

lub projektowanego systemu oraz wykonanie eksperymentów przyczyniając się do rozwiązywania problemów, które nie spełniają założeń metod analitycznych; przede wszystkim wtedy gdy występuje w nich znaczący czynnik niepewności. Zgodnie z poglądem przedstawionym w [Zhang 2007] modele symulacyjne wykorzystywane w problematyce zarządzania łańcuchem dostaw podzielić można – ze względu na sterowanie zmiennymi stanu - na dyskretne i ciągłe oraz – ze względu na ukierunkowanie – na zdarzeniowe, procesowe i zorientowane na śledzenie działań.

1.2. EFEKT BYCZEGO BICZA (BULLWHIP EFFECT)

W modelach zarządzania łańcuchem dostaw odwzorowane są następujące czynniki ilościowe: liczba i miejsce ogniw w łańcuchu, zmienność strumienia popytu oraz czas realizacji zamówienia przez dane ogniwo łańcucha. Decydenci w każdym z ogniw łańcucha stosują swoje techniki prognozowania przyszłego popytu: badają popyt kolejnego ogniwa lub popyt klienta końcowego a następnie podejmują decyzje o ewentualnym uzupełnieniu stanu magazynowego swojego ogniwa. Ponieważ popyt ze strony konsumentów jest zmienny, a jego wielkość w konkretnym przedziale czasowym niepewna (przykładem są akcje promocyjne, które prowadzą do zaburzeń wielkości popytu na dany produkt w czasie), dochodzi do trudno przewidywalnych wahań zapotrzebowań na produkty poszczególnych ogniw łańcucha dostaw. Co więcej, występuje zjawisko (efekt dynamiczny) byczego bicza (ang. *bullwhip effect*), którego niekorzystne następstwa polegają na coraz silniejszym przenoszeniu zmian popytu w głąb łańcucha dostaw. W artykule [Zhang 2007] efekt byczego bicza (BWE) określa się jako stosunek wariancji zamówień w danym ogniwie do wariancji popytu klienta końcowego rejestrowanego przez sprzedawcę detalicznego. Wartość współczynnika większa od 1 oznacza zwiększanie się zmienności z ogniwa na ogniwo. Oczekuje się, że dostarczenie aktualnej i wiarygodnej informacji każdemu z ogniw umożliwi zmniejszenie się wariancji popytu w każdym ogniwie z osobna, a także łańcucha dostaw jako całości. Zwykle jednak poszczególne firmy biorące udział w łańcuchu dostaw otrzymują jedynie zniekształcone informacje w postaci danych o zamówieniach bezpośrednich kontrahentów, będące następstwem decyzji podjętych w tej części łańcucha, z której te informacje pochodzą. W grę wchodzi tu decyzje o zapewnieniu bieżącego zapotrzebowania na produkty i materiały, wysokości zapasów bezpieczeństwa i ich uzupełnień, kampaniach promocyjnych, polityce w zakresie kredytów kupieckich a także zmiany zapasów cyklicznych przygotowywanych ze względu na spodziewane przyszłe zdarzenia. Jak podaje [Pluta-Zaremba 2002] efekt byczego bicza obserwowano w wielu branżach, np. sektorze papierniczym, dóbr częstego zakupu (nabywanych rutynowo), motoryzacji i hutnictwie, a także w branży odzieżowej. Najbardziej spektakularne przypadki doniesień o problemach związanych z efektem byczego bicza dotyczą pampersów produkowanych przez Procter and Gamble oraz komputerowej firmy Dell ograniczającej długość łańcucha dostaw.

1.3. PRZYCZYNY EFEKTU BYCZEGO BICZA I SPOSOBY JEGO ZWALCZANIA

Pierwszy model prezentujący efekt byczego bicza (nazywany wówczas efektem wzmacniania zmian popytu) opracował Jay Forrester [Forrester 1958], który zwrócił uwagę, że przyczynami efektu są: racjonalne (z punktu widzenia poszczególnych firm) zachowania w zakresie podejmowanych decyzji o pożądanym poziomie zapasów (przeszacowują one zmiany popytu i zakładają, że kierunek zmian będzie kontynuowany) oraz stosunkowo duży odstęp czasowy między podjęciem decyzji, otrzymaniem zamówienia przez kontrahenta oraz nadejściem zrealizowanego zamówienia (surowców, materiałów czy produktów gotowych do sprzedaży). Oczywiście zmniejszenie wartości efektu byczego bicza nie może być traktowane jako jedyny miernik wystarczającego poziomu obsługi ani ograniczenia kosztów. Wiadomo, że taki kierunek zmian będzie zazwyczaj skutkowało zmniejszeniem wielkości i zmienności stanów magazynowych, natomiast niekoniecznie będzie oznaczało zaspokojenie w pełni popytu konsumentów.

W artykule [Nienhaus 2002] stwierdzono, że efekt byczego bicza jest nierozłącznie związany z łańcuchem dostaw i wynika przede wszystkim z opóźnień informacji i przesyłanego materiału. Jako dalsze przyczyny wymieniają planowanie (zmieniające się prognozy wpływają na zmianę zapasu bezpieczeństwa oraz łączenie jednostek materiału w większe grupy) oraz problemy związane z zachowaniami ludzkimi (obserwacja braków w zaopatrzeniu generuje większe zamówienia niż rzeczywiste zapotrzebowanie - uleganie panice, nadmiar zapasów wywołuje odwołania zamówień a zmiany cen dodatkowo zmieniają popyt). Wśród środków zaradczych wymieniają zmniejszenie czasu potrzebnego na przekazywanie informacji (prognozy zamówień, popytu, zajętej przestrzeni magazynowej), zmniejszenie czasu potrzebnego na realizację dostaw materiałów (Just-in-Time, własne magazyny) a także przewartościowanie ludzkich zachowań (zmniejszenie zmienności cen, zarządzanie łańcuchem dostaw czyli współpraca między ogniwami w zakresie zarządzania popytem i zdolnościami magazynowymi). Szczegółowe rozważania na temat przyczyn efektu byczego bicza i sposobów zaradzenia im można znaleźć w pracach [Pluta-Zaremba 2005], [Donovan 2003]. W modelowaniu zarządzania łańcuchem dostaw wielokrotnie stosowano symulację komputerową, poczynając od gry piwnej; przykłady można znaleźć w zestawieniu [Moyaux 2007].

2. ZAŁOŻENIA MODELU ŁAŃCUCHA DOSTAW

Celem badań przedstawionych w artykule jest opracowanie i implementacja symulacyjnego modelu zarządzania łańcuchem dostaw w postaci modułów. Postępowanie badawcze objęło: wyodrębnienie modułów modelu, opracowanie modelu przesy-

łania informacji i obiektów reprezentujących surowce i produkty między modułami, implementację symulacyjnego modelu w pakiecie Extend i dyskusję problemów implementacyjnych. Przeprowadzono symulacyjną weryfikację modelu - wykonano próby wywołania w modelu efektu byczego bicza, a następnie sprawdzono czy skutkują opisane w literaturze sposoby jego ograniczenia. Podobnie jak w modelu [Bobowska 2002] przedstawiono łańcuch logistyczny produktu podlegającego regularnemu popytowi, w modelu nie występują promocje, upusty, święta – rok liczy 250 dni roboczych. W łańcuchu uczestniczą trzy ogniwa: grupa klientów, pośrednik oraz producent. Rozpatrzono trzy rodzaje sterowania łańcuchem dostaw.

2.1. MODUŁ POPYTU KLIENTÓW

Założono, że moduł modelu popytu klientów (blok hierarchiczny „Popyt”) składa się z reprezentacji klientów, których popyt wynosi 4 sztuki produktu w ciągu 4 tygodni, z tym że wyróżnić można 3 podgrupy klientów. Członkowie pierwszej podgrupy dokonują zakupu w każdym tygodniu po jednej sztuce, ale niekoniecznie u pośrednika uczestniczącego w tym łańcuchu logistycznym (liczba tego typu klientów waha się między 3 i 7 (rozkład losowy), z tym że najbardziej prawdopodobne jest że będzie wynosiła 5). W drugiej podgrupie jest dwóch klientów i każdy z nich dokonuje zakupu 2 sztuk produktu co dwa tygodnie. W trzeciej podgrupie jest jeden klient, który dokonuje zakupu 4 sztuk produktu co 4 tygodnie (analogicznie jak w modelu [Bobowska 2002]). Zakłada się, że odliczanie wielkości zakupów rozpoczyna się od pierwszego tygodnia, np. klient z trzeciej podgrupy dokonuje zakupów w pierwszym i piątym tygodniu. Działanie modelu opiera się na założeniu, że początek każdego dnia rozpoczyna się uzupełnieniem stanu poszczególnych magazynów, natomiast zaraz potem (ale po niezerowym czasie) nadchodzą obiekty popytowe, które kojarzone są z obiektami podażowymi [Zabawa 2007]. Na podstawie pomocniczego modelu oszacowano odchylenie standardowe wielkości popytu na poziomie 3,5.

2.2. MODUŁ KOJARZENIA OBIEKTÓW POPYTOWYCH I PODAŻOWYCH

W module kojarzenia obiektów popytu (obiekt popytu reprezentuje chęć zakupu pojedynczej sztuki produktu) dobiera się je do obiektów reprezentujących jednostkę podażową (produktu) pobieraną z magazynu pośrednika (jeśli znajduje się w nim chociaż jedna sztuka „produktu”). Po sparowaniu obiektów obu typów zostają one usunięte z modelu po inkrementacji odpowiedniego licznika. Podobnie rejestrowane są obiekty popytowe, w przypadku których nie było możliwości doboru obiektu podażowego (tzw. niezrealizowana sprzedaż).

2.3. MODUŁ MODELU POŚREDNIKA

W module pośrednika wyodrębnić należy część odpowiedzialną za wypełnienie magazynu obiektów podażowych w chwili rozpoczęcia przebiegu symulacyjnego oraz część realizującą czynność przejścia obiektu z magazynu producenta. Założono że „transport” rozpoczyna się, gdy w magazynie producenta jest wystarczająca liczba obiektów podażowych do utworzenia grupy (paczki) o z góry założonej (ale możliwej do dynamicznego wyznaczania w trakcie symulacji) liczbie obiektów, oraz że w danej chwili może być realizowana tylko jedna czynność transportu. Informacja o liczbie obiektów znajdujących się już w paczce przekazywana jest do modułu producenta. Dostępne są także dane o stanie magazynu pośrednika. Dla potrzeb wszystkich przebiegów symulacyjnych założono, że początkowy zapas magazynowy pośrednika wynosi 40 sztuk, a czas realizacji dostawy wynosi 1 dzień. W trakcie symulacji automatycznie dobierane są: ustalana na bieżąco wielkość hipotetycznej dostawy (liczba obiektów) od producenta oraz sygnał uruchomienia właściwej czynności dostawy.

2.4. MODUŁY MODELU PRODUCENTA I STEROWANIA PRODUKCJĄ

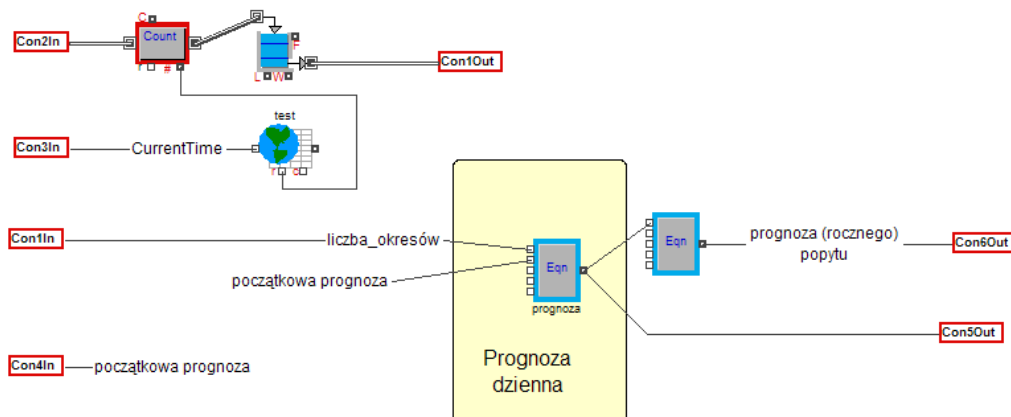
W module producenta wyodrębnić należy część odpowiedzialną za wypełnienie magazynu obiektów podażowych w chwili rozpoczęcia przebiegu symulacyjnego oraz część realizującą wygenerowanie (wyprodukowanie) założonej z góry liczby obiektów (ale możliwej do ustalenia w trakcie symulacji) z surowców i ich składowanie w magazynie producenta. Transformacja obiektu surowcowego w obiekt podażowy powoduje wygenerowanie kolejnej jednostki surowca (w obiegu zamkniętym) – por. [Zabawa 2006]. W danej chwili może być realizowana tylko jedna czynność generowania grupy obiektów podażowych. Dla potrzeb wszystkich przebiegów symulacyjnych założono, że początkowy zapas magazynowy producenta wynosi 0 i cykl produkcyjny wynosi 2 dni. W trakcie symulacji w module sterowania produkcją (jego struktura wewnętrzna zmieniać się będzie w poszczególnych wariantach eksperymentów symulacyjnych) ustalana jest na bieżąco wielkość partii produkcyjnej (liczba obiektów umieszczanych następnie w magazynie producenta) oraz podejmowana decyzja o otwarciu obiektom drogi do pośrednika. Dostępne są informacje o stanie magazynu i wytwarzaniu partii produkcyjnej.

2.5. MODUŁ REJESTRACJI POPYTU KLIENTÓW

Ważną rolę w modelu pełni moduł rejestracji popytu, gdyż założona przez eksperymentatora (użytkownika modelu) charakterystyka strumienia zgłoszeń (moduł „Popyt”) nie jest znana pozostałym modułom, a z tego wynika potrzeba wyznaczania na

bieżąco rzeczywistej wielkości popytu oraz jego odchylenia standardowego. Prognoza popytu może być wyznaczana na podstawie np. metody średniej ruchomej o dobranej przez eksperymentatora liczbie okresów, co w przypadku długości okresu równej 1 sprowadza się do metody prognozowania naiwnego. Prognozowanie na bieżąco wielkości popytu odbywa się przez wykonanie następujących czynności, które zostały zaimplementowane w bloku Equation o etykiecie „prognoza” (rys. 1) w języku ModL [Krahl 2003]:

- Zanotowanie w jednowymiarowej tablicy bieżącego czasu wystąpienia popytu (kolejnych obiektów) – zauważyć należy, że zapewniony zostaje wtedy nie-malejący charakter tworzonego ciągu liczb, co ułatwi wykonanie obliczeń.
- Wyszukanie w tablicy pierwszego wystąpienia czasu równego początkowi aktualnie rozważanego przedziału czasowego (w dniach).
- Sumowanie w pętli wystąpień czasu mniejszego od czasu bieżącego, czyli aż do końca rozważanego przedziału czasowego.
- Obliczenie wartości średniej wystąpień dla rozważanego przedziału czasowego (w dniach) czyli prognozy dziennej oraz prognozy w stosunku rocznym.



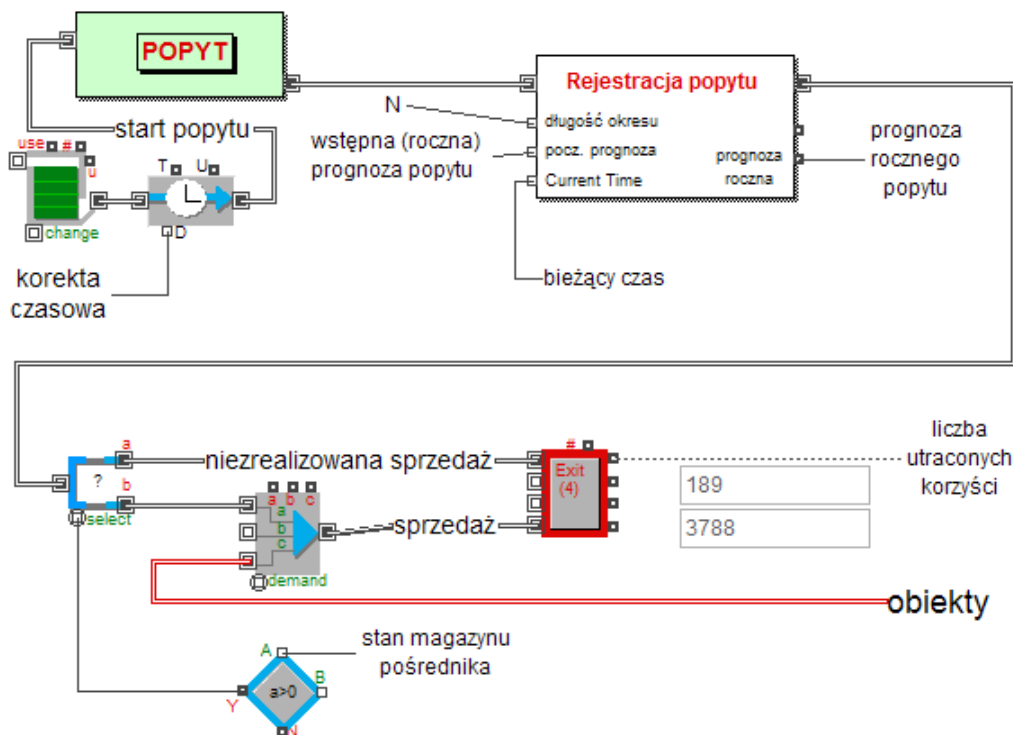
Rys. 1. Struktura modułu rejestracji popytu klientów, umożliwiającego prognozowanie popytu pośrednika

W kolejnym rozdziale zostanie przedstawione sterowanie modelem procesu produkcji, uzupełnianiem stanów magazynowych oraz przejściem z magazynu producenta do magazynu pośrednika, składające się na zestaw eksperymentów symulacyjnych.

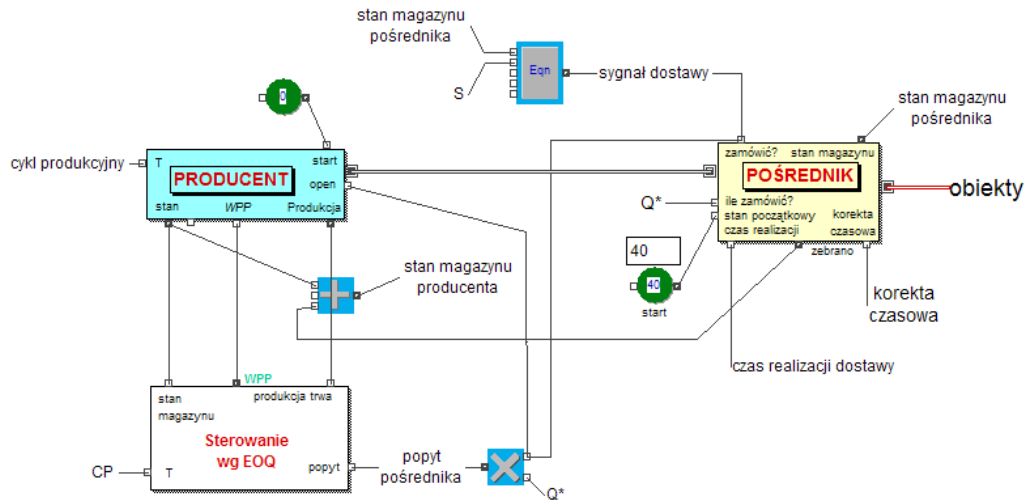
3. EKSPERYMENTY SYMULACYJNE

3.1. EKSPERYMENT I. SZCZEGÓŁY MODELU Z EKONOMICZNĄ WIELKOŚCIĄ ZAMÓWIENIA (EOQ)

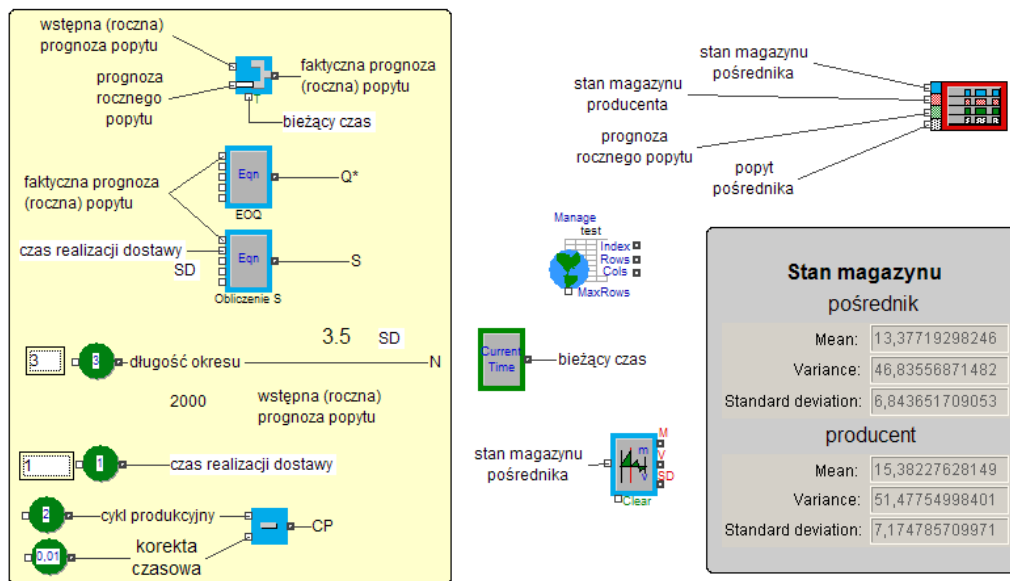
Graficzna postać modelu przedstawiona jest na (rys. 2, rys. 3 i rys. 4). Pozostanie ona niezmienną w czasie poszczególnych eksperymentów, za wyjątkiem wewnętrznej struktury bloku sterowania wielkością produkcji. W rozważaniach efektu byczego bicza podkreśla się, że jednym z jego powodów jest dbanie o racjonalność i optymalizację tylko lokalnych decyzji, których przykładem jest kierowanie się wyznaczeniem ekonomicznej wielkości zamówienia (EOQ) wg wzoru:



Rys. 2. Model w wariacie ze sterowaniem na podstawie EOQ. Moduł modelu popytu klientów, moduł rejestracji popytu klientów i moduł kojarzenia obiektów popytowych i podaźowych.



Rys. 3. Model w wariancie ze sterowaniem na podstawie EOQ. Moduły producenta i pośrednika oraz moduł sterowania wielkością produkcji.



Rys. 4. Model w wariancie ze sterowaniem na podstawie EOQ. Zespół bloków służących ustaleniu parametrów eksperymentów, zbieraniu wyników i ich raportowaniu.

$$EOQ = Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}}, \quad (1)$$

gdzie:

Q^* - optymalna wielkość zamówienia (najniższe koszty całkowite),

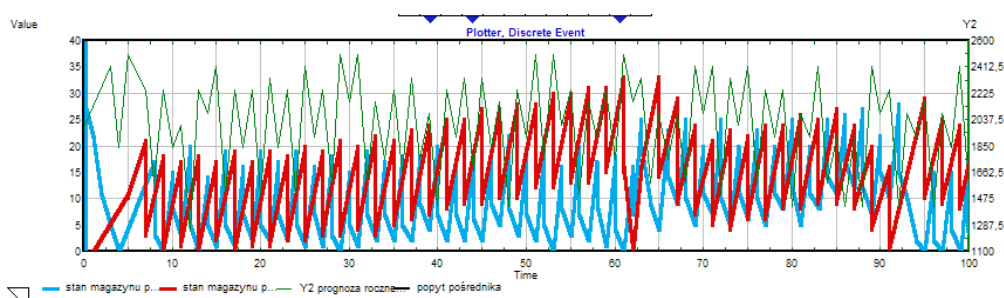
D – wielkość popytu (np. roczna),

S – koszt uruchomienia zamówienia,

H – koszt magazynowania jednostki (materiału, produktu itp.).

Założenia przyjmowane przy powyższej technice wymienione są w [Heizer 2001].

W badanym modelu przyjęto $S=10$ oraz $H=0,5$ jednostek pieniężnych. Założono, że początkowa prognoza roczna (później wyznaczana jest na bieżąco), wynikająca ze średniej wielkości rejestrowanego popytu, znanej eksperymentatorowi, wynosi 2000 jednostek na rok (250 dni roboczych). Wykres przebiegów najważniejszych wielkości w omawianym eksperymencie przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Przebieg wartości zmiennych dla przedziału czasowego 0–100 dni (od góry: popyt generowany przez klientów, stan magazynu pośrednika i stan magazynu producenta). Model w wariacie ze sterowaniem na podstawie EOQ.

Wielkość partii produkcyjnej wyznaczana jest na podstawie przebiegu wyznaczonej wartości Q^* , stanu magazynu pośrednika i producenta, czasu realizacji dostawy oraz współczynnika Z (poziomu obsługi klienta). Korzystamy z następujących wzorów [Bobowska 2002]. Operator sqrt oznaczać będzie pierwiastkowanie.

Poziom bezpieczeństwa pośrednika (inny niż koszt uruchomienia zamówienia):

$S = \text{czas realizacji dostawy} * \text{średnie zapotrzebowanie} + \text{współczynnik } Z * \text{sqrt}(\text{czas realizacji dostawy}) * \text{odchylenie standardowe popytu}$

Wielkość rzeczywistego zamówienia przez pośrednika:

Jeśli $\text{stan magazynu pośrednika} < S$ to zamawiamy Q^*

w przeciwnym przypadku nie zamawiamy nic.

Średnia ruchoma jest obliczana z trzech poprzednich okresów.

Współczynnik Z (poziomu obsługi klienta):
dla pośrednika $Z=2.33$, dla producenta $Z=1$.

Poziom krytyczny B dla producenta:

$$B = Z * \text{sqrt}(\text{cykl produkcyjny}) * \text{odchylenie standardowe popytu}$$

Jeśli *stan magazynu producenta* $> B$

to zamawiamy $WPP = \text{prognoza popytu pośrednika}$.

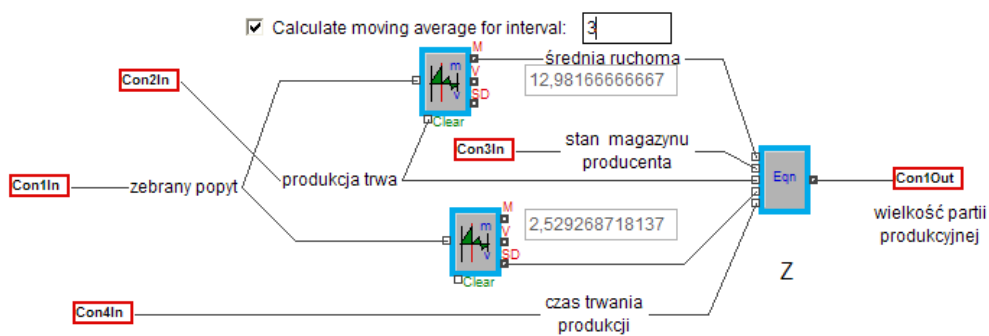
W przeciwnym przypadku zamawiamy

$$WPP = \text{prognoza popytu pośrednika} + \text{poziom krytyczny } B.$$

Wielkość partii produkcyjnej jest wyznaczana na bieżąco, jednak produkcja jest uruchamiana tylko wtedy gdy producent jest beczynny.

3.2. SZCZEGÓŁY MODELU ŁAGODZĄCEGO EFEKT BYCZEGO BICZA. EKSPERYMENT II

Celem eksperymentu II jest łagodzenie efektu byczego bicza. Zastosowano pierwszy wariant zmian proponowany w [Bobowska 2002]. Model modułu sterowania wielkością partii produkcyjnej przedstawiony jest na (rys. 6) a wykres przebiegów najważniejszych wielkości na (rys. 7).



Rys. 6. Model w wariantcie I - łagodzenie efektów byczego bicza. Wnętrze modułu sterowania wielkością partii produkcyjnej

Najważniejsza jest rezygnacja z wyznaczania ekonomicznej wielkości zamówienia (EOQ). W zamian za to korzysta się z następujących wzorów:

Zapasz zabezpieczający B pośrednika

$$= Z * \text{sqrt}(\text{czas realizacji zamówienia}) * \text{odchylenie standardowe popytu}$$

Jeśli *stan magazynu pośrednika* $> B$

to zamawiamy u producenta dostawę $Q^* = \text{prognoza popytu} + B - \text{stan magazynu}$

Zapas zabezpieczający B producenta

$$= Z * \text{sqrt}(\text{cykl produkcyjny}) * \text{odchylenie standardowe popytu pośrednika}$$

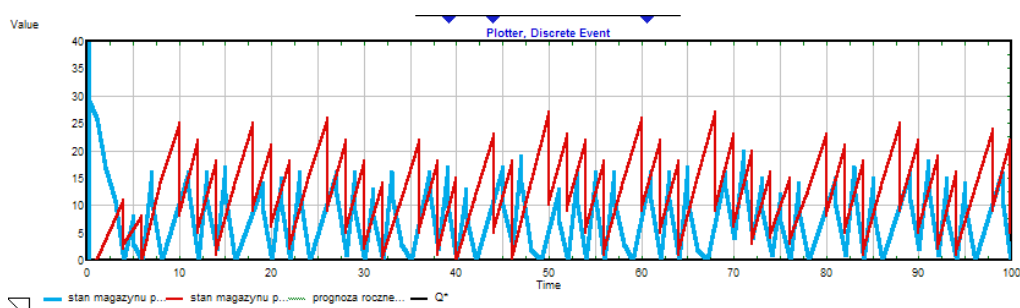
Jeśli stan magazynu producenta $> B$

to zamawiamy $WPP = \text{prognoza popytu pośrednika}$ (metodą średniej ruchomej).

W przeciwnym przypadku zamawiamy

$$WPP = \text{prognoza popytu pośrednika} + B - \text{stan magazynu}.$$

Wielkość partii produkcyjnej jest wyznaczana na bieżąco, jednak produkcja jest uruchamiana tylko wtedy gdy producent jest beczynny. Współczynnik Z poziomu obsługi klienta dla pośrednika i dla producenta przyjęto w granicach 1–2,33.



Rys. 7. Przebieg wartości zmiennych dla przedziału czasowego 0–100 dni (od góry: stan magazynu pośrednika i stan magazynu producenta). Walka z efektem byczego bicza – wariant I

3.3. SZCZEGÓŁY MODELU ŁAGODZĄCEGO EFEKT BYCZEGO BICZA. EKSPERYMENT III

Celem eksperymentu III jest łagodzenie efektu byczego bicza. Zastosowano drugi wariant zmian proponowany w [Bobowska 2002]. Wykres przebiegów najważniejszych wielkości przedstawiono na rys. 8. W tej wersji w porównaniu do pierwszego wariantu zmian zmodyfikowano politykę zamawiania w ogniwie dla pośrednika. Wykorzystano następujące formuły:

Poziom bezpieczeństwa pośrednika (inny niż koszt uruchomienia zamówienia):

$$S = \text{czas realizacji dostawy} * \text{średnie zapotrzebowanie}$$

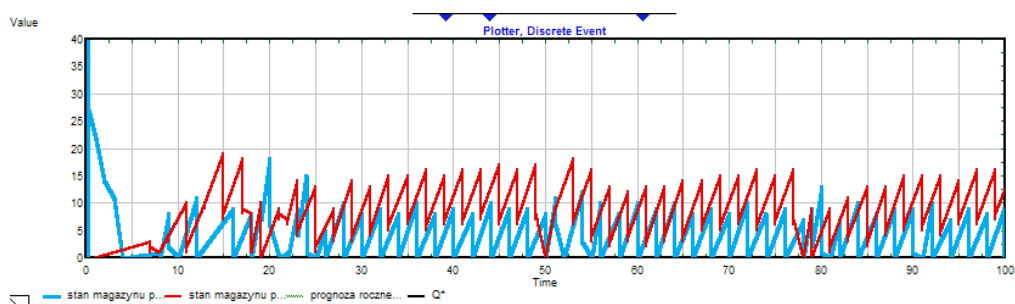
$$+ Z * \text{sqrt}(\text{czas realizacji dostawy}) * \text{odchylenie standardowe popytu}$$

Wielkość rzeczywistego zamówienia przez pośrednika:

Jeśli stan magazynu pośrednika $< S$

to zamawiamy $Q^* = S - \text{stan magazynu pośrednika}$.

W przeciwnym przypadku nie zamawiamy nic.



Rys. 8. Przebieg wartości zmiennych dla przedziału czasowego 0–100 dni (od góry: stan magazynu pośrednika i stan magazynu producenta). Walka z efektem byczego bicza – wariant II

Tabela 1. Wyniki eksperymentów symulacyjnych

	Eksperyment I	Eksperyment II		Eksperyment III	
Z producenta	1	1	2.33	1	2.33
Z pośrednika	2.33	1	2.33	1	2.33
Stan magazynu pośrednika (średni)	13.38	5.65	8.39	5.16	7.37
Odchylenie standardowe	6.84	3.61	4.87	3.59	4.66
Stan magazynu producenta (średni)	15.38	8.97	12.57	8.40	7.37
Odchylenie standardowe	7.17	4.45	6	3.98	6.32
Liczba utraconych korzyści	189	1804	1106	1717	687
Liczba sprzedanych produktów	3788	2194	2905	2286	3303

3.4. OMÓWIENIE WYNIKÓW EKSPERYMENTÓW

Na podstawie przedstawionych wyników liczbowych (tab.1) i wykresów zachowania najważniejszych wielkości występujących w modelu można stwierdzić, że korzystanie z ekonomicznej wielkości zamówienia wiąże się z najwyższymi średnimi stanami magazynów oraz ich odchyleniami standardowymi, natomiast najniższy jest stosunek liczby utraconych korzyści do liczby sprzedanych produktów. W eksperymentach II i III znacząco spadł średni stan magazynów i ich odchylenia standardowe, ale niestety bardzo znacząco zwiększył się odsetek utraconych korzyści. Wydaje się, że rozważyć należy wybór wariantu drugiego eksperymentu III z większą wartością

współczynnika Z (poziomu obsługi), dla którego wzrost liczby utraconych korzyści jest najmniejszy. Reasumując, w modelu wykazano występowanie efektu byczego bicza i uwarunkowania niektórych sposobów jego przewycięzania.

3.5. PODSUMOWANIE

Ze względu na ograniczone możliwości uproszczonej wersji pakietu symulacyjnego zdecydowano się na konstrukcję trzyogniowego modelu, składającego się z modułów producenta, pośrednika (może być on traktowany jako detalista) oraz modułu modelu popytu końcowego, bez pełnego systemu modelowania kosztów. Dostępne w trakcie badań narzędzie umożliwia korzystanie jedynie z 75 bloków i tyle bloków znajduje się w opracowanym modelu. Można oszacować, że na realizację modułu pośrednika potrzebne jest ok. 20 bloków, na moduł producenta ok. 15 bloków, bez zwiększenia integracji między modułami (blokami hierarchicznymi). Być może pewnym sposobem pokonania ograniczeń byłaby realizacja eksperymentu w trybie rozproszonym [Iannone 2007]. Jak pokazano powyżej, także w modelu o tak uproszczonych założeniach obserwować można efekt byczego bicza oraz – korzystając ze wskazówek dostępnych w literaturze – skutecznie go ograniczyć.

LITERATURA

- BOBOWSKA J. 2002. Powstawanie efektu byczego bicza na przykładzie prostego łańcucha logistycznego; [w:] *Logistyka* 6/2002 Instytut Logistyki i Magazynowania Poznań. URL: WWW.czasopismologistyka.pl/archiw/mt0602/bobowska.html
- DONOVAN R.M. 2003. *Supply Chain Management: Cracking the Bullwhip Effect: Part 3*, 2003(5), http://www.rmdonovan.com/pdf/SCM_PartIII.pdf
- FORRESTER J. 1958. Industrial Dynamics. A major breakthrough for decision makers; [w:] *Harvard Business Review*, 36 (1958) 4, ss. 37-66.
- HEIZER J., RENDER B. 2001. *Operation Management 6th edition*. Prentice Hall, Upper Saddle River.
- IANNONE R., MIRANDA S., RIEMMA S. 2007. Supply chain distribution simulation: An efficient architecture for multi-model synchronization; [w:] *Simulation Modelling Practice and Theory* 15 (2007); Elsevier B.V., ss. 221-236.
- KRAHL D. 2003. Extend: an interactive simulation tool; [w:] *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, ss. 188-196.
- MOYAUX T. 2007. Bibliografia internetowa nt. bullwhip effect URL: <http://www.damas.ift.ulaval.ca/~moyaux/travailE.html> (stan na 7.07.2007).
- NIENHAUS J., ZIEGENBEIN A., DUIJTS C. 2002. How human behaviour amplifies the bullwhip effect – a study based on the beer distribution game online; [w:] *Supply Chain World Europe Conference and Exposition*, Amsterdam. URL: http://www.beergame.lim.ethz.ch/Bullwhip_Effect_Article.pdf

- PLUTA-ZAREMBA A. 2002. Efekt byczego bicza w łańcuchu dostaw; [w:] *Gospodarka materiałowa i logistyka* 5/2002. PWE Warszawa. URL: http://akson.sgh.waw.pl/~apluta/publikacje/ap-efekt_byczego_bicza.pdf
- PLUTA-ZAREMBA A. 2005. Prognozowanie popytu; [w:] Rutkowski K. (red.) *Logistyka dystrybucji. Specyfika. Tendencje rozwojowe. Dobre praktyki*. SGH Warszawa. ss. 151-210.
- RUTKOWSKI K. 2004. Zarządzanie łańcuchem dostaw – próba sprecyzowania terminu i określenia związków z logistyką; [w:] *Gospodarka Materiałowa i Logistyka* 12/2004, PWE Warszawa, URL: http://akson.sgh.waw.pl/kl/artykuly/lan_dost_gmil2004.pdf
- SIMCHI-LEVI D., KAMINSKY P., SIMCHI-LEVI E. 2000. *Designing & Managing the Supply Chain*, Boston, Irwin/McGraw-Hill.
- ZABAWA J. 2006. Nanomodel hurtowni w symulacji zarządzania zapasami; [w:] *Modelowanie symulacyjne systemów społecznych i gospodarczych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław; ss. 63-70.
- ZABAWA J., MIELCZAREK B. 2007. Tools of Monte Carlo simulation in inventory management problems; [w:] *21st EUROPEAN Conference on Modelling and Simulation ECMS 2007*. Prague 2007.
- ZHANG C., ZHANG C. 2007. Design and simulation of demand and information sharing in a supply chain; [w:] *Simulation Modelling Practice and Theory* 15 (2007); Elsevier B.V., ss. 32-46.

Extend blocks copyright © 1987-2007 Imagine That Inc. All rights reserved.

THE BULLWHIP EFFECT IN A SUPPLY CHAIN MODEL

The paper presents conditions of the occurrences of bullwhip effect in supply chains. The author developed a set of computer modules and utilized it for construction of supply chain simulation model. A set of experiments was carried out showing the bullwhip effect and ways of overcoming its disadvantages.