

MARZENA KRAMARZ, WŁODZIMIERZ KRAMARZ
Politechnika Śląska

TECHNIKI SYMULACYJNE W MODELOWANIU PROCESÓW BIZNESOWYCH W SIECIACH PRODUKCYJNO-LOGISTYCZNYCH

Wprowadzenie

Złożoność produktów, indywidualizacja i wielowariantowość stanowią istotne problemy współczesnych systemów produkcyjno-logistycznych. Ponadto wahania popytu i niepewność otoczenia mikro i makro utrudniają projektowanie procesów biznesowych i realizację głównego celu logistycznego, jakim jest skuteczne realizowanie zamówień klientów. Przez skuteczne realizowanie procesów logistycznych rozumie się terminowe, pewne, kompletne i elastyczne dostarczenie produktu do klienta.

Projektowanie sieci na poszczególnych poziomach łańcucha dostaw (zaopatrzenie, produkcja i dystrybucja) jest wyzwaniem strategicznym, a także ma swoje konsekwencje w zarządzaniu operacyjnym, w tym w sterowaniu przepływami materiałowymi.

W artykule rozważono możliwości wykorzystania technik symulacyjnych dla modelowania procesów w sieciach współpracujących przedsiębiorstw. W rozdziale 1 szczególną uwagę zwrócono na dynamikę systemów zarządzania oraz modelowanie zdarzeń i procesów oraz wskazano zastosowanie technik symulacyjnych w obszarze strategicznej konfiguracji sieci dystrybucji. Rozdział 2 jest próbą konceptualizacji modelu symulacyjnego dla potrzeb modelowania przepływów materiałowych i informacyjnych w sieci logistyczno-produkcyjnej. Badania prezentowane w artykule prowadzone są w ramach projektu badawczego własnego *System informatyczny wspomagający sterowanie przepływami materiałowymi w sieci na przykładzie wyrobów hutniczych*.

1. Dynamika Systemów Zarządzania w modelowaniu symulacyjnym kooperacji w sieciach produkcyjno-logistycznych

W problematyce zarządzania łańcuchem dostaw (SCM) modelowanie symulacyjne dotyczy zwłaszcza modelowania poziomu zapasów, rozmieszczenia węzłowych obiektów sieci (magazynów i zakładów produkcyjnych) w celu optymalnego pokrycia rynku i symulacji kosztów transportowych w zależności od konfiguracji sieci dostaw. Stąd też wykorzystywane są różne techniki modelowania symulacyjnego. Trzy najbardziej popularne klasy to: Dynamika Systemów Zarządzania, Agent Base Modelling oraz symulacja zdarzeń dyskretnych (Discret Events). W niektórych publikacjach autorzy łączą różne modele dla uzyskania bardziej kompleksowego efektu. Rabelo et al. (2008) zaproponowali metodykę pozwalającą identyfikować przyczyny, które stymulują zachowanie się systemu inne niż przewidywane, łącząc na poszczególnych etapach analizy różne techniki symulacyjne. Autorzy opracowali kilka wariantów decyzyjnych, które eliminują lub stymulują pewne zachowania wynikające z zakłóceń w systemie. Analizowali zachowanie łańcucha dostaw w następujących fazach: zastosowanie dynamiki systemów, analiza, identyfikacja i kategoryzacja czynników zmian, badanie zmienności parametrów systemów dla różnych stanów, identyfikacja potencjalnych możliwości modyfikacji w układzie łańcucha dostaw w odniesieniu do redukcji lub stymulowania niestabilnych zachowań. Uwzględniając wyniki badań Rabelo et al. (2008), w artykule podkreślono dwa problemy decyzyjne: pierwszy występujący na poziomie strategicznym, związanym z projektowaniem systemu logistyczno-produkcyjnego dla potrzeb realizacji zadań odroczonej produkcji, a drugi na poziomie operacyjnym, związanym z problemem reakcji na zakłócenia pojawiające się na etapie konfiguracji dostępnych w sieci zasobów dla potrzeb realizacji zleceń.

Warianty decyzji zasobowych (strategiczných) związanych z inwestycjami w infrastrukturę logistyczno-produkcyjną w literaturze rozważane są między innymi poprzez włączenie sieciowej bazy zasobów (wspólnota zasobów)¹. Van Mieghem (2008) badał możliwości przenoszenia i kombinacji zasobów dla lepszej odpowiedzi na niepewne wydarzenia, włączając w warianty decyzyjne kooperację w sieci w celu pozyskania wyspecjalizowanych zasobów partnerów i inwestycję we własne elastyczne zasoby. Można więc zauważyć, że warianty decyzyjne analizowane przez Van Mieghema (2008) są zbieżne z przedstawianymi wariantami w tym rozdziale. W modelu zaprezentowanym w tym rozdziale nie uwzględniono jednakże elastyczności zasobów, skoncentrowano się natomiast na wahaniach popytu jako istotnym motywie budowania relacji sieciowych, a także uwzględniono dwie formy kooperacji (w oparciu o umowę kooperacyjną i współpracę nieformalną), stąd też

¹ R. Van Mieghem, *Newsvendor networks: Inventory Management and Capacity Investment with Discretionary Activities* 2008.

metodyka badań zaproponowana do analizy konfiguracji takiego złożonego systemu jest odmienna niż w pracy Van Mieghema (2008).

Dobierając technikę symulacji dla tak zdefiniowanego problemu badawczego (dobór formy relacji dla potrzeb pozyskania zasobu substytucyjnego w celu ograniczenia utraconej sprzedaży w warunkach popytu stabilnego oraz znacznych wahań popytu), szczególną uwagę zwrócono na Dynamikę Systemów Zarządzania.

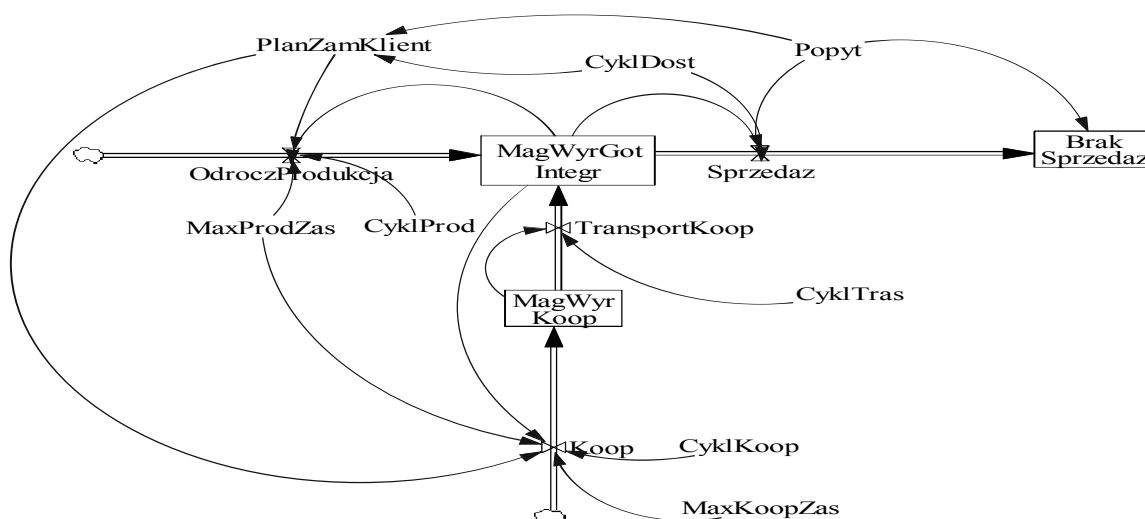
W modelowaniu symulacyjnym zaprezentowanym w tym rozdziale skoncentrowano się na pozyskiwaniu przez przedsiębiorstwo bazowe zasobów (dystrybutor wyrobów hutniczych realizujący zadania odroczonej produkcji) substytucyjnych względem tego zasobu, który cechuje się zdolnościami produkcyjnymi niewystarczającymi do pełnego zaspokojenia potrzeb zgłaszanych przez klientów. Zasób ten pozyskiwany jest poprzez kooperację. Analizowano dwie najbardziej popularne formy nawiązywania współpracy w tej branży: współpracę formalną w oparciu o umowy kooperacyjne oraz współpracę nieformalną. Uwzględniono zależność pomiędzy typem relacji a dostępnością zasobu partnera. W zależności od wielkości wpływających zamówień, uwzględniając limit zasobu będącego w posiadaniu przedsiębiorstwa bazowego oraz stan magazynu wyrobów gotowych, uruchamiana jest kooperacja. Celem zasadniczym jest pełne zrealizowanie wpływających do przedsiębiorstwa zamówień w wyznaczonym standardzie czasowym, nieprzekraczającym 3 tygodni. Tym samym dąży się do redukcji utraconej sprzedaży.

Proces realizacji zamówień z uwzględnieniem zasobu kooperanta zostaje uruchomiony po wpłynięciu zamówień przekraczających stan magazynowy i zdolności zasobowe przedsiębiorstwa. W zależności od typu współpracy zamówienie u kooperanta przebiega albo zgodnie z ustaleniami zawartymi w umowie kooperacyjnej (dostępność zasobowa na poziomie 30 ton), albo w przypadku współpracy nieformalnej – zgodnie z aktualnie dostępnymi mocami wytwórczymi (dostępność zasobowa jest zmienną losową). W obydwu przypadkach zamówienie wysyłane jest do magazynu integratora po wcześniejszej kompletacji. W przypadku umowy kooperacyjnej ustalono minimalną partię dostaw na poziomie 30 ton. Kooperacja nieformalna pozwala na uruchomienie dostawy od 10 ton.

Modelowanie symulacyjne przeprowadzono w programie Vensim (rysunek 1). W eksperymencie badano wpływ wahań popytu na ilość realizowanych terminowo zamówień. Wartości, które wzięto pod uwagę przy eksperymentach, ustalono na podstawie badań ankietowych zrealizowanych w 2010 roku w sektorze dystrybucji wyrobów hutniczych w Polsce oraz statystycznych danych branżowych. W modelowaniu uwzględniono dwa spośród trzech stanów zmienności popytu według reguły Pareto: popyt stabilny (zmienność w przedziale $<0-20\%>$), popyt niestabilny (zmienność w przedziale $(20-50\%>$). Nie uwzględniono trzeciego stanu zmienności – popyt całkowicie niestabilny o wahaniami przekraczających 50%, gdyż takich stanów systemu nie odnotowano w danych rzeczywistych. Przyjęto, że granicznymi

wartościami wykorzystania zasobów, które stanowią motyw nawiązania kooperacji, jest przynajmniej 80-procentowe wykorzystanie zasobów.

Przebieg eksperymentów wykazał, że wraz ze zmiennością popytu wzrasta znaczenie współpracy w zakresie zasobów substytucyjnych. Przy założeniach przyjętych w badaniach kooperacja formalna przynosi zawsze większe korzyści niż współpraca nieformalna. Posiadanie umowy kooperacyjnej zapewnia równomierne obciążenie zasobów integratora. W przypadku popytu niestabilnego utracona sprzedaż dla współpracy nieformalnej jest wyższa niż współpracy w oparciu o umowę kooperacyjną. Jest to spowodowane zmienną dostępnością zasobów kooperanta, z którym nie zawarto umowy kooperacyjnej. W związku z tym w opracowaniu koncepcji modelu kooperacji (rozdział 4) dla potrzeb analizy zakłóceń w przepływach materiałowych uwzględniono wyłącznie współpracę formalną.



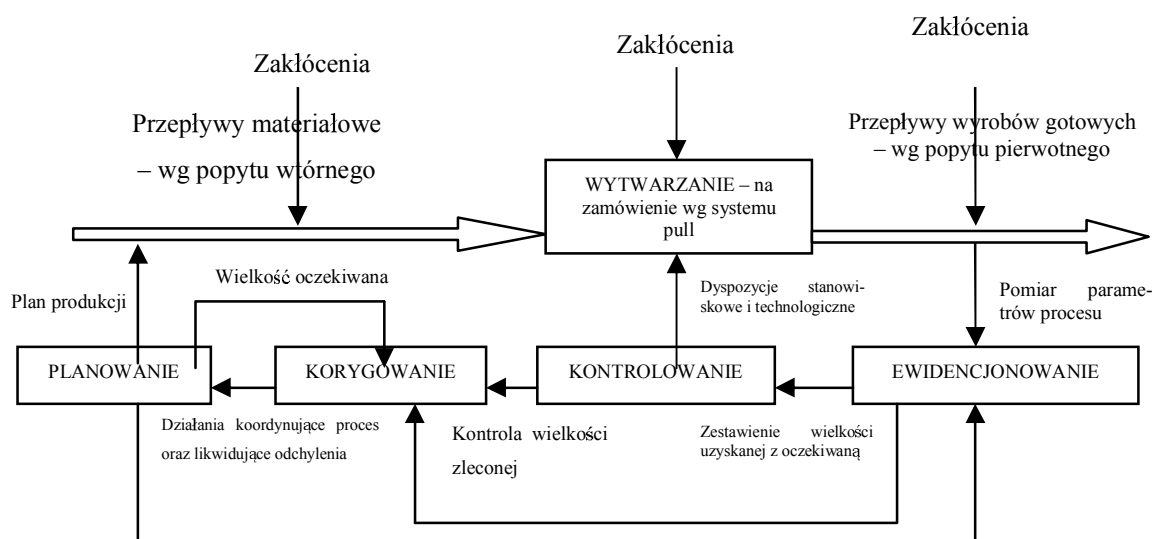
Gdzie: OdroczProdukcja – odroczonego produkcji, MagWyrGotIntegr – magazyn wyrobów gotowych integratora, Brak Sprzedaz – utracona sprzedaż, MaxProdZas – maksymalne zdolności produkcyjne zasobu integratora, CyklProd – cykl produkcyjny, CyklDost – cykl realizacji zamówienia, PlanZamKlient – plan zamówień klientów, CyklKoop – cykl produkcyjny kooperatora, TransportKoop – cykl transportowy integrator – kooperator, MaxKoopZas – maksymalne zdolności produkcyjne kooperatora, MagWyrKoop – magazyn wyrobów gotowych kooperatora

Rys. 1. Model współpracy integrator – kooperant

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem pakietu Vensim.

2. Konceptualizacja modelu symulacji sterowania przepływami materiałowymi w sieci

Sterowanie przepływami materiałowymi w sieci logistyczno-produkcyjnej wymaga opracowania sposobu reakcji organizacji na zakłócenia pojawiające się w trakcie przebiegu procesu realizacji zleceń i podwykonawstwa. Analiza zakłóceń w przepływach materiałowych w sieci współpracujących przedsiębiorstw wymagać będzie identyfikacji czynników determinujących przebieg procesu realizacji zamówienia. Ogólny schemat procesów realizacji zamówienia w systemie produkcyjno-logistycznym przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Ogólny schemat układu sterowania przepływem materiałowym w systemie produkcyjno-logistycznym

Źródło: opracowanie własne.

Plan stanowi normę układu sterowania zawierającą wykaz asortymentu, wielkość zlecaną i oczekiwaną produkcji, termin wykonania oraz parametry technologiczne, kontrolne i sterujące, do których zalicza się między innymi: wielkość partii, cykl produkcyjny oraz wielkość zapasów w toku. Pomiar parametrów obrazujących realizację procesu produkcji jest podstawą decyzji koordynujących przepływy materiałowe. Likwidacja odchylenia może być realizowana poprzez dyspozycje stanowiskowe, materiałowe lub parametry techniczne operacji bez zmiany wielkości planowanych. Innym wariantem działań regulującym przepływ i zmierzającym do wyrównania wielkości oczekiwanej z uzyskiwaną jest korekta przyjętych norm. Korygowanie warunków realizacji procesu produkcji jest najradkalniejszym działaniem zmierzającym do zmiany algorytmu operacyjnego planowania produkcji.

Zakłócenia w złożonym systemie produkcyjno-logistycznym (sieci) identyfikowane są zarówno na wejściu do systemu, w przepływach materiałowych w systemie, jak i na wyjściu z systemu. W literaturze logistycznej zakłócenia w przepływach dyskutowane są niezwykle rzadko. Najwięcej dyskusji w tym obszarze odnosi się do definiowania ryzyka w procesach logistycznych. Tang (2006) rozważa Zarządzanie Ryzykiem w Łańcuchu Dostaw (SCRM) jako zbiór wszystkich rodzajów zdarzeń, które mogą wywołać nieplanowane zmiany w systemie począwszy od czynników operacyjnych wewnątrzorganizacyjnych, a skończywszy na czynnikach losowych, takich jak katastrofy, terroryzm itd. Podobnie inni autorzy specjalizujący się w zarządzaniu ryzykiem w łańcuchu dostaw jako źródła ryzyka przyjmują szeroką bazę potencjalnych zakłóceń, zwracając jednakże uwagę, że nie wszystkie takie zdarzenia wymagają nadzwyczajnego zaangażowania zasobów przedsiębiorstwa. W miarę wzrostu zainteresowania różnymi formami współpracy w sieciach i w łańcuchach dostaw pojawiają się badania wskazujące relacje międzyorganizacyjne jako jedno ze źródeł powstawania zakłóceń powodujących odchylenia w procesach logistycznych i produkcyjnych². Ze względu na złożoność procesów produkcyjnych realizowanych w kooperacji z innymi przedsiębiorstwami prowadzenie badań na rzeczywistym systemie produkcyjnym jest niezwykle trudne, czasochłonne i kosztowne. Modele symulacyjne umożliwiają natomiast prowadzenie analizy procesu poprzez poddawanie go nowym warunkom. Szczególnie w przypadku złożonych elastycznych systemów produkcyjnych modyfikacje wyposażenia technologicznego i projektowanie algorytmów sterowania wygodniej jest przeprowadzić na podstawie modeli symulacyjnych³.

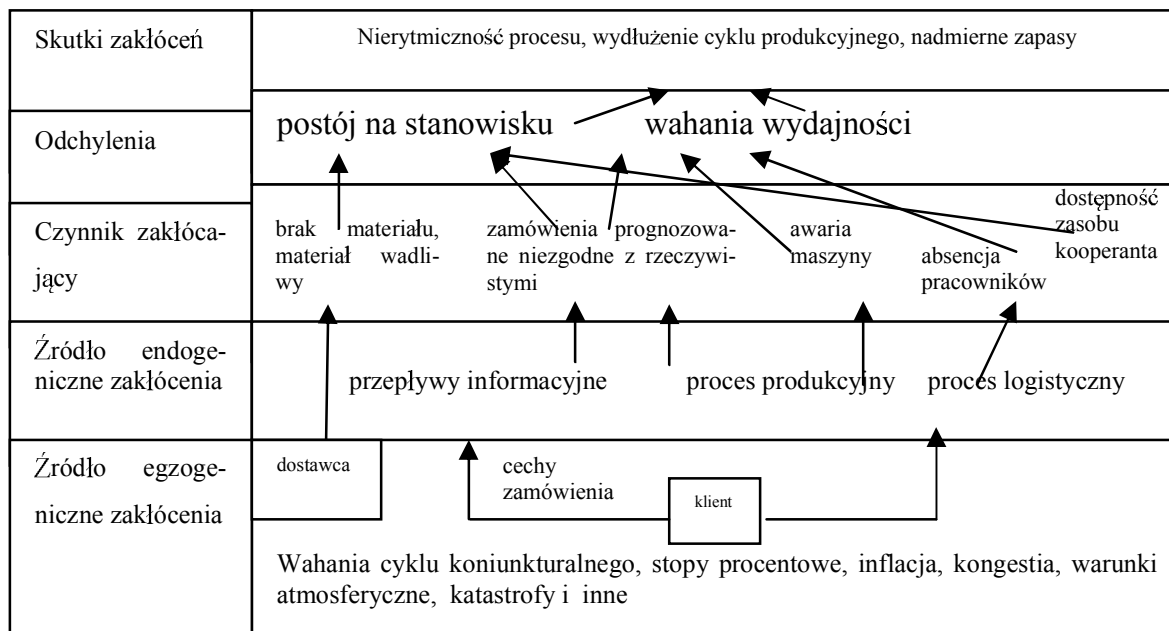
Problem analizy zakłóceń jest wieloetapowy i obejmuje identyfikację: miejsca pojawiania się czynnika zakłócającego, elementu, który jest źródłem zakłóceń, zakłócenia (trudność w funkcjonowaniu procesu), odchylenia (jako skutków zakłóceń), strat (związanych z pojawianiem się odchylenia). Czynniki zakłócające to wszelkie nieoczekiwane zdarzenia mające destrukcyjny wpływ na system, wywołujące zmianę stanu systemu w kierunkach dalekich od stanu równowagi lub celu działalności. Źródła zakłóceń podzielono na kategorie czynników endogenicznych związanych z charakterystyką zamówienia, charakterystyką przedsiębiorstwa bazowego i charakterystyką partnera oraz czynniki egzogeniczne związane z otoczeniem procesu realizacji zamówień (tabela 1).

² S. Min, A. Roath, P. Daugherty, S. Genchev, H. Chen, A. Arndt, Richey R. Richey, *Supply Chain Colaboration, What's happening?*, „The International Journal of Logistics Management” 2005, Vol. 16 (2).

³ R. Zdanowicz, *Dobór oprogramowania do modelowania i symulacji procesów wytwarzania*, „Pomiary Automatyka i Robotyka” 2006, nr 1.

Tabela 1

Podsumowanie zakłóceń w procesie produkcyjno-logistycznym



Źródło: opracowanie własne.

Dla tak zdefiniowanego problemu sterowania przepływami, uwzględniając kooperujące podmioty oraz zidentyfikowane źródła zakłóceń, opracowano wstępne założenia modelu symulacyjnego pozwalającego śledzić wpływ różnych konfiguracji zakłóceń na rzeczywiste przebiegi procesów materiałowych. Jako narzędzie adekwatne do zdefiniowanego problemu wybrano modelowanie zdarzeń i procesów w sieci z wykorzystaniem oprogramowania ARENA. Kryteria, które brane były pod uwagę przy doborze oprogramowania, to stosunek ceny do zakresu możliwości budowy modeli symulacyjnych (w tym obejmujących: graficzne budowanie modelu, programowe budowanie modelu, nieograniczoną wielkość modelu, język programowania, planowanie procesu produkcyjnego, planowanie dostaw, zautomatyzowaną optymalizację modelu, kreatory tworzenia modelu i symulacji, interaktywne poszukiwanie błędów, planowanie eksperymentu oraz rozszerzających modelowanie procesów produkcyjnych o: zaopatrzenie, bezpieczeństwo produkcji, gospodarkę materiałową, dystrybucję).

Wyniki modelowania przepływów materiałowych w systemie produkcyjnym z wykorzystaniem technik symulacji zdarzeń i procesów, w tym także z wykorzystaniem oprogramowania Arena, są dyskutowane w literaturze od wielu lat. Publikacje wskazują na dotychczasowy zakres modelowania i symulacji procesów produkcyjnych i potwierdzają skuteczność tej techniki w modelowaniu procesów produkcyjnych przedsiębiorstwa. Problem sformułowany w konsekwencji rozważania na poziomie operacyjnym przepływów w sieci współpracujących przedsiębiorstw,

w tym kooperujących w zakresie podwykonawstwa wybranych operacji produkcyjnych, rozszerza dotychczasowe modele sterowania, włączając w system logistyczno-produkcyjny kooperujące z przedsiębiorstwem bazowym organizacje. Tak złożony system, w którym elementami jest kilka organizacji, wymaga uwzględnienia dostępności zasobów poszczególnych elementów tego systemu, wpływu typu relacji na dostępność zasobów i pojawiające się zakłócenia pomiędzy poszczególnymi elementami systemu (organizacjami kooperującymi w sieci). Ponadto jako źródła endogeniczne zakłóceń w systemie wytypowano zarówno procesy produkcyjne, jak i logistyczne, a także przepływy informacyjne. Na wytypowane źródła endogeniczne zakłóceń wpływ mają zmienne egzogeniczne, takie jak: kongestie, PKB, stopy procentowe, inflacja, kursy walutowe, katastrofy, warunki atmosferyczne i inne. Wstępne badania wpływu tych zmiennych na kształtowane relacje w sieci przeprowadzono na etapie konfiguracji sieci na poziomie strategicznym. Szczegółowy wpływ tych elementów na zmienne endogeniczne, a także analiza korelacji pomiędzy zmiennymi endogenicznymi, egzogenicznymi a pojawiającymi się zakłóceniami w sieci produkcyjno-logistycznej przeprowadzona zostanie w kolejnym etapie badań.

Podsumowanie

Zaproponowana metodyka analizy konfiguracji sieci współpracujących przedsiębiorstw dystrybucyjnych realizujących zadania odroczonej produkcji uwzględnia problemy logistyczno-produkcyjne dotyczące zarządzania operacyjnego oraz strategicznego. Wskazane techniki symulacyjne dobrano adekwatnie do postawionych problemów decyzyjnych. Poziom strategiczny wskazuje na ogólną konfigurację systemu przy uwzględnieniu wahań popytu, natomiast poziom operacyjny dotyczy sterowania przepływami w już zaprojektowanej strukturze. W pierwszym przypadku, uwzględniając poziom uogólnienia, a także konieczność śledzenia wpływu sprzężeń zwrotnych na wyjście systemu (skuteczność integratora, która w założeniu ma zmierzać do ograniczenia utraconej sprzedaży), były przesłanką do wyboru techniki symulacji – Dynamika Systemów Zarządzania. Sformułowanie problemu na poziomie zarządzania operacyjnego wymagało doboru techniki umożliwiającej szczegółowe badania procesu i zdarzeń. Koncepcja modelu symulacyjnego procesów w sieci współpracujących przedsiębiorstw uwzględnia zakłócenia identyfikowane wokół czynników endogenicznych i egzogenicznych. Model sterowania uwzględnia także siłę zakłócenia według oceny wpływu na system (reakcja na poziomie dostępnych buforów, reakcja na poziomie buforów nadzwyczajnych, reakcja na poziomie zmiany konfiguracji struktury systemu). Proponowana metodyka będzie rozwijana i uściślana poprzez eksperymenty prowadzone w ramach projektu

badawczego własnego dla przypadków sieci dystrybucji z odroczoną produkcją w sektorze dystrybucji wyrobów hutniczych.

Literatura

1. Ciszak O., *Komputerowo wspomagane modelowanie i symulacja procesów produkcyjnych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Budowa Maszyn i Zarządzanie Produkcją nr 6, Poznań 2007.
2. Kelton W.D., Sadowski R.P., Sadowski D.A., *Simulation with Arena*, Mc Graw-Hill Companies, Inc., New York 2002.
3. Min S., Roath A., Daugherty P., Genchev S., Chen H., Arndt A., Richey R., *Supply Chain Colaboration, What's happening?*, „The International Journal of Logistics Management” 2005, Vol. 16 (2).
4. Rabelo L., Helal M., Lertpattarapong C., Moraga R., Sarmiento A., *Using system dynamics, neutral nets and eigenvalues to analyse supply chain behavior. A case study*, „International Journal of Production Research” 2008, No. 46 (1).
5. Zdanowicz R., *Dobór oprogramowania do modelowania i symulacji procesów wytwarzania*, „Pomiary Automatyka i Robotyka” 2006, nr 1.
6. Tang C., *Perspectives in Supply Chain Risk Management*, „International Journal of Production Economics” 2006, No. 103.
7. Van Mieghem R., *Newsvendor networks, Inventory Management and Capacity Investment with Discretionary Activities* 2008.

SIMULATION TECHNIQUES IN THE MODELLING OF BUSINESS PROCESSES IN LOGISTIC/PRODUCTION NETWORKS

Summary

The article considers possibilities of using simulation techniques for modelling processes in networks of cooperating enterprises. The proposed methodology of analysing the network configuration of cooperating distribution enterprises which complete postponed production tasks takes into account logistics and production problems affecting the operations management and strategic management. Simulation techniques indicated in the article were selected adequately to the posed decision problems.

Translated by Marzena Kramarz