

## Symulacja obrotów magazynowych

Wykorzystanie symulacji komputerowej w zarządzaniu przedsiębiorstwem stanowi obecnie jeden z dynamicznie rozwijających się kierunków badań. Możliwość sięgnięcia w przeszłość i przeanalizowania skutków podjętych w teraźniejszości decyzji, daje menedżerowi szansę uniknięcia poważnych potknięć. Kierunek badań nad symulatorami w zarządzaniu logistycznym wydaje się być słuszny, gdyż jak pisze profesor Stefan Abt (1998): „Obok badań operacyjnych, których dorobek znalazł powszechne zastosowanie do wspomaganie decyzji menedżerskich, w obszarze zarządzania logistycznego wyjątkową rolę może odegrać symulacja komputerowa, której rozpowszechnienie w tym zakresie jest znikome, zwłaszcza w Polsce”.

Symulator komputerowy pozwala na wielowariantową ocenę skutków proponowanych decyzji. Budując symulator należy mieć na uwadze przede wszystkim dostępność i rzetelność informacji przyjętej za zbiór danych wejściowych w eksperymentach symulacyjnych. Ogólnie przyjmuje się, że zbiór ten powinien być stosunkowo niewielki, nawet kosztem ograniczenia zakresu zagadnień analizowanych przy użyciu modelu (Radosiński, 1998).

W artykule przedstawiono realizację symulatora obrotów magazynowych traktującego bazy danych programu magazynowego jako bazę informacyjną. Realizowana symulacja obrotów magazynowych zakłada jeden strumień wpływający do magazynu oraz jeden strumień wypływający z magazynu. Strumień wypływający z magazynu zależy od popytu na dany towar. Funkcja popytu jest określona równaniem, którego postać wynika z wcześniej przeprowadzonej analizy sprzedaży (propozycję analizy funkcji popytu omówiono szerzej w tegorocznym marcowym numerze - Chodak et al. 2002). W założonej funkcji popytu istnieje jego zależność od ceny, dlatego też cena została wybrana jako jedna ze zmiennych decyzyjnych.

Strumień wpływający do magazynu jest uzależniony od przyjętej metody zamawiania. W proponowanym symulatorze wybrano dwa modele zamawiania:  $(s-S)$  (nazywany często *min-max*) oraz *re-order point*. Modele te nie wymagają bowiem informacji na temat kosztów magazynowania, które to informacje nie są zawarte w bazach danych programów GM. Dokumenty kosztowe są ewidencjonowane w programach finansowo-księgowych, które nie mogą być brane pod uwagę jako źródło danych dla symulatora, ze względu na zaszyfrowane dane, które dodatkowo są aktualizowane dopiero pod koniec okresu rozrachunkowego.

W obydwu klasycznych modelach zamawiania, uzupełniające zamówienie generowane jest gdy poziom zapasu obniżył się w magazynie poniżej poziomu alarmowego (bezpieczeństwa). W klasycznych metodach przyjęto jednak założenie o stałej wartości popytu. Założenie to nie jest spełnione dla analizowanych danych, stąd uzasadnione wydaje się zaproponowanie innej metody wyznaczania poziomu zapasu alarmowego.

Poniżej przedstawiono propozycję wyznaczenia poziomu zapasu alarmowego wykorzystując wcześniejszą analizę, która została przeprowadzona przy wyznaczaniu parametrów funkcji popytu. Istotną informacją jaką posiada system po przeprowadzeniu tej analizy, jest błąd jaki wystąpił przy identyfikacji funkcji popytu. Uzależnienie zapasu alarmowego od tego błędu wydaje się być w tej sytuacji uzasadnione. W przypadku, gdy błąd identyfikacji funkcji popytu jest duży, oznacza to najprawdopodobniej (przy założeniu, że identyfikacja została przeprowadzona prawidłowo), że popyt nie jest stabilny i nie daje się dobrze przybliżyć do założonej funkcji. W takim przypadku można się spodziewać dużych wahań popytu i wydaje się być zasadnym przyjęcie wysokiego poziomu zapasu bezpieczeństwa. Dlatego też, jako wartość współczynnika bezpieczeństwa, przyjęto błąd powstały przy wyznaczaniu funkcji popytu.

W modelu  $(s,S)$  zamawiana ilość stanowi różnicę pomiędzy poziomem maksymalnym „S”, a posiadanym w magazynie zapasem. W zrealizowanym modelu symulacyjnym przyjęto, że zapas maksymalny jest iloczynem czasu realizacji zamówienia i maksymalną sprzedażą zaobserwowaną w okresie przeszłym.

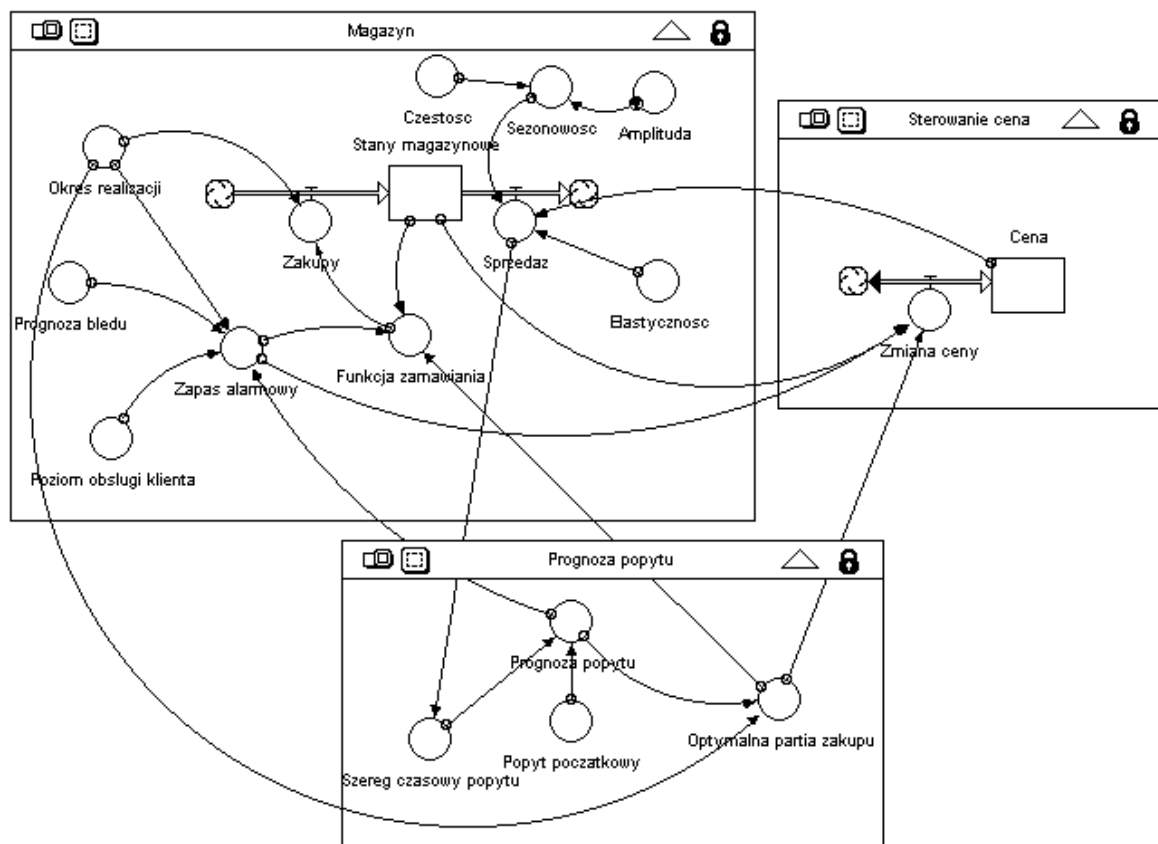
W modelu *re-order point* wielkość zamawianej partii może być równa optymalnej partii dostawy, czyli takiej ilości, która zapewnia minimalizację kosztów tworzenia i utrzymywania zapasów. W przypadku gdy określenie kosztu utrzymywania zapasów nie jest możliwe, np. gdy mamy do dyspozycji tylko bazę danych programu gospodarki magazynowej, w której dokumenty kosztowe nie są ewidencjonowane, wielkość zamówienia  $Q$  może zostać wyznaczona jako suma przewidywanej sprzedaży w okresie realizacji zamówienia, powiększona o współczynnik bezpieczeństwa.

Dla jednego i drugiego modelu, zamówienie ilości  $Q$  do magazynu jest realizowane w przypadku, gdy stany magazynowe osiągną poziom poniżej zapasu alarmowego.

Pierwotna wersja proponowanego symulatora zbudowana została w programie STELLA<sup>®</sup> (Rysunek 1.), będącym narzędziem do tworzenia modeli symulacyjnych, opartych na metodologii dynamiki systemów Forrestera. Program ten jest przydatny przy projektowaniu modeli symulacyjnych, ze względu na elastyczność narzędzi do budowy modelu, łatwość

modyfikacji parametrów oraz obserwacji wpływu ich wartości na przebieg symulacji (Kwaśnicki, 1998).

Zachęcające wyniki eksperymentów symulacyjnych modelu wstępnego potwierdziły użyteczność proponowanego podejścia. Ta wstępna wersja została przeniesiona ze STELLI® do środowiska Excela, dzięki wykorzystaniu języka Visual Basic for Applications. Wybór został podyktowany wieloma zaletami tego języka, takimi jak: możliwość graficznej wizualizacji wyników oraz praca użytkownika w trybie interaktywnym, dzięki oprogramowaniu zdarzeń przy pomocy VBA (Sosińska-Wit i inni, 2000).



Rysunek 1. Model obrotów magazynowych zrealizowany w programie Stella®

Tabela 1. Symulacja obrotów magazynowych

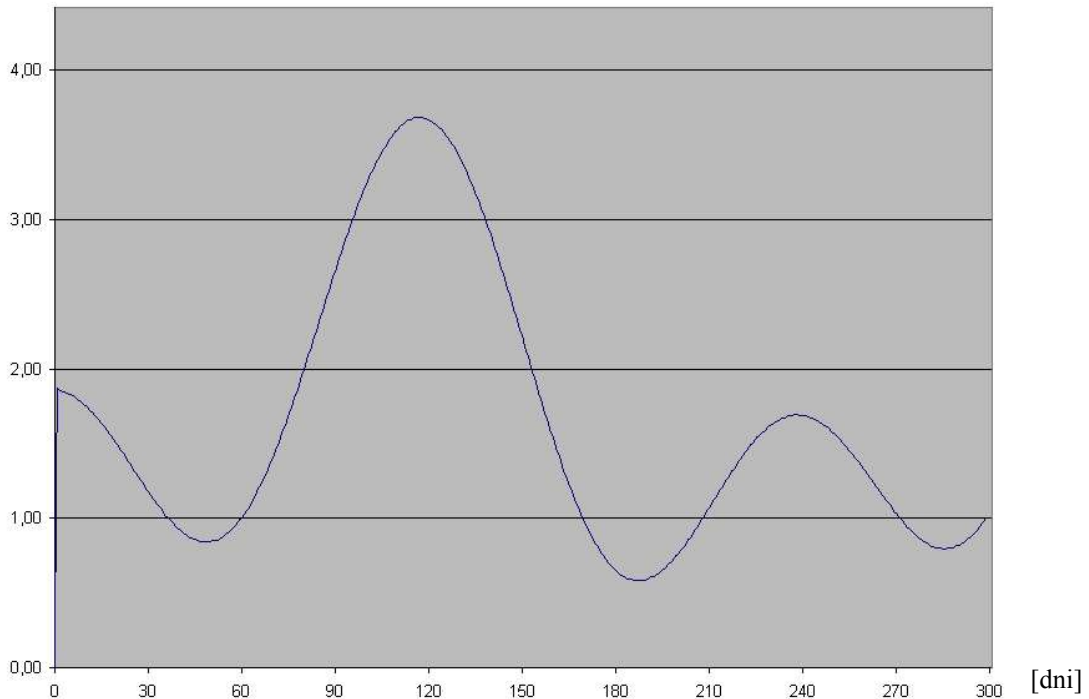
Czas	Zapasy	Zamówienie do dostawcy	Wielkość zamówienia	Dostawa w drodze	Dostawa do magazynu	Pobranie z magazynu	Cena towaru [zł]	Przychód [zł]
0	100,00	20,00		20,00	0,00	20,00	9,30323	186,06

1	100,00	0,00	0,00	20,00	0,00	8,49	9,30323	78,98
2	91,51	0,00	0,00	20,00	0,00	8,73	9,30323	81,26
3	82,78	0,00	68,18	20,00	0,00	8,59	9,30323	79,88
4	74,19	0,00	68,27	20,00	0,00	8,32	9,30323	77,38
5	65,87	0,00	68,17	20,00	0,00	8,42	9,30323	78,35
6	57,45	0,00	68,06	20,00	20,00	8,71	9,30323	81,01
7	68,74	0,00	68,15	0,00	0,00	8,65	9,30323	80,47
8	60,09	68,15	0,00	0,00	0,00	8,35	9,30323	77,72
9	51,74	0,00	0,00	68,15	0,00	8,37	9,30323	77,82
10	43,37	0,00	0,00	68,15	0,00	8,66	9,30323	80,58
11	34,71	0,00	68,11	68,15	0,00	8,70	9,30323	80,93
12	26,01	0,00	68,25	68,15	0,00	8,41	9,30323	78,23
13	17,60	0,00	68,23	68,15	0,00	8,32	9,30323	77,44
14	9,28	0,00	68,09	68,15	68,15	8,60	9,30323	80,02
15	68,82	0,00	68,09	0,00	0,00	8,73	9,30323	81,22
16	60,09	68,09	0,00	0,00	0,00	8,47	9,30323	78,83
17	51,62	0,00	0,00	68,09	0,00	8,30	9,30323	77,25
18	43,31	0,00	0,00	68,09	0,00	8,53	9,30323	79,38
19	34,78	0,00	68,07	68,09	0,00	8,74	9,30323	81,31
20	26,04	0,00	68,20	68,09	0,00	8,54	9,30323	79,49
<b>Suma</b>	<b>1168,02</b>							<b>1773,64</b>

Tabela 1. przedstawia przykładową symulację obrotów magazynowych, realizowaną przez zaproponowany symulator. Okres symulacji to 20 dni. Należy zwrócić uwagę na opóźnienie jakie pojawia się od momentu powstania niedoboru w magazynie (zapas magazynowy spada poniżej zapasu alarmowego), a dostawą do magazynu. W proponowanym modelu zamówienie do dostawcy może zostać wysłane w momencie, gdy spełnione są obydwa następujące warunki: poziom zapasu magazynowego jest niższy niż zapasu alarmowego oraz nie ma dostawy w drodze. Gdy warunki te są spełnione, w kolejnej chwili  $t_i$  wyrusza dostawa, która dociera do odbiorcy w czasie  $t_i+k$ , gdzie  $k$  jest danym parametrycznie czasem realizacji dostawy. W momencie  $t_i+k+1$  towar trafia do magazynu i w momencie  $t_i+k+2$  może być sprzedawany. Przyjęcie takiego czasu realizacji zamówienia uwzględnia sytuację, w której towar nie jest wysyłany w dniu złożenia zamówienia, oraz sprzedaż nie rozpoczyna się w dniu dostarczenia towaru do magazynu. Opóźnienie w wysyłce towaru spowodowane jest najczęściej koniecznością zapakowania towaru oraz dostarczeniem go do punktu spedycyjnego. Opóźnienie w sprzedaży towaru wynika najczęściej z konieczności sprawdzenia go pod względem ilości i jakości oraz wprowadzenia stanów magazynowych do komputerowego systemu gospodarki magazynowej. Oczywiście przyjęte rozwiązanie jest tylko propozycją i powinno zostać zmodyfikowane biorąc pod uwagę konkretne środowisko logistyczne firmy.

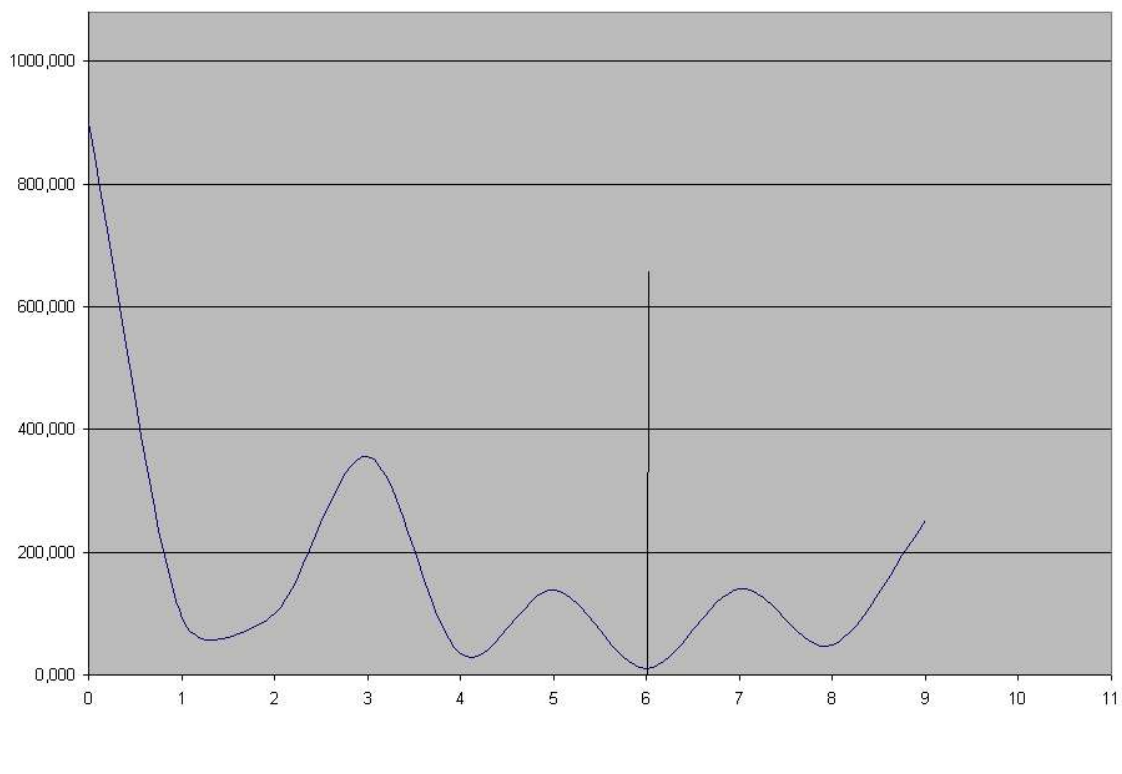
Zrealizowany symulator umożliwi przeprowadzenie symulacji sprzedaży i prezentację wyników na wykresie. Wielkość sprzedaży jest wyznaczana na podstawie zidentyfikowanej

wcześniej krzywej popytu. Rysunek 2. przedstawia prognozę sprzedaży, wyznaczoną symulacyjnie na 300 dni – można ją więc traktować jako prognozę średnio lub długoterminową.

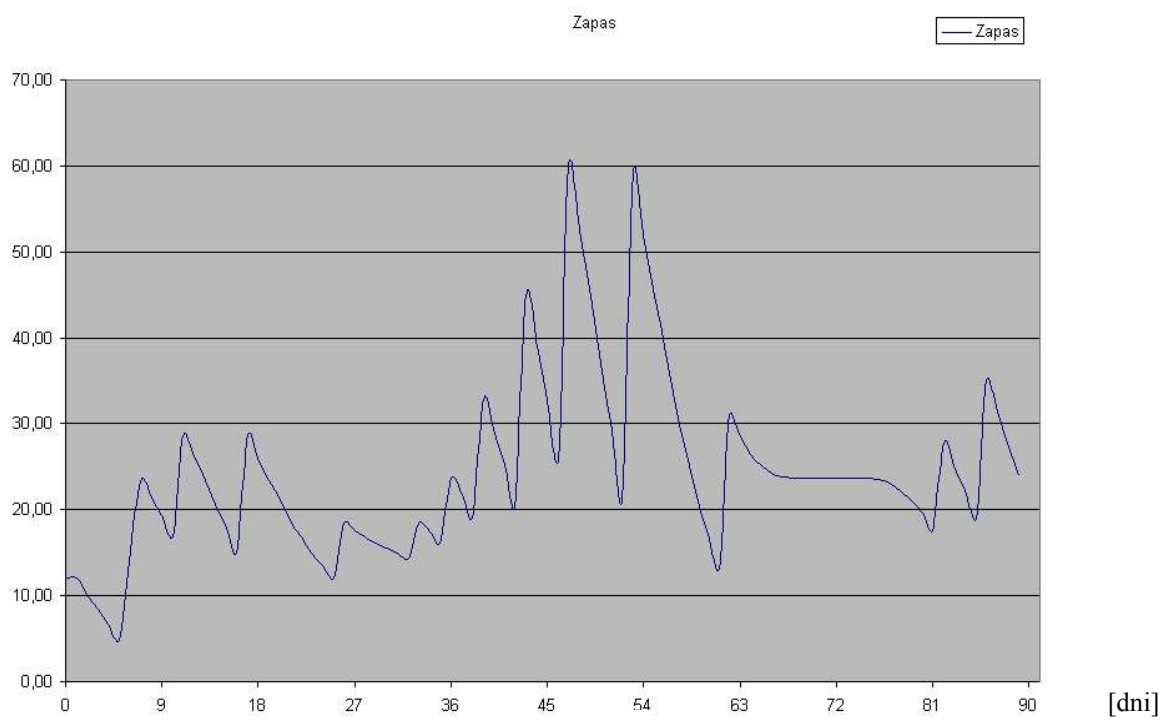


**Rysunek 2. Symulacja sprzedaży towaru w okresie 300 dni**

Po przeprowadzonej symulacji obrotów magazynowych, istnieje możliwość obejrzenia połączonych wykresów sprzedaży rzeczywistej oraz symulacji sprzedaży. Rysunek 3. przedstawia sprzedaż rzeczywistą koszulek T-shirt (pierwsze 6 miesięcy) i prognozę sprzedaży (3 miesiące) oddzieloną czarną kreską. Takie połączenie wykresu sprzedaży rzeczywistej z prognozą, daje analitykowi możliwość zaobserwowania, na ile wykres prognozy (będący konsekwencją wcześniejszego określenia funkcji popytu przez system) stanowi kontynuację wykresu sprzedaży rzeczywistej.



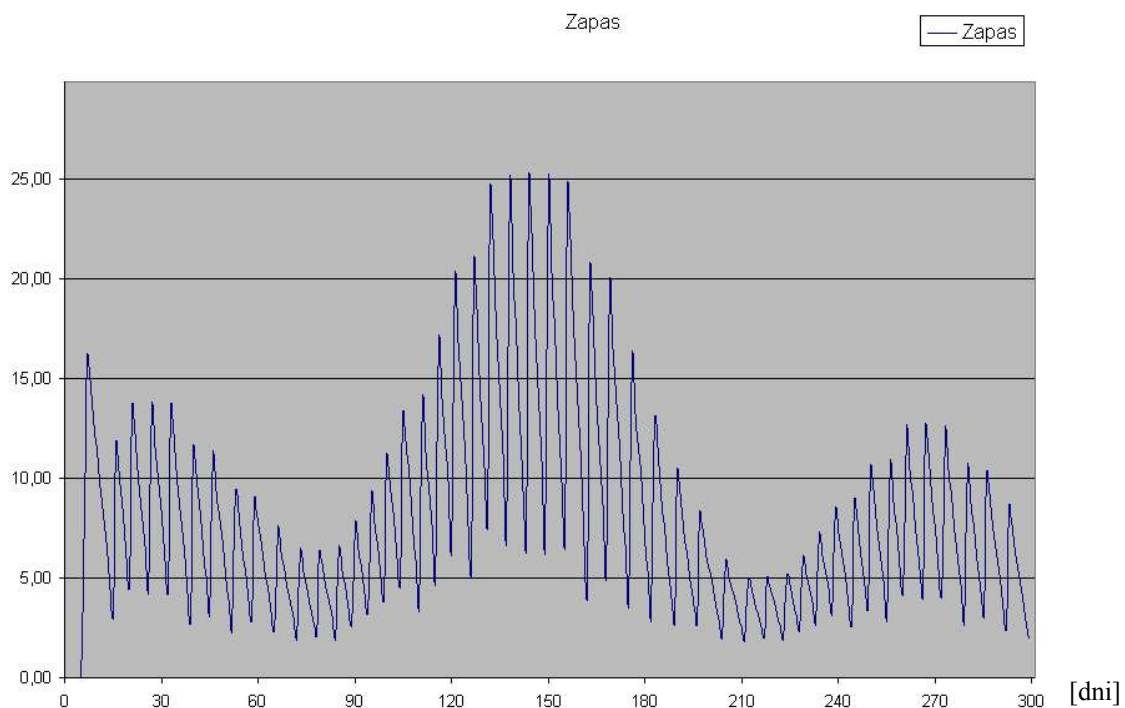
**Rysunek 3. Sprzedaż rzeczywista oraz prognoza sprzedaży koszulek T-shirt**



**Rysunek 4. Wykres symulacji stanów magazynowych koszulek T-shirt**

Symulacja obrotów magazynowych stanowi cenne narzędzie dla analityka, odpowiedzialnego za zamawianie danego towaru. Na podstawie wykresu stanów magazynowych można wywnioskować czy stany magazynowe będą na odpowiednio niskim poziomie. Rysunek 4. przedstawia przykładową symulację stanów magazynowych, przeprowadzoną dla towaru koszulki T-shirt. Widać, że stany magazynowe nie spadły poniżej zera oraz, że utrzymywały się na stosunkowo niskim poziomie w porównaniu do wielkości sprzedaży. Zróżnicowanie poziomu zapasów jest spowodowane wahaniami sprzedaży towaru (wielkość zamówienia jest uzależniona od przewidywanej sprzedaży).

Długookresową (10 miesięcy) symulację stanów magazynowych przedstawiono na Rysunku 5. Można zaobserwować, że stany magazynowe odzwierciedlają okresowe wahania popytu.



**Rysunek 5. Długookresowa symulacja stanów magazynowych**

Jednym z problemów, jakie należy rozwiązać przed przystąpieniem do eksperymentów symulacyjnych, jest określenie horyzontu czasowego w jakim przeprowadzana jest symulacja. Należy wziąć pod uwagę fakt, że podjęte decyzje dotyczące wartości zmiennych decyzyjnych dadzą różne efekty w różnych momentach w przyszłości. Przy rozpatrywaniu decyzji dotyczących zagadnień związanych z polityką cenową oraz sterowaniem zapasami, powinno się rozpatrywać krótkoterminowe efekty podejmowanych decyzji. W dłuższym horyzoncie

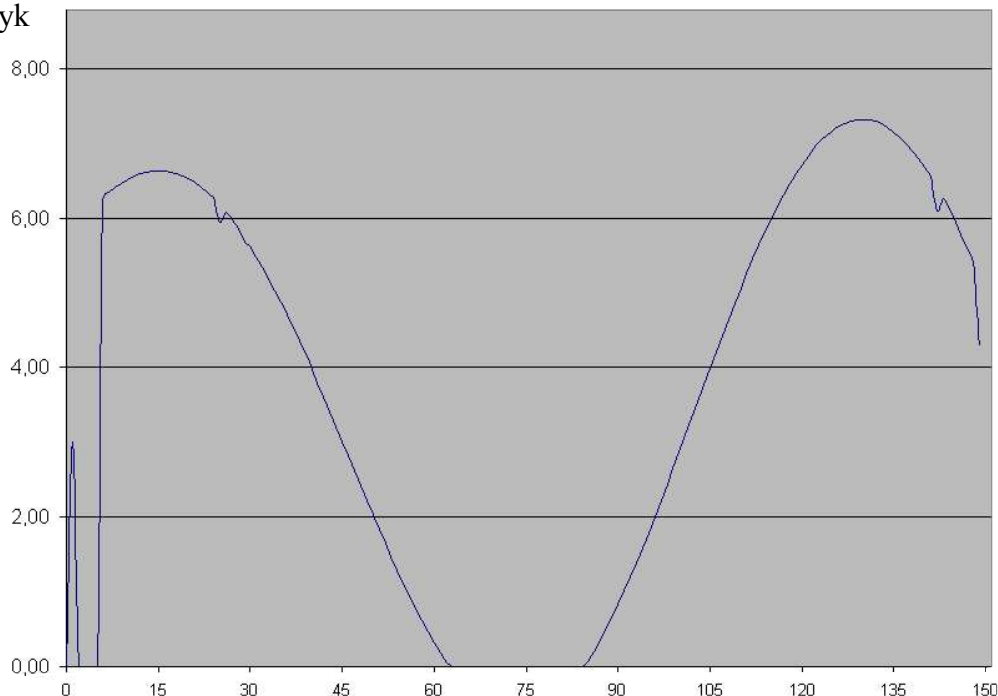
czasowym należałoby uwzględnić zbyt wiele czynników, które skomplikowałyby model (np. inflacja, polityka fiskalna państwa, postęp technologiczny itp.). Dlatego też sugerowany okres symulacji mieści się w przedziale od 7 do 90 dni, a prognozy o dłuższym horyzoncie czasowym należy traktować, jako wskaźnik ogólnego trendu zmian wielkości sprzedaży.

### **Analiza *what-if***

Zrealizowany symulator daje możliwość analizy *what-if*, czyli co się stanie jeśli decydent podejmie określoną decyzję. System umożliwia zmianę trzech zmiennych decyzyjnych odpowiedzialnych za obroty magazynowe: współczynnika bezpieczeństwa, zapasu maksymalnego (w przypadku modelu zamawiania *min-max*), ceny sprzedaży.

Po ustawieniu w arkuszu wartości zmiennej decyzyjnej, analityk uruchamia symulację. Czas realizacji symulacji na komputerze klasy PC z procesorem Pentium nie przekracza kilku sekund, można więc uznać, że symulacja dokonuje się w czasie rzeczywistym. Po przeprowadzonej symulacji system umożliwia obejrzenie jej wyników w arkuszu kalkulacyjnym oraz na wykresach: prognozy sprzedaży, prognozy sprzedaży zagregowanej z dotychczasową sprzedażą rzeczywistą oraz na wykresie zapasów.

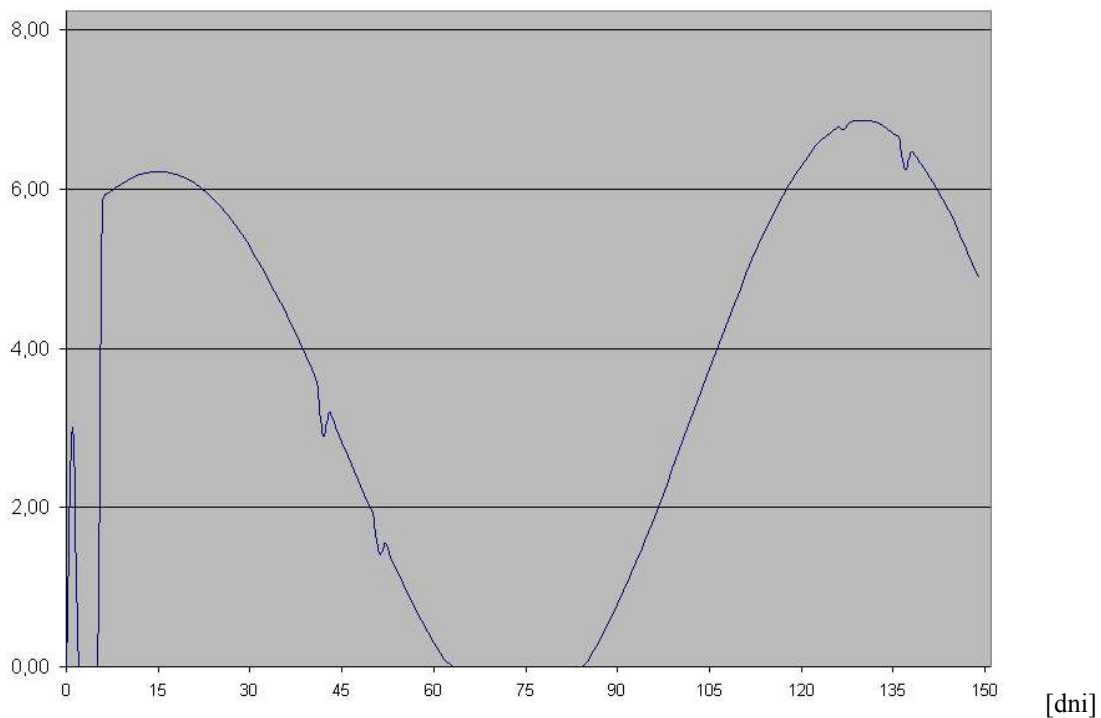
Należy zaznaczyć, że wyniki symulacji są umieszczone w arkuszu kalkulacyjnym, a więc analityk



zaznajomiony z obsługą Excela, może przeprowadzać dodatkowe obliczenia (np. dowolną agregację danych), bez konieczności przenoszenia wyników do innego programu. Dodatkowo, jeżeli analityk stwierdzi, że system nieprawidłowo zidentyfikował krzywą popytu, ma również możliwość poprawy jej parametrów.



Jako przykład analizy *what-if* przedstawiono sytuację (opartą na rzeczywistych danych), w której na krzywej popytu, występuje okres, w którym prawdopodobnie nie będzie sprzedaży (lub będzie na zbliżonym do zera poziomie). Jako procedurę sterowania zapasami przyjęto model *min-max*. Wykresy prognozowanej sprzedaży zostały zrealizowane przy dwóch poziomach ceny 550 zł oraz 570zł (ostatnia zarejestrowana w bazie danych cena sprzedaży towaru wynosi 565 zł) (Rysunek 6. i Rysunek 7.). Porównując obydwie wykresy, można zaobserwować stosunkowo niewielki wzrost sprzedaży przy obniżeniu ceny. Natomiast obserwacja wykresów zapasów pozwala wysnuć wniosek, że stosując konsekwentnie model zamawiania *min-max*, przy cenie sprzedaży 550 zł, uzyska się w okresie sprzedaży zerowej niski stan magazynowy towaru (Rysunek 9.), natomiast przy cenie 570 zł przez ponad 20 dni (okres między 60 a 90 dniem) w magazynie będzie znajdowało się ponad 20 sztuk towaru nie podlegającego rotacji (Rysunek 8.).



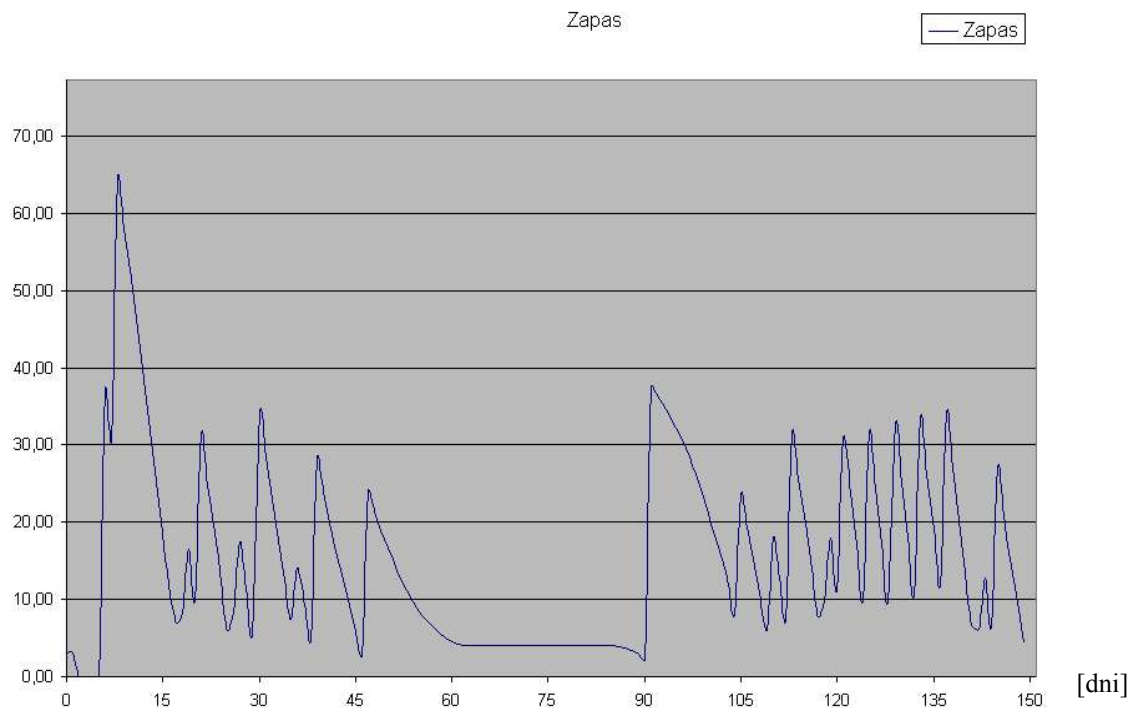
**Rysunek 6. Wykres prognozy sprzedaży towaru dla ceny 570zł**

[dni]

**Rysunek 7. Wykres prognozy sprzedaży towaru dla ceny 550zł**

Jeżeli analityk będzie miał możliwość zobaczenia wykresów stanu zapasu przy różnej wartości ceny, pozwoli mu to zwrócić szczególną uwagę na dostosowanie ceny oraz cyklu zamawiania, do przewidywanej sprzedaży. Obniżenie ceny sprzedaży w celu uzyskania

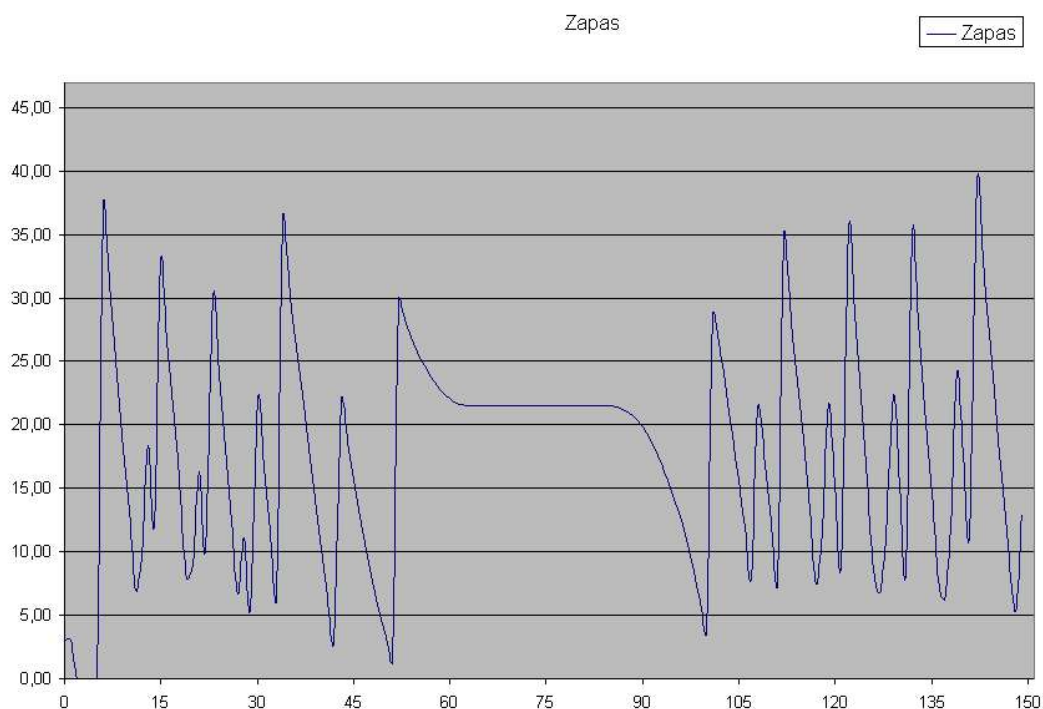
niskiego poziomu zapasów w okresie spadku popytu, jest ciekawą alternatywą dla narzucającego się w tym przypadku klasycznego rozwiązania, jakim jest zmiana cyklu zamawiania.



**Rysunek 8. Wykres stanów zapasów dla sprzedaży towaru w cenie 550zł**

**Rysunek 9. Wykres stanów zapasów dla sprzedaży towaru w cenie 570zł**

[dni]



Warto również zwrócić uwagę na to, że funkcja popytu jest wyznaczona na podstawie sprzedaży towaru w danym przedsiębiorstwie, nie uwzględnia natomiast jego otoczenia, a więc całego rynku. Dlatego też podczas symulacji obrotów magazynowych nie jest brana pod uwagę reakcja przedsiębiorstw konkurencji mogąca wpłynąć na zmianę popytu na dany towar. Jako kierunek dalszych badań można wskazać uwzględnienie w symulatorze zewnętrznych czynników odpowiedzi rynku na zmianę ceny sprzedaży towaru.

Przydatna wydaje się być również rozbudowa modelu symulatora o takie elementy endogeniczne jak: wysokość nakładów marketingowych firmy oraz uwzględnienie kosztów nie ewidencjonowanych w programie gospodarki magazynowej. Zaproponowany model obrotów magazynowych powinien również zostać rozszerzony o elementy charakterystyczne dla środowiska, w którym będzie wykorzystywany.

Zbudowany symulator, mogący stanowić element systemu wspomagania decyzji, wydaje się być efektywnym narzędziem analitycznym, umożliwiającym między innymi analizę typu *what-if*. Zapewne minie jeszcze kilka lat zanim tego typu implementacje zaczną być stosowane powszechnie, jednak zastosowanie symulacji oraz elementów sztucznej inteligencji, jest na pewno jednym z głównych kierunków rozwoju systemów wspomagania decyzji, stosowanych w gospodarce magazynowej.

Abt S., 1998, „Zastosowanie symulacji w komputerowych pakietach logistycznych”, Warszawa: Prace Szkoły Antałówka 1998, Wyd. Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Zarządzania im. L.Koźmińskiego, Politechnika Wroclawska Instytut Organizacji i Zarządzania.

Chodak G., Kwaśnicki W. „Wykorzystanie algorytmów genetycznych w prognozowaniu popytu”, Gospodarka Materiałowa i Logistyka 3/2002

Kwaśnicki W., 1998, „Dynamika systemów jako metoda nauczania w ekonomii”, wyd. w pracy „Modelowanie symulacyjne w dydaktyce ekonomii” pod redakcją Edwarda Radościńskiego, Polskie Towarzystwo Symulacyjne.

Radościński E., 1998, „Metody symulacyjne we wspomaganie procedur kredytowych”, w Zastosowania rozwiązań informatycznych w bankowości, Wrocław: Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu,

Sosińska-Wit M., Wit B., 2000, „Modele ekonomiczne z udziałem VBA”, Prace Szkoły Antałówka 2000, Warszawa: Wyd. Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Zarządzania im. L.Koźmińskiego, Politechnika Wroclawska Instytut Organizacji i Zarządzania.