

MODELOWANIE DYNAMICZNE SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH PRZY UŻYCIU OPROGRAMOWANIA ITHINK

Iłona OBLUSKA

Streszczenie: W niniejszej pracy przedstawiono podstawy modelowania i symulacji. Zostało zaprezentowane oprogramowanie iThink do symulacji. Omówiono i zaprezentowano podstawowe elementy wykorzystywane w programie iThink do budowania modeli. Przedstawione zostały proste modele łańcucha logistycznego i przeprowadzone na nich eksperymenty.

Słowa kluczowe: modele, modelowanie, symulacja, iThink.

1. Wprowadzenie do symulacji i modelowania

Rozwój narzędzi informatycznych pozwalających budować modele i badać je za pomocą komputerów rozpoczął się w latach pięćdziesiątych ubiegłego stulecia. Rozwój modelowania i symulacji odbywał się równolegle z rozwojem sprzętu komputerowego i metod informatycznych.

System, jest to zbiór obiektów i występujących między nimi relacji. Model systemu jest ilościową i jakościową reprezentacją systemu, na innej bazie materialnej niż występuje w rzeczywistości, odwzorowującą jego własności istotne ze względu na postawiony cel poznawczy. Model wykorzystywany w badaniu stanowi uproszczenie systemu rzeczywistego [1].

Ogólność pojęcia modelu daje możliwość wielu jego realizacji. Badacz systemu może nadawać modelowi różnorodną postać dostosowując ją do charakterystyki systemu, rodzaju zachodzących w nim procesów, postawionych celów poznawczych, swojej wiedzy o systemie oraz umiejętności modelowania. Wynika stąd, że dla danego systemu nie istnieje w ogóle jeden najlepszy model.

Ze względu na przeznaczenie modeli można wyróżnić *modele pogładowe*, które są przeznaczone do prezentacji systemu oraz *modele symulacyjne*, przeznaczone do badania zachowania się systemu.

Ze względu na tworzywo, z którego zbudowany jest model można wyróżnić dwa podstawowe rodzaje modeli:

- *modele fizyczne*, które zbudowane są z tworzywa materialnego,
- *modele symboliczne*, które zbudowane są z abstrakcyjnych symboli, wśród nich należy wymienić: *modele graficzne* - zbudowane w środowisku znaków graficznych, *modele matematyczne* - zbudowane w środowisku symboli i formuł matematycznych, oraz *modele komputerowe* - zbudowane w środowisku języków programowania komputerowego; przy obecnym zaawansowanym poziomie informatyki modele te mogą syntetyzować własności modeli graficznych i matematycznych

Dalej można dokonać podziału modeli ze względu na czynnik czasu i wyróżnia się modele [2]:

- statyczne, w których czynnik czasu nie występuje (stan systemu nie jest zależny od czasu, atrybuty systemu nie zmieniają się wraz z czasem symulacji),
- dynamiczne, w których czynnik czasu ma kluczowe znaczenie (wynik symulacji zależy od czasu trwania symulacji).

Następnie ze względu na rodzaj modelowanego procesu modele mogą być [2]:

- ciągłe, w których zmiany stanów systemu zmieniają się w sposób ciągły w czasie,
- dyskretne, w którym zmiany stanu systemu zmieniają się jedynie w określonych punktach czasowych, zwanych zdarzeniami.

Kolejny podział uwzględnia postać wartości reprezentujących własności systemu, model może być [2]:

- deterministyczny, gdzie nie występują zmienne losowe, a działanie modelu nie opiera się na wartościach losowych, tylko na stałych wartościach w czasie,
- stochastyczny, w którym wartości są losowe, czyli nie występuje schemat ich występowania.

Modelowanie, czyli proces budowy modelu, jest to więc takie odwzorowanie systemu, które pozwoli przedstawić jego podstawowe cechy umożliwiając uproszczenie i przyspieszenie badań.

Symulacja to odwzorowanie zachowania się systemu. Symulacja jest to sztuczne odtwarzanie właściwości danego zjawiska lub przestrzeni, występujących w naturze, lecz trudnych do zaobserwowania, zbadania, powtórzenia. Dzięki niej możliwe jest prowadzenie pomiarów badań w wybranym miejscu i czasie. Przyjęto, aby słowo *symulacja*, było stosowane tylko do modelowania dynamicznego, czyli uwzględniającego zmiany w czasie [2].

Symulacja komputerowa polega na stworzeniu odpowiedniego modelu matematyczno - logicznego, symulowanego obiektu, w postaci zapisu komputerowego, który zawiera powiązania między zmiennymi, których zależności można badać poprzez zmiany wartości sygnałów wejściowych i parametrów modelu. Techniki symulacyjne są szczególnie przydatne tam, gdzie wyznaczenie rozwiązania w sposób analityczny byłoby bardzo pracochłonne i uciążliwe, a niekiedy nawet niemożliwe.

Model symulacyjny jest zbiorem instrukcji dla komputera, definiujących każdą zmienną i powiązania między nimi. Zaletą modeli symulacyjnych jest to, że w ciągu kilku sekund można zbadać skutki zmiany warunków i przewidzieć zachowanie badanego systemu w dłuższym czasie.

Modelowanie symulacyjne polega na bezpośrednim opisie modelowanego obiektu, gdzie najważniejszą cechą jest podobieństwo struktur obiektu i modelu. Co oznacza, że każdemu istotnemu elementowi obiektu odpowiada element modelu. Przy tworzeniu modelu symulacyjnego opisywane są zasady działania elementów obiektu oraz zależności między nimi. Model symulacyjny umożliwia wykonanie eksperymentów, gdzie proces zachodzący jest podobny do procesu zachodzącego w obiekcie rzeczywistym.

Badania symulacyjne w porównaniu do badań w świecie rzeczywistym mają przewagę w postaci zmniejszenia kosztów i skrócenia czasu równoważnych badań.

Rozwój techniki komputerowej oraz powstanie wielu pakietów do modelowania i symulacji stworzyły nowe techniczne możliwości [3].

2. Modelowanie w środowisku iThink - podstawowe elementy

Pakiet oprogramowania *iThink* jest przeznaczony do modelowania systemów dynamicznych. Pakiet ten wspomaga swoimi możliwościami postawę poznawczą opartą na postrzeganiu otoczenia w kategoriach systemowych, dostrzeganiu sprzężeń między zjawiskami, a szczególnie oddziaływań nieliniowych. Taka postawa oraz oprogramowanie pakietu tworzą specyficzne środowisko modelowania, w którym mogą powstawać modele o specyficznej konstrukcji i możliwościach poznawczych.


Od strony użytkowej, pakiet *iThink* jest zbiorem elementów konstrukcyjnych modeli oraz zbiorem zasad łączenia ich w struktury, które mogą - jako modele - reprezentować zachowanie się systemów rzeczywistych.


Użytkownik pakietu wspomagany jest na każdym etapie swojej pracy wieloma możliwościami zasięgania pomocy, wyjaśniania, śledzenia działania modelu, bardzo przydatnymi w praktyce.


W środowisku *iThink* modelowany system jest postrzegany jako dynamiczny układ strumieni produktów pomiędzy stanowiskami, na których zachodzi obsługa tych strumieni.

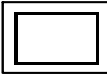
Produkt jest to dowolne, fizyczne lub abstrakcyjne tworzywo, które definiuje modelujący. Działanie modelowanego systemu rozpatrywane jest w przedziale danego czasu, podzielonego na jednostki określone przez modelującego. Produkty wchodzą do systemu w postaci strumieni o danym natężeniu (jednostki ilości)/(jednostkę czasu). W systemie, strumienie produktów przemieszczają się między zasobami, które charakteryzują się różnymi własnościami, oddziałują na siebie i podlegają oddziaływaniu. Wszystko to przebiega w czasie, kształtując dynamikę systemu.

W pakiecie *iThink* występują cztery typy zasobów: Magazyn, Transporter, Poczekalnia i Aparat, które są poniżej scharakteryzowane [4, 5].

Magazyn
 Magazyn jest to zasób, który kumuluje wpływające do niego strumienie jednoimiennych produktów. Wpływające jednostki produktów tracą swoją tożsamość. Strumienie wypływające z magazynu zmniejszają jego stan produktów odpowiednio do swojego natężenia.

Transporter
 Transporter jest to zasób, który przyjmuje na wejściu strumienie produktów. Wpływające jednostki produktów zachowują swoją tożsamość. Jednostki opuszczają transporter po upływie ustalonego czasu przejścia.

Poczekalnia
 Poczekalnia charakteryzuje się tym, że jednostki produktów wpływające do tego zasobu są w nim przetrzymywane, zachowując swoją kolejność, do czasu, gdy pojawi się możliwość ich dalszego przepływu do kolejnego zasobu, który podejmie ich obsługę.

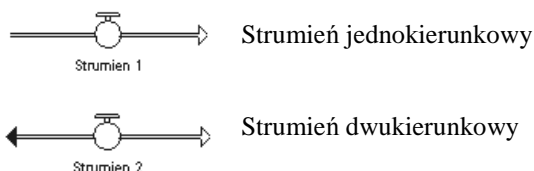
Aparat
 Aparat charakteryzuje się tym, że jednostki produktów wpływają do zasobu przez określony czas załadunku. Niezależnie od stopnia napełnienia, cała zawartość zasobu opuszcza go po upływie określonego czasu obsługi.

Wszystkie powyższe typy zasobów muszą mieć określony stan początkowy znajdujących się w nich produktów.



Otocznia jest szczególnym typem zasobu o nieograniczonej pojemności, z którego może przybywać i do którego może odpływać każdy rodzaj produktów.

Wyróżnia się dwa typy strumieni, które dotyczą przepływu produktów, przedmiotów i wyrobów.



Parametry są wielkościami zadawanymi, kształtującymi natężenie strumieni produktów. Zmienne pośrednie pełnią tę samą rolę w modelu, lecz są wyliczane z parametrów.

○ Symbol parametru lub zmiennej pośredniej



Symbol łącznika, wiążącego parametry lub zmienne pośrednie z innymi elementami systemu.

Równania dynamiki powstają w pakiecie *iThink* automatycznie, jako efekt tworzonego przez modelującego struktur zasobów i strumieni. Podstawowa postać równania wyznaczającego stan produktów na zasobie wygląda w sposób następujący:

$$S(t) = S(t-dt) + (We(t) - Wy(t)) * dt, \quad (1)$$

gdzie:

S - stan produktu na zasobie S w chwili t,

dt - krok czasu,

We - natężenie strumienia wejściowego produktu w chwili t,

Wy - natężenie strumienia wyjściowego produktu w chwili t.

Równania strumieni tworzone są przez modelującego jako funkcje algebraiczne i logiczne z wykorzystaniem standardowych operatorów i funkcji matematycznych.

Modelowanie w środowisku *iThink* przebiega w sposób podobny do modelowania w innych środowiskach. Różnice jedynie występują na etapie budowy modelu. W środowisku *iThink* budowa modelu zaczyna się od ustalenia produktów, występujących w systemie, następnie ustalenia strumieni produktów, i ustalenia parametrów i zmiennych, oraz ustalenia występujących zasobów. Dalej przystępuje się do zbudowania struktury modelu, po czym należy ustalić postać danych wejściowych oraz wyjściowych. Teraz przystępuje się do nadania wartości początkowych zasobom, strumieniom i parametrom a następnie przechodzi się do testowania formalnej poprawności modelu.

Udokumentowanie modelu kończy proces modelowania i umożliwia oddanie modelu do eksploatacji, jako narzędzia wspomagającego podejmowanie decyzji.

Program *iThink* umożliwia pracę na trzech płaszczyznach. Pierwsza służy do tworzenia modelu z dostępnych elementów, druga płaszczyzna zawiera równania, które powstają automatycznie podczas tworzenia modelu, zadaniem modelującego jest określenie występujących zależności pomiędzy wielkościami, jak również określenie parametrów początkowych. Trzecia płaszczyzna jest przeznaczona dla użytkownika końcowego, który może nie mieć dostępu do omówionych wcześniej dwóch płaszczyzn. Tu model jest badany i obserwowany w zakresie opracowanym i udostępnionym uprzednio przez modelującego.

3. Przykładowe modele zbudowane w środowisku iThink - sterowanie zapasami

W tej części przedstawione zostaną modele dotyczące sterowania zapasami reprezentujące dwa klasyczne podejścia – sterowanie zapasami ze stałą wielkością dostawy i sterowanie zapasami ze stałym cyklem zamawiania.

Modele te zbudowane są z zastosowaniem przedstawionych wcześniej prostych modeli elementów systemu i sprzężeń.

Opisywany model odzwierciedla sytuację magazynu dystrybucyjnego. Każdy produkt powinien być obserwowany oddzielnie. Wyniki modelu mogą pomóc ustawić współpracę z dostawcami i odbiorcami, oraz określać zapotrzebowanie na powierzchnię magazynu.

3.1. Metoda sterowania zapasami ze stałą wielkością dostawy

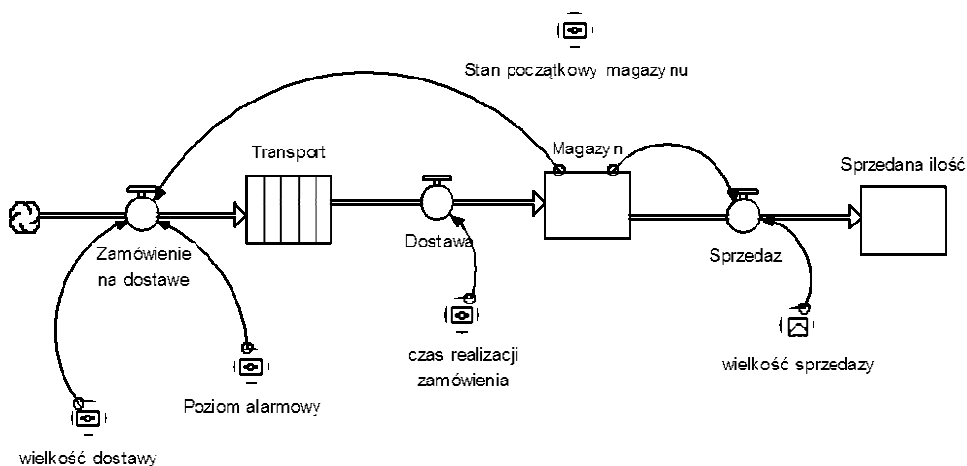
Modelowany łańcuch logistyczny przedstawia zaopatrzenie, magazynowanie oraz sprzedaż przy zastosowaniu sterowania zapasami wg metody poziomu zamawiania. Model jest przeznaczony do badania kształtowania się poziomu zapasów wyrobów w magazynie, jak również zaspokojenia popytu klientów przy zmienianiu wielkości zapotrzebowania.

Sterowanie zapasami w magazynie odbywa się wg zasady poziomu zamawiania. Początkowy stan magazynu wynosi „Stan początkowy magazynu”. Wyroby są dostarczane do magazynu przez dostawcę partiami o wartości równej „wielkość dostawy”. W jednostce czasu z magazynu odplywa partia o liczebności „wielkość sprzedaży”. Spadek stanu magazynu poniżej „poziomu alarmowego” powoduje wystawienie zamówienia na dostawę kolejnej partii wyrobów. Zamówienie dostawy jest realizowane w czasie odpowiadającym „czasowi realizacji zamówienia”

Model systemu (rys. 1) zawiera następujące elementy:

- Zasoby: Transport, Magazyn, Sprzedana ilość
- Strumienie: Zamówienie na dostawę, Dostawa, Sprzedaż
- Parametry: Wielkość dostawy, Zapas początkowy magazynu, Poziom alarmowy, Czas realizacji zamówienia, Wielkość sprzedaży.

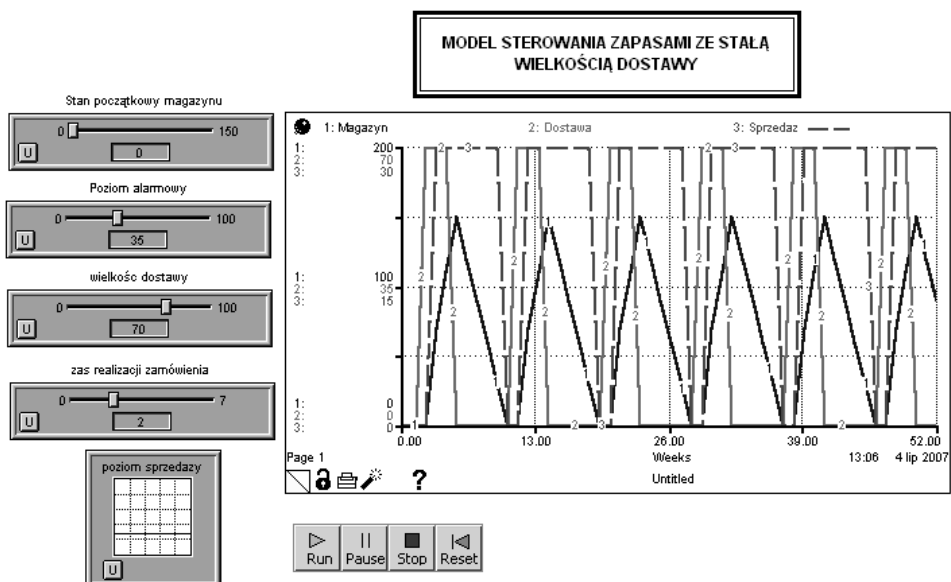
W systemie przepływowi podlegają wyroby.



Rys. 1. Model sterowania zapasami - metoda poziomu zamawiania

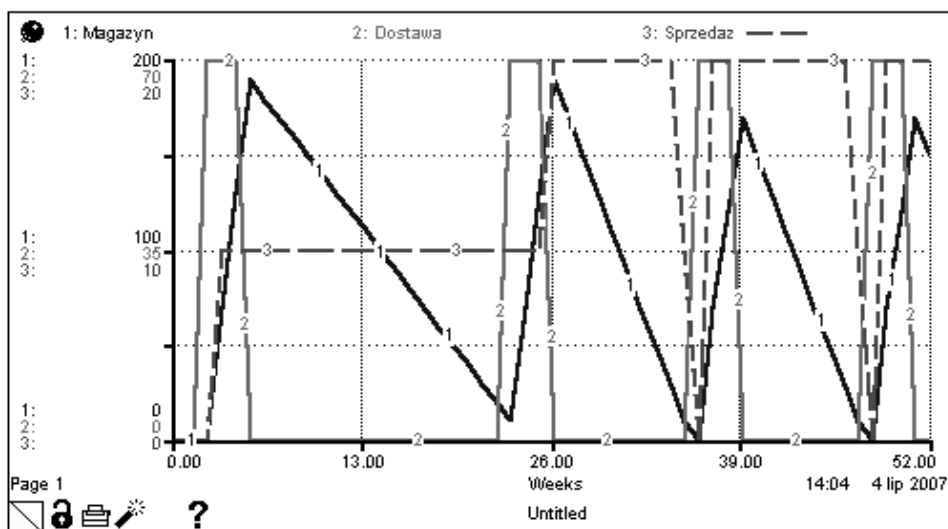
Źródło: opracowanie własne

Na płaszczyźnie użytkownika umieszczone są przyciski pozwalające ustalać wartości wszystkich parametrów modelu: Zapas początkowy, Czas realizacji zamówienia, wielkość dostawy, Poziom alarmowy, Wielkość sprzedaży (rys. 2).



Rys. 2. Widok panelu użytkownika
Źródło: opracowanie własne

Rys. 3 przedstawia wpływ zmiany wielkości sprzedaży na kształtowanie się poziomu zapasów wyrobów z magazynie jak również częstotliwość dostaw.



Rys. 3. Zmiana wielkości sprzedaży z 10 do 20 sztuk w 26 tygodniu
Źródło: opracowanie własne

W analizowanym przykładzie badaniu poddano zachowanie się modelu przy zmianie wielkości sprzedaży w czasie. W pierwszym przypadku wielkość sprzedaży jest stała w czasie natomiast w drugim następuje jednorazowa skokowa zmiana z ilości 10 sztuk do 20 sztuk w 26 tygodniu. Umożliwia to analizowanie stanu poziomu magazynu jak również częstotliwości dostaw wyrobów. Symulacje przeprowadzone są dla 52 tygodni.

3.2. Metoda sterowania zapasami ze stałym cyklem zamawiania

Modelowany łańcuch logistyczny przedstawia zaopatrzenie, magazynowanie oraz sprzedaż przy zastosowaniu sterowania zapasami wg metody cyklu zamawiania. Model jest przeznaczony do badania kształtowania się poziomu zapasów wyrobów w magazynie, jak również zaspokojenia popytu klientów przy zmienianiu wielkości zapotrzebowania.

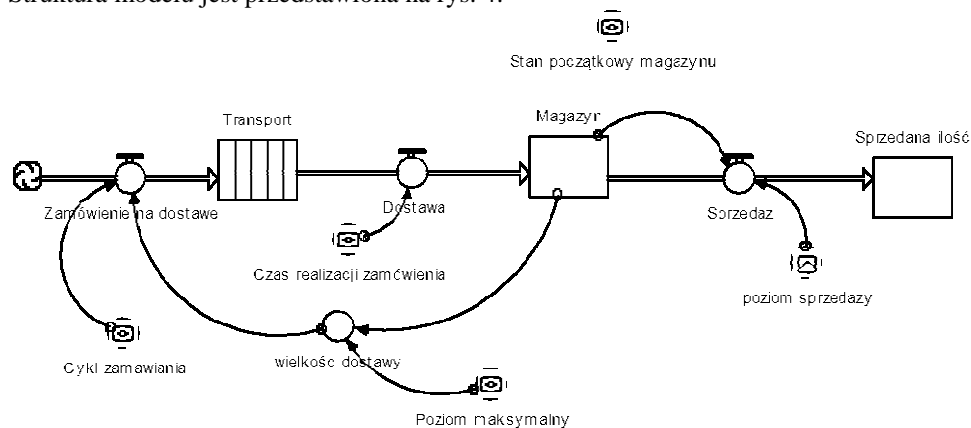
Sterowanie zapasami w magazynie odbywa się wg zasady cyklu zamawiania. Początkowy stan magazynu wynosi „Stan początkowy magazynu”, natomiast stan maksymalny magazynu „poziom maksymalny”. Wyroby są zamawiane u dostawcy w stałym cyklu zamawiania „cykl zamawiania”. Wielkość zamawianej partii dostawczej wyznaczana jest w momencie zamawiania i wynosi $\text{Wielkość dostawy} = \text{Poziom maksymalny} - \text{Magazyn (stan bieżący)}$. W jednostce czasu z magazynu odpływa partia o liczności „wielkość sprzedaży”. Zamówienie dostawy jest realizowane w czasie odpowiadającym „czasowi realizacji zamówienia”

Model systemu zawiera następujące elementy:

- Zasoby: Transport, Magazyn, Sprzedana ilość
- Strumienie: Zamówienie na dostawę, Dostawa, Sprzedaż
- Parametry: Cykl zamawiania, Zapas początkowy magazynu, Poziom maksymalny, Czas realizacji zamówienia, Wielkość sprzedaży

W systemie ruchowi podlegają wyroby.

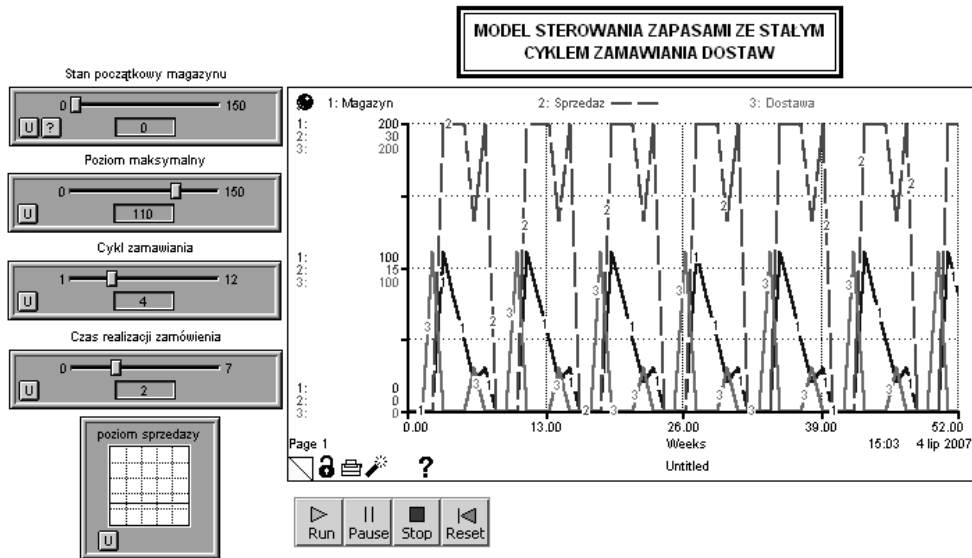
Struktura modelu jest przedstawiona na rys. 4:



Rys. 4. Model sterowania zapasami - metoda cyklu zamawiania

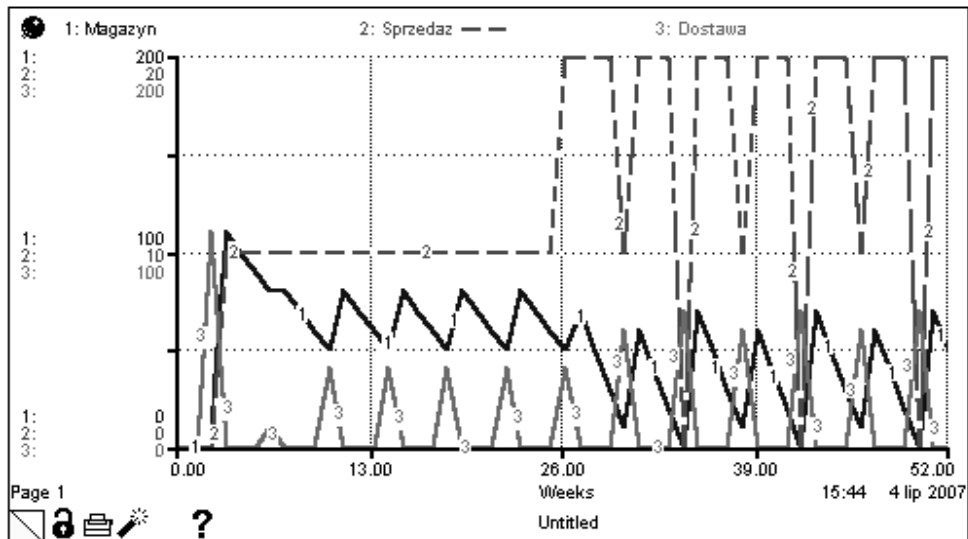
Źródło: opracowanie własne

Na płaszczyźnie użytkownika umieszczone są przyciski pozwalające ustalać wartości wszystkich parametrów modelu: Zapas początkowy, Czas realizacji zamówienia, Cykl zamawiania, Poziom maksymalny, Wielkość sprzedaży (rys. 5).



Rys. 5. Panel użytkownika
Źródło: opracowanie własne

Rys. 6 przedstawia wpływ zmiany wielkości sprzedaży na kształtowanie się poziomu zapasów wyrobów z magazynu jak również wielkość dostaw



Rys. 6. Zmiana wielkości sprzedaży z 10 do 20 sztuk w 26 tygodniu
Źródło: opracowanie własne

W analizowanym przykładzie, badaniu poddano zachowanie się modelu przy zmianie wielkości sprzedaży w czasie. W pierwszym przypadku wielkość sprzedaży jest stała w czasie natomiast w drugim, w 26 tygodniu, następuje jednorazowa skokowa zmiana z ilości 10 sztuk do 20 sztuk. Umożliwia to analizowanie stanu poziomu magazynu jak również wielkości dostaw wyrobów. Symulacje przeprowadzone są dla 52 tygodni.

3.3 Wnioski

Analizując jednocześnie obydwa modele sterowania zapasami (metoda cyklu i metoda dostaw) przy zadanych parametrach okazuje się, że przy stałym popycie lepszy poziom obsłużenia klientów osiąga się w modelu ze stałą wielkością dostaw. W modelu ze stałym okresem zamawiania częściej występowała sytuacja braku wyrobów w magazynie.

W przypadku pierwszym można określić jak zmieni się pojemność magazynu jeśli w celu zaspokojenia potrzeb klientów zostanie zwiększona częstotliwość dostaw wyrobu do magazynu. Analizując to zagadnienie należy wziąć pod uwagę, iż zwiększona częstotliwość dostaw spowoduje wzrost kosztów transportu, ale też zapewni lepszą obsługę klienta.

W drugim przypadku w celu zaspokojenia popytu na oferowane wyroby i zapobieganiu wystąpienia sytuacji braku towaru należałoby zwiększyć wielkość zamawianych dostaw, ale będzie to miało wpływ na zwiększenie maksymalnej pojemności magazynu i utrzymywanie znacznie większych poziomów zapasów, co przekłada się na z kolei na wyższe koszty utrzymywania zapasów.

Poprzez odpowiednie zadawanie różnych wartości parametrów można obserwować i analizować pojemność magazynu, zarówno jego maksymalną wielkość jak i średni poziom zapasu. Na podstawie otrzymanych wyników i wykresów pozyskuje się informację, w jakim stopniu są obsługiwani klienci i realizowana sprzedaż. Punkty nieciągłości na wykresach pokazują, ile razy zabrakło wyrobów i na jaki okres. Dzięki temu można oszacować poziom zapasu zabezpieczającego, który nie dopuści do wystąpienia sytuacji, że klient nie będzie miał niezrealizowanego zapotrzebowania.

Poprzez dodawanie innych elementów do modelu można go dalece rozbudowywać, co umożliwi analizowanie sytuacji bardziej zaawansowanych.

4. Podsumowanie

Jednym z podstawowych pojęć dynamiki systemu jest relacja między magazynami i przepływami. Najlepsze symulacyjne programy komputerowe do modelowania dynamicznego umożliwiają generowanie mapy systemów, dające wierny obraz magazynów i przepływów oraz występujących w systemie pętli sprzężeń zwrotnych. Jednym z najpopularniejszych narzędzi modelowania dynamiki systemów, ze względu na wielkie możliwości i łatwość obsługi, jest program *iThink*. Możliwe jest sporządzenie pełnej mapy systemu jeszcze przed wprowadzeniem równań [6]. *iThink* jest idealnym narzędziem do modelowania prostych dyskretnych systemów, natomiast nie nadaje się do bardzo skomplikowanych dyskretnych systemów, takich jak linia montażowa samochodów z uwzględnieniem indywidualnych części.

Za pomocą programu *iThink* można modelować szereg ciekawych systemów, zarówno produkcyjnych, jak i gospodarczych, czy społecznych. Wykorzystując to narzędzie powstają modele systemów produkcyjnych np.: szeregowych czy równoległych. Model równoległy nadaje się również do obserwowania zachowań obsługi klientów np.: w supermarkecie, aptece, banku, czy na lotnisku przy odprawie pasażerskiej. Umożliwia

również analizowanie zjawiska starzenia się społeczeństwa, rozwoju kariery pracowników i wzrostu firmy, oraz wiele innych procesów o charakterze społecznym.

Budowanych modeli nie należy traktować jako w pełni skończone, podlegają one zmianom. Użytkownik modelu musi ciągle zadawać pytania czy założenia modelu są nadal adekwatne do zmieniających się warunków [7].

Literatura

1. Kłodziński R.: Symulacyjne Metody Badania Systemów, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
2. Zdanowicz R., Świder J.: Modelowanie i Symulacja Systemów Produkcyjnych w Programie Enterprise DYNAMICS, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
3. Kasperska E., Dynamika Systemowa – Symulacja i Optymalizacja, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
4. Richmond B.: An Introduction to Systems Thinking, High Performance Systems, 2001
5. Technical Documentation for the *iThink* & STELLA Software, 2004 isee systems
6. Senge P.: Piąta Dyscyplina Materiały dla Praktyka. Jak budować organizację uczącą się, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2002.
7. Sterman J.: Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World, McGraw-Hill, 2000.

Mgr inż. Ilona OBLUSKA
Wydział Inżynierii Produkcji
Politechnika Warszawska
02-524 Warszawa, ul. Narbutta 86
tel.: (0-22) 234-81-23
e-mail: ilona.obluska@wp.pl