sobą kolejnością wykonywania tych samych zleceń. Całkowity czas przetwarzania zleceń we wszystkich założonych scenariuszach przedstawia tabela 4. Jeden z badanych scenariuszy wykazał, że wybrana kolejność przetwarzania zleceń nie pozwoli na wykonanie założonego planu w czasie ośmiogodzinnej zmiany roboczej.

Tab. 4. Czasy przetwarzania badanych planów produkcyjnych.

Plan produkcyjny	Czas realizacji planu
Archiwalny plan	8:00:00
APP1	7:23:42
APP2	nie ukończono planu
APP3	7:48:12
APP4	7:24:21

Skonstruowany model umożliwia również odczyt czasu przetwarzania pojedynczych zleceń w każdym planie, co może okazać się pomocne w planowaniu przyszłych harmonogramów. W tabeli 5 ukazane zostały czasy szczegółowe poszczególnych zleceń w jednym z alternatywnych planów.

Tab. 5. Czasy przetwarzania pojedynczych zleceń w pierwszym alternatywnym planie produkcji (APP1).

Zlecenie	Czas przetwarzania zlecenia
Z1	53:20
Z2	2:16:20
Z3	3:07:50
Z4	3:55:15
Z5	3:01:20

Uzyskane wyniki pozwalają na określenie czasu przygotowania i dostarczenia kolejnych zleceń do przetwarzania, a także pomagają regulować pracę w magazynie wejściowym.

Dodatkowym aspektem, związanym z wykorzystaniem narzędzia symulacyjnego, jest możliwość badania wpływu szeregowania na wydajność produkcji. Dostępne oprogramowanie stwarza możliwości testowania wielu scenariuszy związanych z szeregowaniem zleceń. Poprawnie zbudowany model, pozwala na wybór najkorzystniejszego rozwiązania z punktu widzenia operatora.

Wykorzystanie Plant Simulation, jako narzędzia wspomagającego planowanie produkcji, pozwala na zrewidowanie niektórych założeń produkcyjnych, a także, ze względu na swój nieinwazyjny charakter, może usprawnić sterowanie produkcją bez potrzeby przerywania pracy linii. Poprawne wyznaczanie zadań produkcyjnych pozwala nanieść odpowiednie zmiany w harmonogramie dostaw.

Posiadając zdefiniowany zbiór zleceń oraz wirtualny model badanego obiektu, w oparciu o dane archiwalne lub prognozowane, możliwe jest wyznaczanie precyzyjnych planów produkcyjnych zarówno krótko, jak i długoterminowych. Spowoduje to usprawnienie pracy przedsiębiorstwa produkcyjnego, a także pomoże zmaksymalizować osiągnięte wyniki. Nie bez znaczenia jest także badanie reakcji systemu na nagłe zmiany produkcji, związane z awariami lub pilnymi zleceniami, często spotykanymi w branży poligraficznej.

4. Podsumowanie

Planowanie należy do głównych zadań sterowania produkcją. Polega na wyznaczeniu celów i dobraniu odpowiednich środków do ich osiągnięcia. Skuteczne planowanie produkcji ogranicza lub w niektórych przypadkach całkowicie eliminuje okresy oczekiwania pomiędzy partiami produkcyjnymi, pozwala także na optymalne wykorzystanie zasobów przedsiębiorstwa i sterowanie zapasami.

Cyfrowe odpowiedniki systemów produkcyjnych mogą być wykorzystywane w symulacji pracy hal produkcyjnych w celu oceny wpływu decyzji na plan produkcji. Ciągłe zmiany zachodzące podczas produkcji wymuszają na przedsiębiorcach szybką reakcję. Stosowanie modeli symulacyjnych pozwala na testowanie proponowanych zmian bez ingerencji w realny proces. Dzięki testom w środowisku wirtualnym, osoby odpowiedzialne za plan produkcji są w stanie przewidzieć zachowania linii w wybranych sytuacjach, co umożliwi odpowiednie sterowanie dostawami, zapasami oraz wyznaczanie zadań odpowiednim komórkom produkcyjnym. Należy jednak pamiętać, że testowanie wybranych scenariuszy wymaga wcześniejszego zbudowania wirtualnego modelu, który będzie odwzorowywał w odpowiednim stopniu realny proces. Błędnie wykonany model może doprowadzić do zbyt dużych odchyleń pomiędzy wirtualnym, a rzeczywistym

procesem produkcyjnym, co może skutkować m.in. opóźnieniem dostaw i wymuszać przestoje w pracy przedsiębiorstwa, skutkujące stratami finansowymi.

W artykule zaprezentowano możliwość wykorzystania jednego z dostępnych rozwiązań przeznaczonych do symulacji procesów produkcyjnych, jako narzędzie wspierające proces planowania produkcji. Przeprowadzone zostały symulacje, bazujące na danych pochodzących z przedsiębiorstwa branży poligraficznej.

Znajomość wielkości partii produkcyjnych poszczególnych wyrobów, jak też czas ich przetwarzania przez system, pozwalają na precyzyjne określenie terminów rozpoczęcia kolejnych zadań i wyznaczenie procesów przedprodukcyjnych oraz transportowych.

Warto zwrócić uwagę, że największym wymogiem symulacji jest prawidłowe odtworzenie aktywności pierwowzoru modelu. Warunkiem sukcesu zastosowania symulacji komputerowej do rozwiązywania problemów badawczych jest prawidłowe zbudowanie modelu i prawidłowe przeprowadzenie eksperymentu symulacyjnego. Prawidłowo wykonany model będzie miał wpływ nie tylko na linię produkcyjną przedsiębiorstwa, ale również na procesy poprzedzające główną produkcję, np. dostawy lub procesy magazynowe przygotowujące i mające bezpośredni wpływ na sprawność procesu produkcyjnego, oraz planowanie zadań kontrolnych i konserwacyjnych.

Model symulacyjny jest narzędziem służącym do weryfikacji działania procesów oraz daje możliwość czytelnej wizualizacji wybranych założeń. Ponadto, bazy danych zbudowane dla potrzeb modelu symulacyjnego mogą stanowić podstawę do budowy rzeczywistych procesów. Należy jednak pamiętać, że narzędzie, jakim jest symulacja, nie służy do podejmowania decyzji za menedżerów. Przeprowadzone eksperymenty symulacyjne dostarczają jedynie danych i informacji o procesach, które pomagają podjąć najlepsze decyzje. Ważna jest również stała weryfikacja wyników wykonywanych symulacji z danymi gromadzonymi podczas realizacji zleceń na linii produkcyjnej.

W badaniach wykorzystano produkt firmy Siemens – Tecnomatix Plant Simulation, który jest jednym z dostępnych na rynku narzędzi przeznaczonych do tworzenia modeli symulacyjnych. Dalsze badania będą skupiały się na badaniu szeregowania zadań produkcyjnych w dostępnym oprogramowaniu, a także na analizie możliwości zastosowania wybranych metod planowania produkcji w wirtualnych modelach procesów produkcyjnych oraz badaniu skuteczności otrzymanych rozwiązań w rzeczywistych procesach.

Literatura

1. Drabik, L., Sobol, E., Słownik języka polskiego PWN. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa, 2007.
2. Kraszewska, M., Wielopoziomowy system planowania produkcji na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa. Automatyka. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Kraków, 2008.
3. Burchart-Korol D., Furman J., Zarządzanie produkcją i usługami, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2007.
4. Trojanowska J., Pająk E., Planowanie i sterowanie produkcją wieloasortymentową, Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, 2012.
5. Ciecierska B., Perłowski R., Zielecki W., Planowanie produkcji pasów klinowych z wykorzystaniem Sita Glenday'a. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, 2015.

6. Gordon G., Symulacja systemów, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1974.
7. Naylor T.H., Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych, PWN, Warszawa, 1975.
8. Kłos, S., & Patalas-Maliszewska, J., Symulacja przebiegu procesów produkcyjnych w systemach przepływowych w oparciu o oprogramowanie Tecnomatix Plant Simulation, Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2016.
9. Siderska, J., Application of Tecnomatix Plant Simulation for modeling production and logistics processes. Business, Management and Education, Vol. 14, no. 1. 2016.
10. Ciszak, O., Komputerowo wspomagane modelowanie i symulacja procesów produkcyjnych. Zeszyty naukowe Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2007.
11. Danilczuk W., Cechowicz R., Gola A., Analiza konfiguracji linii produkcyjnych na podstawie modeli symulacyjnych, Informatyczne systemy zarządzania, Koszalin, 2014.
12. Plinta D., Production management with the use of digital factory tools, Pomiary, Automatyka, Robotyka, Warszawa, 2013.
13. Kostrzewski M., Porównanie metod projektowania magazynu – projektowanie wg procedury analitycznej oraz przy użyciu narzędzia symulacyjnego, Prace Naukowe PW seria Transport z. 70: Modelowanie Procesów Transportowych i Logistycznych, cz. II, Warszawa 2009.

Mgr Mateusz KIKOLSKI
Międzynarodowy Chiński i Środkowo-Wschodnioeuropejski Instytut Logistyki
i Nauki o Usługach
Politechnika Białostocka
15-351 Białystok, ul. Wiejska 45A
tel./fax: (0-85) 746 98 31
e-mail: m.kikolski@pb.edu.pl