

# SYMULACYJNY MODEL SSĄCEGO SYSTEMU STEROWANIA PRODUKCJĄ

Jacek RUDNICKI, Jacek ZABAWA

**Streszczenie:** Referat prezentuje doświadczenia z modelowania symulacyjnego z wykorzystaniem pakietu Extend dwóch alternatywnych systemów sterowania. Scharakteryzowano środowisko Extend, ze szczególnym uwzględnieniem możliwości tego pakietu w modelowaniu i analizowaniu procesów logistycznych. Opisano specyfikę opracowanego przez autorów symulacyjnego modelu ssącego systemu sterowania produkcją typu Kanban w porównaniu z modelem pchającego systemu typu MRP. Na koniec wyróżniono możliwości analityczno badawcze opracowanych modeli.

**Słowa kluczowe:** modelowanie symulacyjne, sterowanie produkcją, system ssący, Kanban

## 1. Wprowadzenie

W sterowaniu produkcją znajdują zastosowanie dwa alternatywne podejścia oparte na odmiennych zasadach zlecenia produkcji. Pierwsze podejście bazuje na zasadzie pchania i polega na centralnym planowaniu oraz harmonogramowaniu produkcji. Przedstawicielem tego podejścia jest system MRP (*Material Requirements Planning*). Drugie podejście bazuje na zasadzie ssania i polega na zleceniu produkcji bezpośrednio dostawcy na podstawie bieżącego zapotrzebowania odbiorcy. Przedstawicielem tego podejścia jest system *Kanban*. W danym przedsiębiorstwie mogą współistnieć oba systemy stosowane w sterowaniu produkcją odpowiednich wyrobów i ich składników. Prawidłowy przydział *ad hock* właściwego systemu sterowania do danych wyrobów i składników nie jest sprawą łatwą. Również samo ustalenie i ocena parametrów sterujących w wybranym systemie może okazać się trudnym i złożonym zadaniem. Błędne decyzje mają odbicie w nadmiernych zapasach lub niskim poziomie obsługi. Niewątpliwie symulacja może oddać w tym zakresie znaczące korzyści.

W referacie opisano zastosowanie pakietu symulacyjnego Extend do badań systemów sterowania produkcją, przy czym jako obiekt badań wykorzystano grę kierowniczą MRP – Kanban z powodzeniem stosowaną dotychczas przez autorów w treningu kadry menedżerskiej.

## 2. Środowisko Extend

Jednym z licznych pakietów oprogramowania umożliwiających modelowanie symulacyjne jest *Extend* firmy *Imagine That Inc.* [1]. W *Extendzie* można budować zarówno modele dyskretne jak i ciągłe (umiejętność programowania nie jest niezbędna). Modelowanie w *Extendzie* polega na przeciąganiu bloków z logicznie uporządkowanych bibliotek na pulpit roboczy, łączeniu bloków za pośrednictwem konektorów i linii, reprezentujących strumienie obiektów oraz przesyłanie informacji a także wprowadzaniu parametrów do okienek dialogowych poszczególnych bloków [2]. Sposób korzystania z programu przypomina nieco pakiet *Simprocess* [3,4]. Biblioteki *Extenda* oprócz bloków ogólnego zastosowania zawierają bloki specjalistyczne, ułatwiające modelowanie takich

zagadnień, jak procesy wytwórcze (biblioteka Manufacturing), czy *Business Process Reengineering* (biblioteka BPR). Stosunkowo łatwo zrealizować jest także rachunek kosztów (typu *Activity Based Costing*, koszty stałe i koszty zmienne). Środowisko *Extend* znajduje zastosowanie m.in. w dydaktyce modelowania symulacyjnego [5].

W artykule [6] można znaleźć omówienie wielowarstwowego modelu zarządzania łańcuchem dostaw integrującego model symulacyjny w *Extendzie* z bazą danych zarządzaną przez *Microsoft Excel*. Jak podkreślają autorzy, "użytkownicy są często zaskoczeni rygiem wymaganym podczas definiowania harmonogramów dla wszystkich maszyn. W większości przypadków zaskoczenie jest wynikiem konieczności zdefiniowania relacji, które są niezbędne do zadziałania modelu, natomiast w systemie rzeczywistym są realizowane bezpośrednio przez człowieka, pozostającego poza bezpośrednią bliskością stanowiska roboczego." Należy zdać sobie sprawę, że choć struktura harmonogramów wymagana przez *Extend* jest tylko jedną z wielu, to wysiłki towarzyszące tworzeniu takich harmonogramów na potrzeby konkretnego środowiska modelowania na pewno będą skutkować uświadomieniem przez twórcę/użytkownika modelu i systemu realnego złożonej informacyjnej struktury dzięki której funkcjonuje, lepiej lub gorzej, system rzeczywisty, czyli proces produkcyjny.

Jak wiadomo [6], celem symulacji łańcucha dostaw jest określenie wpływu zmian popytu, decyzji logistycznych, polityk produkcyjnych oraz wydajności dostawców na niezawodność, szybkość, koszt oraz zdolności wytwórcze systemu. Prawidłowa sytuacja charakteryzuje się elastycznością i odpowiednim dostosowaniem łańcucha dostaw nawet w warunkach niepewności na rynku, zawodnością maszyn oraz zmiennej wydajności dostawców.

Środowisko *Extend* pozwoliło autorom na konstrukcję narzędzia badawczego nad symulacyjnymi modelami dwóch odmiennych wzorców harmonogramowania i sterowania produkcji – pchającego (*push system*) i ssącego (*pull system*). Podstawą systemu ssącego, opisanego w dalszej części pracy, jest sterowanie przepływem materiałów za pomocą systemu *Kanban* - bezpośredniego i natychmiastowego zamawiania u dostawcy - producenta przez bezpośredniego odbiorcę produktu lub składnika, w wymaganej ilości i w wymaganym czasie.

System pchający bazuje natomiast na harmonogramach produkcyjnych skonstruowanych dla faz produkcyjnych i czasowych według prognoz popytu. Planowane zlecenia produkcyjne mogą być generowane przez system *MRP*, który spełnia przesłanki pozwalające określić go jako system pchający. Działanie systemów *MRP* i *Kanban* oraz podstawy modelowania w środowisku *Extend* przedstawiono w [7]. Bardzo uproszczony, kilku blokowy model *Kanban* można znaleźć w pakiecie *Extend*.

### **3. Zasady gry MRP – Kanban**

Przedmiotem badań autorów jest kierownicza gra symulacyjna MRP - Kanban. Zasady tej gry są następujące:

Zakład produkuje dwa rodzaje produktów finalnych, tzn. przekładnie i wciągarki. Na podstawie danych historycznych o sprzedaży, planiści ustalili prognozy popytu z których wynika, że klienci potrzebują 3 produkty każdego rodzaju przez następne 5 okresów sprzedaży (np. tygodni). W grze okres sprzedaży odpowiada dwóm minutom. Symuluje się różne podejścia w sterowaniu produkcją dla zaspokajania bieżącego popytu klientów. Docelowo każde podejście będzie testowane w tych samych warunkach: kolejność i

terminy nadejścia zamówień będą takie same w każdej iteracji gry. Po każdej iteracji (np. 5 okresów) gry, oczekuje się propozycji usprawnień od uczestników.

Struktura wyrobów (tab. 1) oraz wielkości partii produkcyjnych i zapasów początkowych są następujące:

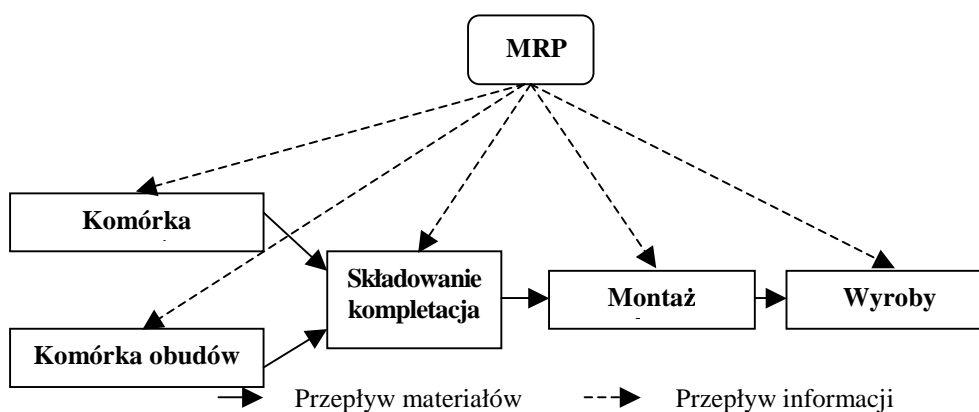
Tab. 1. Struktura wyrobów

Składnik	Przekładnia	Wciągarka	Łącznie
Podwójne koło zębate	1	0	1
Mały wał z kołem zębatym	1	1	2
Duży wał z kołem zębatym	1	1	2
Górna obudowa	1	1	2
Dolna obudowa	1	0	1

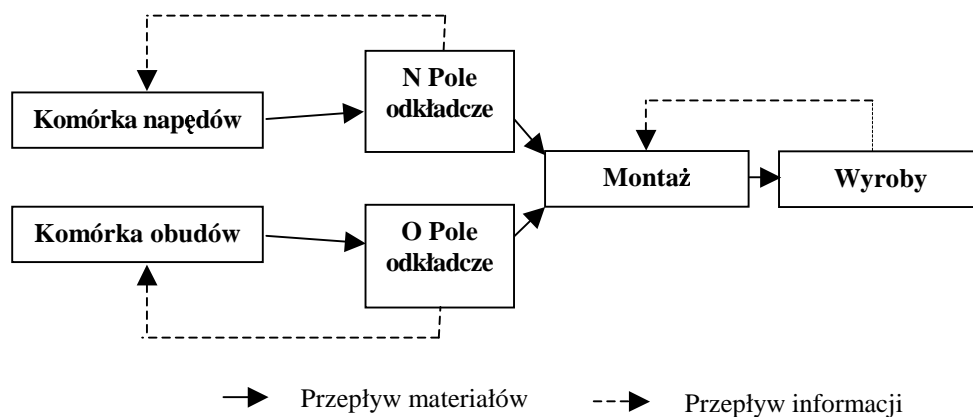
Tab. 2. Wielkości partii produkcyjnych oraz zapasy początkowe

Komórka	Wyszczególnienie	Wielkość partii	Zapasy początkowe
Montaż końcowy	Przekładnie	4	5
	Wciągarki	4	5
Montaż zespołu napędów	Podwójne koło zębate	4	5
	Mały wał z kołem zębatym	12	10
	Duży wał z kołem zębatym	12	10
Montaż obudów	Górna obudowa	8	5
	Dolna obudowa	4	5

Struktury systemów produkcyjnych i sterowania MRP oraz Kanban prezentują rys. 1 i 2.



Rys.1. Struktura systemu produkcyjnego z pchającym systemem sterującym (MRP)



Rys.2. Struktura systemu produkcyjnego z ssącym systemem sterującym Kanban.

System pchający (MRP) pracuje w następujący sposób:

**Komórka napędów**

Pracuje wg harmonogramu:

4 Podwójne koła zębate – 30 sek.; Przebrojenie; 12 dużych wałów z kołem zębatym – 30 sek.; Przebrojenie; 12 Małych wałów z kołem zębatym -30 sek.; Przebrojenie; Itd.

**Komórka obudów**

Pracuje wg harmonogramu:

4 Górne obudowy – 30 sek.; Przebrojenie; 8 Dolnych obudów – 30 sek.; Przebrojenie; Itd.

**Komórka kompletacji**

Dostarcza zestawy montażowe do montażu finalnego zgodnie z harmonogramem montażu końcowego.

**Montaż końcowy**

Pracuje wg harmonogramu:

4 Przekładnie – 30 sek.; Przebrojenie; 4 Wciągarki 30 sek.; Przebrojenie; Itd.

System ssący (Kanban) pracuje w następujący sposób:

Poziom zapasów początkowych jest taki sam jak w systemie pchającym. Przepływ materiału sterowany za pomocą systemu *Kanban*, a nie według planu. Czas przebrojenia 30 sekund. Kompletowania zespołów nie prowadzi się.

**Komórka napędów.**

Wytwarza partię pozycji jeśli poziom zapasu spadnie poniżej punktu ponawiania zamówienia (PPZ).

Tab. 3. Punkt ponawiania zamówienia i wielkość partii – kanbanu napędów

Pozycja	PPZ	Wielkość partii
Podwójne koło zębate	6	4
Mały wał z kołem zębatym	3	2
Duży wał z kołem zębatym	3	2

Jeżeli poziom zapasu więcej niż jednej pozycji osiągnie lub spadnie poniżej PPZ należy wytworzyć jako pierwszą tą z najniższym zapasem lub wytwarzać zgodnie z preferencjami Montażu końcowego. Jeżeli następują kolejno po sobie partie tej samej pozycji, to przebrojenie nie występuje między nimi.

**Komórka obudów.**

Wytwarza partię pozycji jeśli poziom zapasu spadnie poniżej punktu ponawiania zamówienia (PPZ).

Tab. 4. Punkt ponawiania zamówienia i wielkość partii – kanbanu obudów

Pozycja	PPZ	Wielkość partii
Górna obudowa	6	4
Dolna obudowa	3	2

Jeżeli poziom zapasu więcej niż jednej pozycji osiągnie lub spadnie poniżej PPZ, należy wytworzyć jako pierwszą tą z najniższym zapasem lub wytwarzać zgodnie z preferencjami Montażu końcowego. Jeżeli następują kolejno po sobie partie tej samej pozycji, to przebrojenie nie występuje między nimi.

**Montaż końcowy.**

Wytwarza partię wyrobu jeśli poziom zapasu spadnie poniżej punktu ponawiania zamówienia (PPZ).

Tab. 5. Punkt ponawiania zamówienia i wielkość partii – kanbanu wyrobów finalnych

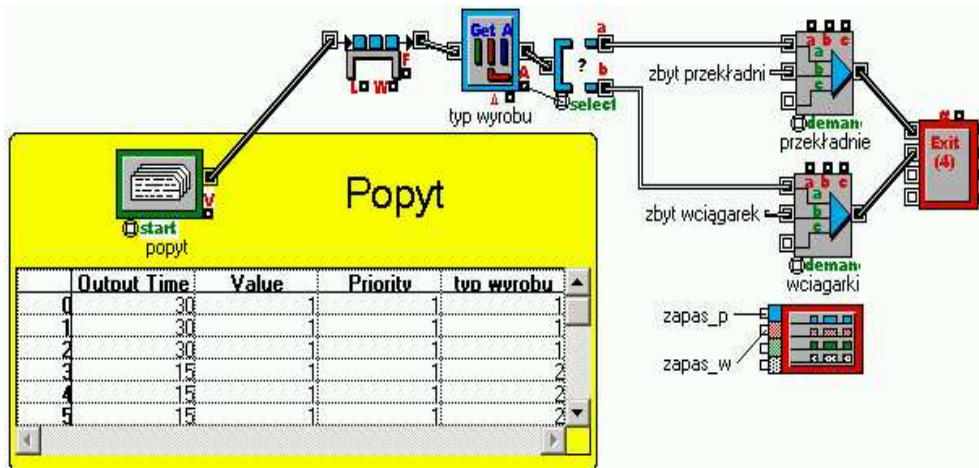
Pozycja	PPZ	Wielkość partii
Przekładnia	4	4
Wciągarka	4	4

Jak widać z powyższej charakterystyki, system ssący (*Kanban*) powinien dostosowywać swoje działanie “elastycznie” nawet do zmieniającego się dynamicznie strumienia wejściowego (zamówień), manifestując pewne znamiona “inteligencji” tzn. reagowanie na poziom zapasów określonego składnika oraz przeobrażanie zgodne z rzeczywistymi potrzebami, natomiast sterowanie systemem przez człowieka dotyczy ustalenia wielkości partii, preferencji montażu oraz poziomów ponawiania zamówienia PPZ.

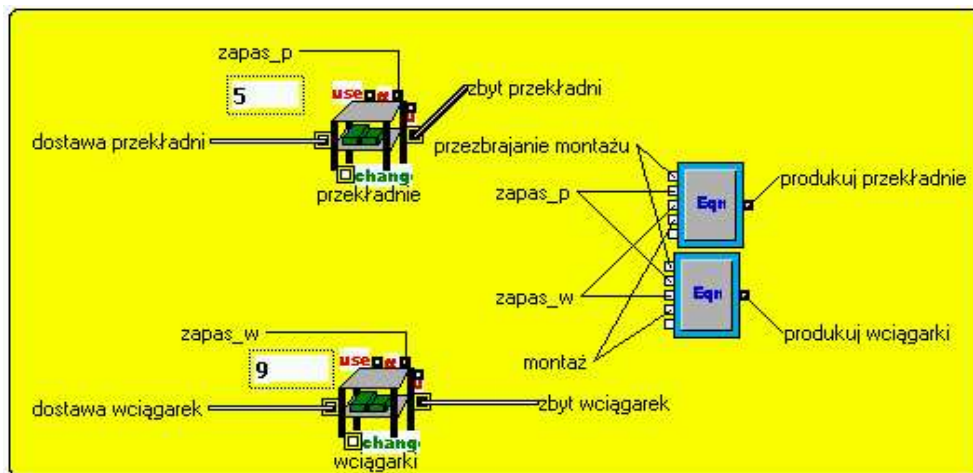
Drugie podejście do wzorca sterowania produkcją, (system pchający *MRP*) bazuje dodatkowo, na ustalonym przez system *MRP* i zarządzających, dokładnie określonym harmonogramie wytwarzania, montażu i kompletacji. Stąd można postawić hipotezę, że w pewnych sytuacjach (niepewność dotycząca strumienia zamówień) system ssący powinien wykazać swoją przewagę nad systemem pchającym, tzn. że będzie charakteryzować się mniejszymi przeciętnymi zapasami, bardziej równomiernym obciążeniem zasobów (maszyn i pracowników produkcyjnych), rzadszym przeobrażaniem oraz jakością obsługi (krótszym średnim czasem potrzebnym na realizację zamówienia, mniejszą liczbą niewykonanych na czas zamówień itp.). Z drugiej strony złożoność symulacyjnego modelu systemu ssącego będzie znacznie większa niż systemu pchającego.

#### 4. Moduły modeli symulacyjnych Kanban

Poniżej przedstawiono poszczególne moduły modeli symulacyjnych. Moduły te stanowią modele elementarnych struktur systemu produkcyjnego sterowanego zgodnie z zasadą ssania.

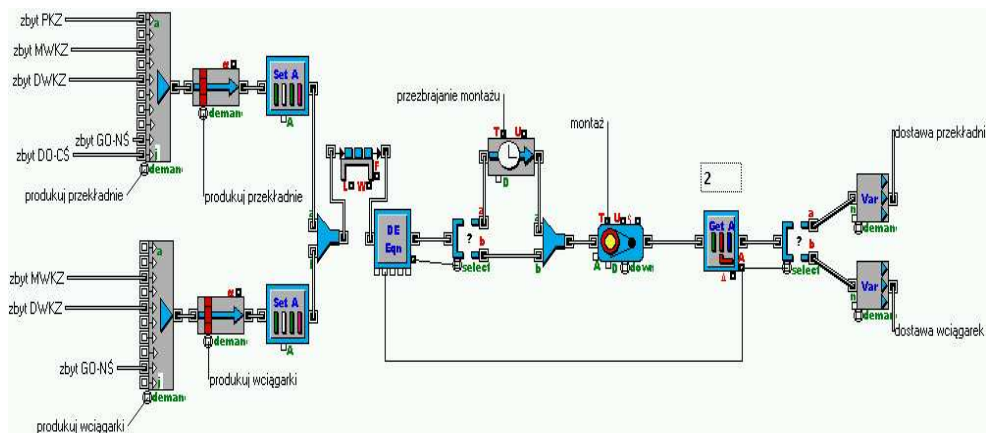


Rys.3. System ssący (Kanban). Moduł generowania zamówień (harmonogram zamówień), pobieranie wyrobów z magazynu i wykresy.



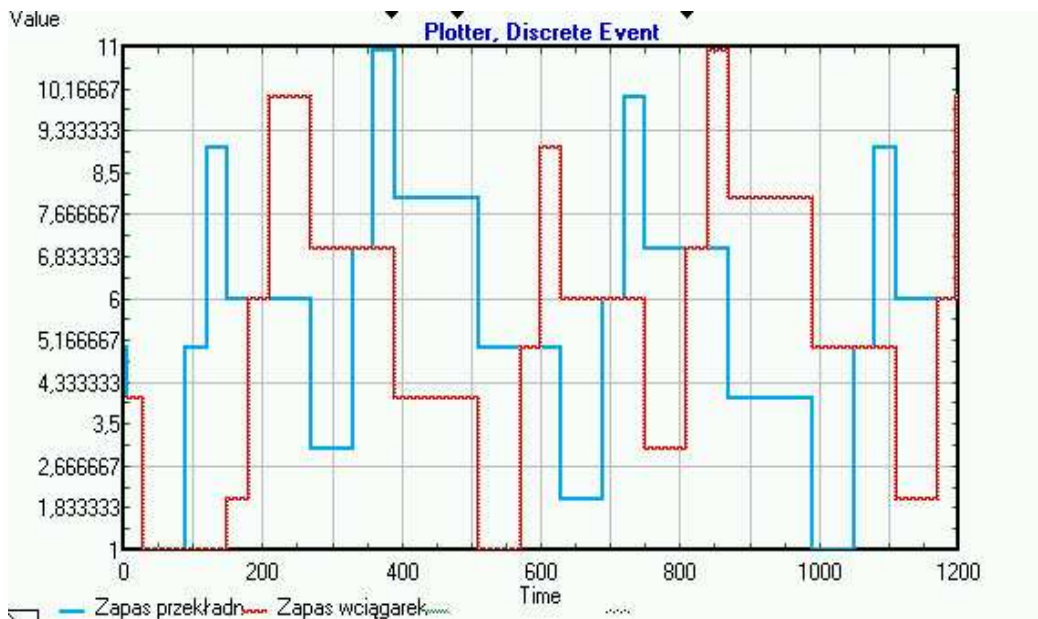
Rys. 4. System ssący (Kanban). Moduł uruchamiania dostaw wyrobów oraz preferencji produkcyjnych.

Sygnal “produkcuj wciągarki” definiowany jest jako wartość logiczna wyrażenia  $(zapas\_p \leq zaspas\_w) \text{ and } (zapas\_p < 4) \text{ and } (\text{not}(\text{przezbrajanie})) \text{ and } (\text{not}(\text{montaż}))$ ;



Rys.5. System ssący (Kanban). Model podsystemu montażu wyrobów gotowych (wciągarek i przekładni).

W modelu założono, że dostawcy materiałów wejściowych nie stanowią ograniczenia i system został tak zamodelowany aby materiał był dostępny w każdym momencie czasowym w wymaganej ilości.



Rys.6. System ssący (Kanban). Wyniki eksperymentu dla 10 okresów 2 minutowych. Wykresy zapasów wyrobów gotowych.

Opracowane modele symulacyjne systemów *Kanban* i *MRP* umożliwiają przeprowadzenie eksperymentalnych badań dotyczących następujących analiz:

- a) wpływ poziomu sygnalizacyjnego zapasów (PPZ) na liczbę przebrojeń w komórce napędów i komórce obudów,
- b) wymagany rozmiar pola odkładczego (wyznaczany przez maksymalny poziom zapasów),
- c) poziom obsługi (czas oczekiwania na realizację zamówienia) w funkcji parametrów strumienia zamówień,
- d) decyzja o wyborze wzorca zarządzania produkcją ze względu na poziom obsługi: *Kanban* lub *MRP* w zależności od realizacji rozkładu zmiennych losowych i jego parametrów, harmonogramy dostaw, wpływ stochastyczności dostaw,
- e) poziom obsługi w funkcji częstości przestojów i awarii maszyn.

Modele *Kanban* oraz *MRP* wraz elementarnymi modułami struktur mogą także znaleźć zastosowanie w badaniach symulacyjnych łańcuchów dostaw opisanych modelem ssącym [8].

## 5. Uwagi końcowe

Prowadzone przez autorów badania wykazały dużą przydatność pakietu Extend w modelowaniu procesów logistycznych w tym także w modelowaniu symulacyjnym ssącego systemu sterowania produkcją typu *Kanban*. Opracowane elementarne moduły struktury modelowanego systemu mogą być efektywnie wykorzystywane w modelowaniu różnorodnych systemów produkcyjnych i logistycznych sterowanych zarówno według zasady ssania jak i zasady pchania.

## Literatura

1. [www.imaginethat.inc](http://www.imaginethat.inc)
2. Krahl, D., The Extend Simulation Environment, Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, J.A. Joines, R.R. Barton, K. Kang and P.A. Fishwick, eds
3. [www.caci.com](http://www.caci.com)
4. Harrington, J., Tumay K., Simulation Modeling Methods, New York, McGraw-Hill, 2000
5. Zabawa J., Pakiet Extend w dydaktyce modelowania symulacyjnego; SSG Antałówka 2001, Politechnika Wrocławska
6. Phelps, R., A., Parsons, D., J., Siprelle, A., J., The SDI Industry Product Suite: Simulation from the Production Line to the Supply Chain, Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference  
J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, and P. A. Fishwick, eds.
7. Russell R. S., Taylor III, B., W., Operations Management, Prentice Hall 2000
8. Rudnicki J., Internet Integration of Supply Chain, ISAT,2001

Dr inż. Jacek Rudnicki  
Mgr inż. Jacek Zabawa  
Instytut Organizacji i Zarządzania  
Wydział Informatyki i Zarządzania  
Politechnika Wrocławska  
50-371, ul. Smoluchowskiego 25  
e-mail: [rudnicki@ioz.pwr.wroc.pl](mailto:rudnicki@ioz.pwr.wroc.pl)  
[zabawa@ioz.pwr.wroc.pl](mailto:zabawa@ioz.pwr.wroc.pl)