ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2011
Seria: ORGANIZACJA I ZARZĄDZANIE z. 56 Nr kol. 1845

Włodzimierz KRAMARZ
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Zarządzania i Administracji

# MODELOWANIE SYMULACYJNE SIECI PRODUKCYJNO-LOGISTYCZNEJ

**Streszczenie.** W artykule podjęto dyskusję nad modelowaniem sieci dostaw. Koncepcja badań obejmuje istotne aspekty związane z problemami adaptowania się do zmian otoczenia z perspektywy ogniwa łańcucha dostaw, budującego złożone relacje z innymi ogniwami w sieci.

# SIMULATION MODELING OF PRODUCTION-LOGISTICS NETWORK

**Summary.** In this article I'm discussing modeling the supply network. The conception of examinations includes essential aspects connected with problems of adapting themselves to changes of environment.

## 1. Wprowadzenie

W sieciach logistyczno-produkcyjnych zorientowanych na kompleksowe realizowanie zamówień klienta w czasie przez niego akceptowanym podwykonawstwo zadań jest szansą na wywiązanie się z wysokich standardów obsługi. Jednym z istotniejszych kryteriów oceny takiej sieci dostaw jest stopień odporności na zakłócenia w przepływach materiałowych i informacyjnych oraz na inne losowe niepowodzenia lub celowe ataki, a także zdolność adaptowania się do zmiennych warunków otoczenia. W artykule podjęto dyskusję nad modelowaniem sieci dostaw. W związku z tak przyjętym założeniem rozważono modelowanie symulacyjne sieci dostaw z wykorzystaniem dynamiki systemów zarządzania. Artykuł jest wynikiem prac badawczych prowadzonych w ramach projektu badawczego: „System informatyczny wspomagający sterowane przepływami materiałowymi w sieci

przedsiębiorstw na przykładzie wyrobów hutniczych", które zaowocowały wydzieleniem tego problemu badawczego jako niezwykle interesującego we współczesnych łańcuchach dostaw.

Modelowanie dotyczyło wąsko zarysowanego obszaru sieci z perspektywy wybranego ogniwa łańcucha dostaw kooperującego z dwoma partnerami poprzez współpracę opartą na umowie kooperacyjnej i współpracy nieformalnej. W podsumowaniu wskazano kierunki dalszych badań.

## 2. Sieci dostaw i sieci dystrybucji

Elastyczne, czy inaczej zwinne, łańcuchy dostaw są dedykowane produktom silnie różnicowanym również na etapie dystrybucji. W zależności od lokalizacji materiałowego punktu rozdziału łańcucha dostaw [Hadaś, Cyplik 2007, Kramarz M. 2008, Krawczyk 2001], rozdzielającego część łańcucha zorientowaną na stronę podażową (strategia push) od części łańcucha zorientowanej na stronę popytową (strategia pull) elastyczność budowana poprzez relacje międzyorganizacyjne jest przesłanką tworzenia sieci zaopatrzenia, sieci produkcyjnych lub sieci dystrybucji. W artykule uwagę skoncentrowano na sieciach dystrybucji, które są wynikiem zlokalizowania materiałowego punktu rozdziału na etapie produkcji na magazyn oraz montowania na zamówienie. Relacje sieciowe umożliwiają rozszerzenie puli zasobów o zasoby kooperantów w sieci. Tak zaprojektowana sieć wymaga odpowiedniego sterowania przepływami materiałów pomiędzy współpracującymi przedsiębiorstwami. Wartością przedstawionej w niniejszym artykule koncepcji jest uwzględnienie kooperacji w sieci i charakterystyk podmiotów tworzących sieć jako czynników determinujących zdolność przedsiębiorstwa dystrybucyjnego do adaptowania się do zmian otoczenia. Jednocześnie w modelowaniu sieci uwzględniono dwa typy relacji pomiędzy przedsiębiorstwami w sieci: współpracę nieformalną i współpracę opartą na umowach kooperacyjnych. W koncepcji rozważono możliwość modelowania symulacyjnego z wykorzystaniem metody Dynamiki Systemowej.

Koncepcja badań nakierowana jest na istotne aspekty związane z problemami adaptowania się do zmian otoczenia z perspektywy ogniwa łańcucha dostaw odpowiedzialnego za synchronizację części popytowej i podażowej na poziomie dystrybucji. Badania przeprowadzone w łańcuchu dostaw wyrobów stalowych wskazują, że punkt rozdziału dla większości przepływów tworzy się na poziomie centrów serwisowych. Centra serwisowe to podmioty realizujące zadania tradycyjnych hurtowni poszerzone o zadania wynikające z realizacji strategii odroczonej produkcji. W związku ze specyfiką realizowanych zadań, sieci, które tworzą Centra Serwisowe, mogą być określane jako sieci logistyczno-produkcyjne.

Sieci gospodarcze wg M. Ciesielskiego (2007, 2010) to sieci przedsiębiorstw, tworzone w celu opracowania nowego produktu, wymiany zasobów, uzyskania korzyści skali, obniżki kosztów, zwiększania konkurencyjności itd. Dzielą się one na poziome i pionowe. Te pierwsze to sieci tworzone przez producentów podobnych lub takich samych dóbr. Sieci pionowe, to zbiory przedsiębiorstw powiązanych ze sobą w relacji dostawca-odbiorca. Nazywa się je powszechnie łańcuchami dostaw. Różnice pomiędzy sieciami a łańcuchami dostaw są podkreślane także w innych publikacjach [Bendkowski, Kramarz, Kramarz 2010, Brdulak 2007, Witkowski 2010], gdzie są wskazywane specyficzne metody, narzędzia i techniki do rozwiązywania odmiennych problemów w sieciach i w łańcuchach dostaw, a także systemy informatyczne dostosowane do wspomagania zarządzania procesami logistycznymi w układach horyzontalnych i funkcjonalnych.

Tworzenie sieci dostaw to także budowanie więzi i zależności między przedsiębiorstwami, będącymi uczestnikami tejże sieci, oraz projektowanie reguł koordynacji procesów i zarządzania relacjami.

Problem ten został uwzględniony w rozdziale 5 w modelowaniu symulacyjnym opartym na Dynamice Systemów Zarządzania.

Luźne relacje (współpraca nieformalna) między węzłami są ważne dla elastyczności złożonych systemów, jakimi są sieci współpracujących przedsiębiorstw, lecz równocześnie zwiększają złożoność systemów w takim stopniu, iż czynią je trudnymi do zrozumienia i przewidywania ich zachowań. W wielu badaniach prowadzonych na przełomie ostatnich kilkunastu lat podkreśla się jednakże, że poprzez powiązania z innymi organizacjami następuje nie tylko adaptowanie się do zmian w otoczeniu, ale także współkreowanie zmian w tym otoczeniu.

## 3. Przegląd modeli podwykonawstwa w sieciach produkcyjno-logistycznych

W sieciach logistyczno-produkcyjnych zorientowanych na kompleksowe realizowanie zamówień klienta w czasie przez niego akceptowanym podwykonawstwo zadań jest szansą na wywiązanie się z tych wymagań. Badania nad podwykonawstwem w sieciach współpracujących przedsiębiorstw są bardzo szerokie i obejmują wiele nurtów badawczych.

Wielu autorów rozważa korzyści i rezultaty jakościowe podwykonawstwa. Jednakże analityczne modele, które studiują obszar podwykonawstwa, są ograniczone do wybranych aspektów. W literaturze wiele modeli podwykonawstwa koncentruje się na wypracowaniu modelu zapasów. Lee (1997) oraz Logendran i Puvanunt (1997) rozważają podwykonawstwo wspólnie z decyzjami planowania produkcji w kontekście elastycznych systemów

wytwarzania. Bertrandi i Svidhawn (2001) maksymalizują wartość dla realizowanych zamówień, przy czym zamówienia nadchodzą przez cały czas losowo i mogą być albo procesem realizowanym na miejscu, lub jako podwykonawstwo. Celem jest dążenie do maksymalizacji zużytkowania (zagospodarowania) zdolności na miejscu koordynatora przy minimalizacji transakcji z uwzględnieniem priorytetów realizacji zamówień. Lee (2002) proponuje wieloetapowy model harmonogramowania, gdzie każde zamówienie wymaga wielorakich operacji i każda operacja może być wykonywana na liczbie alternatywnych maszyn na miejscu lub jako podwykonawstwo. Celem jest minimalizacja okresu wykonawczego dla kompleksowego zrealizowania danego zamówienia. Qi (2008) rozważa problem, gdy przedsiębiorstwo dysponuje na miejscu jedną maszyną i ma do wyboru jedno podwykonawstwo z pojedynczą maszyną. Zamówienie podwykonawcy musi być transportowane w partiach. Celem jest minimalizacja ważonej sumy czasu realizacji dostawy przedstawiona czasem realizacji zamówienia oraz całkowitymi kosztami podwykonawstwa i transportu. Proponuje on algorytmy dynamicznego programowania dla 4 problemów, gdzie przedstawioną jednostką jest kompleksowy czas realizacji, w tym czas wykonania, maksymalne opóźnienie, liczba spóźnionych zamówień.

Chen i Li (2008) zaproponowali model decyzyjny, obejmujący podwykonawstwo i harmonogramowanie pracy. W proponowanym przez nich modelu operacje produkcyjne, sposoby realizacji zamówienia i przyjmowania zamówień od grupy klientów są określane na początku okresu harmonogramowania. Autorzy proponują wprowadzenie rang, które zamówienia muszą być realizowane jako priorytetowe i które zamówienia powinny być zlecane podwykonawcom. W prowadzonych badaniach tym samym koncentrują się na jednorodnych (homogenicznych) zasobach własnych integratora oraz kooperantów. Autorzy analizowali rezultaty opcji podwykonawstwa w kontekście poprawy kompleksowości realizacji zamówień. Przedstawiona w niniejszym artykule koncepcja badań wykorzystuje niektóre determinanty proponowane przez Chen i Li (2008). Przedmiotem badań są bowiem te zdarzenia, gdy integrator dostaje zlecenie przekraczające zdolności zasobów własnych w ustalonym okresie czasu. W tym sensie jest to nawiązanie do modelu harmonogramowania z podwykonawstwem. Jeśli firmy zlecają całe operacje niemożliwe do wykonania w ramach własnych zasobów podwykonawcom, niepewne potrzeby łańcucha dostaw są redukowane przez efekt dywersyfikacji ryzyka, co nawiązuje do potrzeb budowy relacji sieciowych w ramach danego punktu w łańcuchu dostaw. Chen i Li (2008) wyodrębnili też istotne czynniki, które są uwzględniane w podejmowaniu decyzji o podwykonawstwie: zdolności produkcyjne, koszty produkcji na czas, żądania klienta, dostępność zasobów podwykonawców, ich koszty produkcji, czas realizacji dostawy między przedsiębiorstwem bazowym a podwykonawcą. Model podwykonawstwa jest więc istotny, jeśli firma musi optymalizować relacje trade-offs dla tych czynników. Nie wszystkie z wymienionych

czynników zostały uwzględnione w modelu symulacyjnym zaprezentowanym w niniejszym artykule. Pominięto zwłaszcza koszty produkcji, uznając je za porównywalne u każdego z podmiotów. Jednocześnie problem rozszerzono o zróżnicowanie typu relacji. Założono bowiem, że umowa kooperacyjna obejmuje ścisłe określenie dyspozycyjności zasobu partnera w każdym okresie czasowym. Współpraca nieformalna natomiast powoduje, że dyspozycyjność zasobu kooperanta jest zmienną losową. Średnia dyspozycyjność zasobów obydwu partnerów plasuje się na tym samym poziomie. W przypadku kooperanta objętego umową kooperacyjną jest ona niezmienna w poszczególnych okresach, natomiast w przypadku partnera, z którym integrator współpracuje doraźnie i na zasadzie pojedynczych transakcji, jest zmienna w poszczególnych okresach.

## 4. Dynamika systemów a sieci produkcyjno-logistyczne

Sieci produkcyjno-logistyczne, tworzone w elastycznych łańcuchach dostaw w materiałowym punkcie rozdziału typu wytwarzanie na magazyn lub montaż na zamówienie, mogą być określone jako złożone systemy. Elementami tego systemu są organizacje realizujące funkcje logistyczno-produkcyjne w obszarze kanałów dystrybucji. Relacje, które tworzą te organizacje, różnią się przede wszystkim czasem, intensywnością i stopniem formalizacji. Zróżnicowanie relacji międzyorganizacyjnych, a także rozmyte granice tego systemu mają na celu zwiększenie stopnia adaptacji przedsiębiorstw do zmiennych warunków otoczenia, a z drugiej strony dają możliwość wychwytywania szans rynkowych. W badaniu systemu, dystrybucji jest istotne uwzględnienie analizy przyczynowo-skutkowej dla całego systemu, a nie tylko dla poszczególnych tworzących go części. W systemie konieczne jest badanie różnych relacji tworzących sprzężenia zwrotne. Jedną z nich jest ujemne sprzężenie, które w określonych warunkach generuje stabilność, drugim dodatnie sprzężenie, które wywołuje odwrotny skutek [Rokita 2009]. J. Rokita (2009) uważa, że aby móc badać systemy zarządzania, należy je traktować jako systemy złożone. Złożoność jest pojęciem względnym i zależy od:

- liczby i charakteru interakcji między zmiennymi,
- rodzaju systemu (otwarty, zamknięty),
- rodzaju relacji między zmiennymi (liniowe, nieliniowe) – w systemach liniowych wartość całego systemu rośnie w wyniku dodawania wartości jego części, w systemach nieliniowych cechy wyłaniają się w wyniku interakcji pomiędzy częściami systemu – całość jest wynikiem interakcji między częściami,
- umiejscowienia w czasie reakcji na działanie systemu (odpowiedzi bezpośrednie lub pośrednie, natychmiastowe lub opóźnione).

W przypadku systemów sprzężeń zwrotnych ważną rolę odgrywają opóźnienia w reakcji pomiędzy:

- stwierdzeniem istnienia jakiegoś stanu systemu a oczekiwanym stanem,
- podjętym działaniem korekcyjnym a osiągnięciem oczekiwanego stanu systemu.

System dystrybucji jest więc także siecią nieliniowych pętli sprzężeń zwrotnych. Kiedy pętle te są zdominowane przez sprzężenia ujemne, organizacja znajduje się w stanie stabilności. Gdy pętle te są tworzone przez sprzężenia dodatnie, organizacja staje się niestabilna [Rokita 2009]. Interakcje pętli sprzężeń zwrotnych, które są opozycyjne względem siebie lub się neutralizują albo równoważą, są podstawowym źródłem chaosu i złożoności. Ich zrozumienie jest podstawą do radzenia sobie ze złożonością i współzależnością elementów systemu.

## 5. Koncepcja modelu symulacyjnego – istota modeli dynamiki systemów zarządzania

Symulowanie skutków potencjalnych decyzji wymaga tworzenia modeli przyczynowo-skutkowych i prowadzenia na nich określonych eksperymentów. Dynamikę systemów w naukach o zarządzaniu zapoczątkował Forrester (1958), a następnie rozpropagował Senge (1990). W swoich pracach zauważyli, że struktura sprzężeń zwrotnych w organizacji generuje wzorce zachowań odsunięte w czasie. Powoduje to trudności w znajdowaniu związków przyczynowo-skutkowych. Skutki działań powstające po upływie czasu znacznie utrudniają identyfikację przyczyn. Dynamika systemu polega właśnie na jego zmianie wraz z upływem czasu. Badając więc dynamikę sieci dystrybucji jako złożony system adaptacyjny należy odpowiedzieć sobie na pytania podobne do stawianych dla tradycyjnego systemu zarządzania [Rokita 2009]:

- Czy system zmienia się i czy zmiany te są możliwe do uchwycenia (np. dwa stany systemu w określonym przedziale czasu)?
- Czy przesunięcie się pomiędzy tymi stanami cechuje się ruchem stałym, jednostajnym, czy też nie?
- Czy jest on przewidywalny czy nie?

W systemach organizacyjnych są możliwe następujące sytuacje: system jest bliski równowagi z otoczeniem, co oznacza, że wspólne dla nich obu zakłócenia nie utrudniają zbytnio ich przejścia do kolejnego stanu równowagi; system może być daleki od równowagi (*fer from equilibrium*), gdy czynniki zakłócające równowagę powodują, że system jest bliski drugiemu ekstremum, tj. nierównowagi. Z punktu widzenia dynamiki systemu Stacey (2001) wyodrębnił trzy typy zmian:

- zamknięte, które następują w warunkach cechujących się pewnością tego, że nastąpią, są przewidywalne, a powiązania pomiędzy przyczynami i skutkami są liniowe,
- ograniczone, które dotyczą sytuacji, w których kierunek i merytoryczną treść zmian można określić z pewnym prawdopodobieństwem, co powoduje, że można przewidywać prawdopodobne zachowania systemu. System wytwarza pewien zbiór działań, które mają doprowadzić do stanu równowagi,
- nieokreślone, które mają miejsce w sytuacjach, gdy można tylko przypuszczać, co zdarzy się w przyszłości, jaki będzie charakter powiązań między przyczynami i skutkami. W tych warunkach nie można precyzyjnie prognozować zmian systemu oraz kontrolować go. Brak równowagi jest dwojakiego rodzaju: ma charakter zmian cyklicznych i/lub narastających, opisywanych za pomocą trendów lub wynika z nieregularności zachowań spowodowanych innymi zmianami, które zakłócają te cykle.

Dynamika systemów zarządzania używa specyficznej metody opisu systemu, bazując na dwóch kategoriach: strumień, poziom. Poziomy reprezentują zmienne stanu, będące obserwowalnymi wielkościami systemu, a strumienie działania (akcje) systemu, powodujące zmiany wartości poziomów. Wymienione kategorie opisu są nieodzowne do utworzenia mikrostruktury pętli sprzężeń i w ten sposób całego systemu. W praktyce, jest użyteczne wprowadzenie pewnej dodatkowej kategorii opisu zwanej zmienną pomocniczą. Zmienne te reprezentują pośrednie etapy procesu określania wartości natężeń strumieni wg przyjętych reguł (polityk decyzyjnych) transformujących informacje o stanie systemu i jego otoczenia.

Reguły decyzyjne opisują sposoby podejmowania decyzji sterujących przepływami w systemie, tj. pokazują, jakie informacje o stanie systemu i jego otoczenia generują decyzje powodujące działania w systemie. W klasycznej DSZ przyjmuje się założenie, że decyzje w systemie są podejmowane okresowo, tj. każdorazowo po upływie określonego przedziału czasu. Procesy podejmowania decyzji, a tym samym ich efekty (zmiany wartości natężeń strumieni) mają więc charakter ciągły. Postać reguł decyzyjnych jest uwarunkowana m.in. czynnikami: społeczno-gospodarczymi, technicznymi, organizacyjnymi.

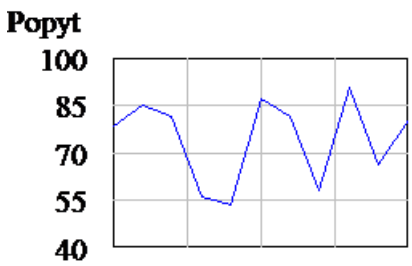
Modelowanie sieci dystrybucji z wykorzystaniem dynamiki systemów zarządzania uwzględnia integratora charakteryzowanego przez dostępne moce produkcyjne, kooperanta współpracującego z integratorem na podstawie umowy kooperacyjnej oraz kooperanta współpracującego z integratorem nieformalnie. Typ współpracy, jak zostało wyjaśnione w rozdziałach 2 i 3, wpływa na dyspozycyjność zasobów. Średnia dyspozycyjność u obydwu kooperantów jest taka sama i kształtuje się na poziomie 15 ton/tydzień.

Umowa kooperacyjna (rysunek 4) zapewnia stałą dyspozycyjność zasobów niezależnie od faktycznego zapotrzebowania. Współpraca nieformalna charakteryzuje się zmienną w czasie dostępnością zasobów (rysunek 3). Dyspozycyjność zasobów we współpracy nieformalnej

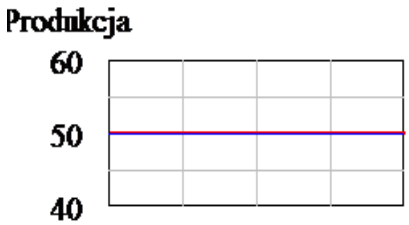
została zdefiniowana poprzez generator zmiennych losowych o rozkładzie normalnym o wartości średniej wynoszącej 15 ton/tydzień.

W przeprowadzonych eksperymentach założono, że integrator dysponuje zasobami, z których jeden jest zasobem limitującym zdolności produkcyjne. Integrator jest dystrybutorem realizującym procesy produkcyjne związane z ostatnim etapem procesu produkcyjnego (odroczona produkcja), oferując produkt prosty, którego warianty nie są istotne z punktu widzenia przebiegu procesu. Ograniczeniem jest wyłącznie jeden zasób produkcyjny. Magazyn nie jest zasobem limitującym (jego miesięczne wykorzystanie waha się w granicach 60%-75%). Zasób limitujący pozwala na wyprodukowanie 50 ton wyrobu na tydzień. Cykl produkcyjny miesi się w zakresie 1 tygodnia (rysunek 2). System nie ma ograniczeń w zakresie dostępności do materiału. Popyt został określony za pomocą zmiennej o rozkładzie równomiernym i przyjmował wartości zmienne od 49-75 ton na miesiąc (rysunek 1). Do ustalenia wartości zmiennych został wykorzystany generator zmiennych pseudolosowych. W modelowaniu dążono do ustalenia warunków mających na celu maksymalizację stopnia zabezpieczenia popytu, uwzględniając dwa typy kooperacji.

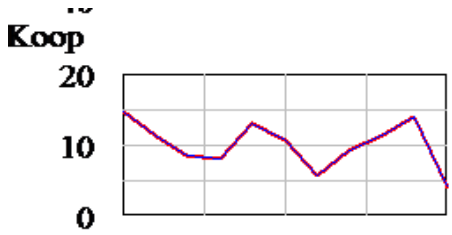
Ustalono warunki, że wykorzystanie zdolności limitowanego zasobu jest zbliżone do maksymalnej zdolności produkcyjnej (rysunek 2).



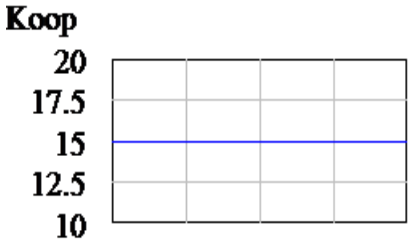

Rys. 1. Popyt na wyroby
Fig. 1. Demand for products



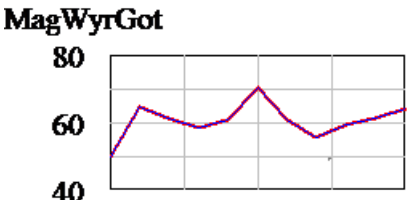

Rys. 2. Produkcja na podstawie zasobów integratora
Fig. 2. Production – resources of the integrator




Rys. 3. Dostępność zasobów partnera w modelu współpracy bez umowy kooperacyjnej
Fig. 3. Availability of resources of the partner in the model of the cooperation without a contract of cooperation

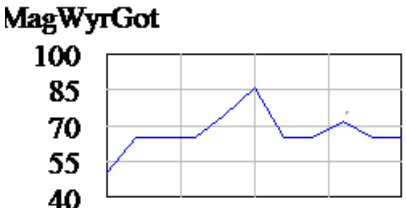



Rys. 4. Dostępność zasobów partnera w modelu współpracy z umową kooperacyjną
Fig. 4. Availability of resources of the partner in the model of the cooperation with a contract of cooperation



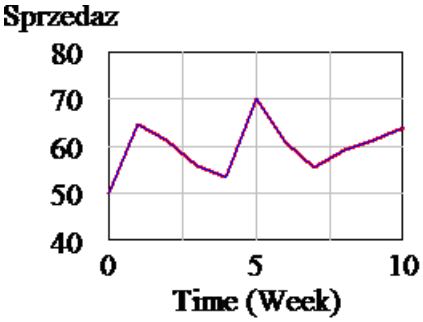

Rys. 5. Magazyn wyrobów gotowych u integratora w modelu współpracy bez umowy kooperacyjnej

Fig. 5. Warehouse of finished articles at the integrator in the model of the cooperation without a contract of cooperation



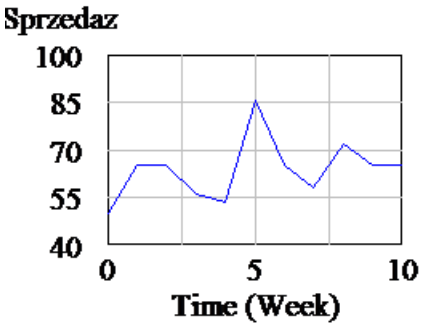

Rys. 6. Magazyn wyrobów gotowych u integratora w modelu współpracy z umową kooperacyjną

Fig. 6. Warehouse of finished articles at the integrator in the model of the cooperation with a contract of cooperation



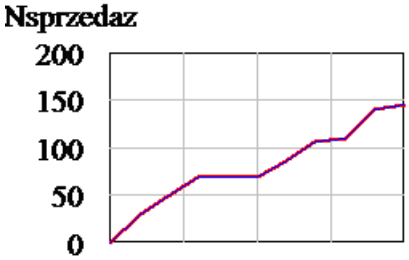

Rys. 7. Sprzedaż w modelu współpracy bez umowy kooperacyjnej

Fig. 7. Sale in the model of the cooperation without a contract of cooperation



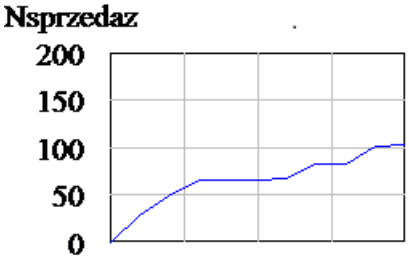

Rys. 8. Sprzedaż w modelu współpracy z umową kooperacyjną

Fig. 8. Sale in the model of the cooperation with a contract of cooperation




Rys. 9. Utracona sprzedaż w modelu współpracy bez umowy kooperacyjnej

Fig. 9. Lost sale in the model of the cooperation without a contract of cooperation




Rys. 10. Utracona sprzedaż – w modelu współpracy z umową kooperacyjną

Fig. 10. Lost sale in the model of the cooperation with a contract of cooperation

Eksperyment symulacyjny wykazał lepszy stopień zabezpieczenia popytu (o prawie 30%) dla umowy kooperacyjnej (rysunki 7, 8, 9, 10). Jednocześnie jest istotne kształtowanie się zapasów dla obydwu modeli (rysunki 5, 6). W modelu ze współpracą z umową kooperacyjną obserwuje się tendencję równoważenia stanów zapasów, których poziom zmierza do wartości 65 ton na tydzień.

Wyniki symulacji przeprowadzonych w modelu z kooperacją wskazują na wzrost poziomu obsługi klienta w elementach: czas i kompleksowość realizowanych zamówień z zapasu. W dalszych badaniach metodyka ta będzie rozwijana dla potrzeb symulacji problemów bardziej złożonych i z większą ilością zmiennych.

## 6. Wnioski

Zaproponowana w artykule metodologia modelowania sieci dystrybucji obejmuje włączenie modeli harmonogramowania z opcją podwykonawstwa badanych w kontekście adaptowania się integratora do zmian w otoczeniu. Zgodnie z przedstawionymi rozważaniami uzasadnione wydaje się przeprowadzenie eksperymentów przy wykorzystaniu modelu symulacyjnego Dynamiki Systemów Zarządzania. Badania wskazały na znaczenie więzi międzyorganizacyjnych w adaptowaniu się do zmiennych warunków otoczenia (w tym wypadku zmienności popytu). Przedstawiona w artykule koncepcja jest zgodna z nurtem dotychczasowych badań w obszarze: sieci, podwykonawstwa przedsiębiorstw w sieci oraz dynamiki systemów zarządzania dla badań symulacyjnych w złożonych systemach adaptacyjnych, jednocześnie łącząc te obszary badawcze. Analiza dynamiki systemów odwzorowanych za pomocą modeli DSZ ma na celu zbadanie własności pętli sprzężeń zwrotnych. Kolejne etapy badań będą nakierowane na wyjaśnienie mechanizmów zachowań organizacji w sieci dystrybucji pod wpływem szerzej ujętych zmian stanów otoczenia i rozważenie możliwości zmian w strukturze sieci (typach więzi) w celu poprawy jej dynamicznego (adaptacyjnego) zachowania się.

### Bibliografia

1. Bendkowski J., Kramarz M., Kramarz W.: Metody i techniki ilościowe w logistyce stosowanej. Wybrane zagadnienia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.
2. Brdulak H.: Wirtualny Leksykon Transportu i Logistyki, [www.logistyka.edu.pl], 2007.
3. Chen Z., Li Ch.: Scheduling with subcontracting options. “Transactions”, vol. 40, 2008.

4. Ciesielski M.: Logistyka – problemy rozwoju dyscypliny praktycznej [w:] Lachiewicz S., Nogalski B. (red.): Osiągnięcia i perspektywy nauk o zarządzaniu. Oficyna a Wolters Kluwer Business, Warszawa 2010.
5. Ciesielski M.: Instrumenty zarządzania łańcuchami dostaw. PWE, Warszawa 2009.
6. Hadaś Ł., Cyplik P.: Symulacja przepływu ”Push” vs. „Pull” i jej wykorzystanie w nauczaniu logistyki. „Logistyka”, nr 4, 2007.
7. Kramarz M.: Cykl realizacji zamówienia w łańcuchu dostaw branży motoryzacyjnej – analiza opóźnień, [w:] Współczesne wyzwania transportu w logistyce. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2008.
8. Krawczyk S.: Zarządzanie procesami logistycznymi. PWE, Warszawa 2001.
9. Rokita J.: Dynamika zarządzania organizacjami. Prace naukowe Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 2009.
10. Stewart J.: Liczby natury. Wydawnictwo CIS, Warszawa 1996.
11. Witkowski J.: Zarządzanie łańcuchem dostaw. Koncepcje, procedury, doświadczenia. PWE, Warszawa 2010.

## Abstract

Simulation modelling in supply chain management touches different problems from resource modelling, through simulation of transportation and warehouse costs, simulation of material flows and many other aspects. Hence different types of simulation models are used. In this article I’m discussing modeling the supply network as the complex adaptive system. From among the mentioned simulation methods, taking into account the formulated exploratory problem, special attention was drawn on simulation with the use of the Dynamics of Management Systems. The conception of examinations includes essential aspects connected with problems of adapting themselves to changes of environment. Joining diversified specialized resources is perceived as a chance of offering new unique services and also, due to postponed production, forms of the product in distribution.