Zeszyty Naukowe
Wydziału Zamiejscowego w Chorzowie
Wyższej Szkoły Bankowej w Poznaniu
Nr 11 2009 r.

Włodzimierz Kramarz

Modelowanie zapasów w łańcuchu dostaw branży elektrotechnicznej

1. Wstęp

W łańcuchu dostaw branży elektrotechnicznej istotna jest koordynacja procesów produkcyjnych i zarządzania zapasami wyrobów gotowych. Zamrożenie środków finansowych w zapasach prowadzi do powstania kosztów utraconych możliwości, ograniczających rozwój firmy, a niedobory zapasów powodują przerwanie ciągłości realizacji zamówień, co zmniejsza poziom logistycznej obsługi klienta. Wynika z tego, że podejmowanie właściwych decyzji w tym obszarze jest skomplikowane i ważne dla całego przedsiębiorstwa i przedsiębiorstw z nim współpracujących.

W literaturze wyróżnia się trzy podstawowe strategie zarządzania zapasami:

- defensywną – udział zapasów w aktywach i majątku obrotowym jest wysoki w porównaniu ze średnią w branży, jednocześnie główną pozycją w zapasach są materiały i wyroby gotowe,
- ofensywną – udział zapasów w aktywach i majątku obrotowym jest niski w porównaniu ze średnią w branży, jednocześnie główną pozycją w zapasach jest produkcja w toku,
- umiarkowaną – ma charakter pośredni między defensywną i ofensywną[1].

[1] S. Susmarski, *Zarządzanie zapasami w controllingu finansowym*, [on-line], Centrum Rozwoju Rachunkowości i Finansów, dostępny w Internecie: http://www.crrif.ckl.com.pl/Expert/zarzadzanie_zapasami.htm, dostęp: 13.12.2007.

Główną ideą realizowania przez przedsiębiorstwo strategii defensywnej jest zapewnienie klientom wewnętrznym bezpieczeństwa dostaw materiałów oraz zaspokojenie ilościowych potrzeb klientów przedsiębiorstwa w zakresie oferowanych produktów. Strategia ta rodzi zatem konieczność utrzymywania wysokich stanów zapasów materiałów, wyrobów gotowych i towarów. Odmienna filozofia przyświeca realizacji strategii ofensywnej. Poziom zapasów bezpieczeństwa jest niższy niż w strategii defensywnej, co może oznaczać, że akceptowany jest pewien poziom ryzyka niedoboru zapasów. Przekłada się to na strukturę zapasów.

Jednym z narzędzi służących do rozwiązywania tego typu problemów oraz do zwiększania stopnia pewności podejmowanych decyzji jest metoda symulacji komputerowej. W prezentowanych badaniach zastosowano technikę zwaną dynamiką systemów zarządzania.

2. Dynamika systemów zarzadzania (DSZ)

Technikę dynamiki systemów zarządzania (ang. *industrial dynamics*, dynamika systemowa) opracował Forrester. Jej nazwa bierze się stąd, że badany obiekt jest rozpatrywany jako system, uwaga zaś skupiona jest na dynamice systemu i dąży się do usprawnienia zarządzania tym systemem[2].

Pełna definicja omawianej metody analizy dynamiki systemów zarządzania jest następująca:

> Metoda analizy dynamiki systemów zarządzania służy badaniom charakterystyk informacyjnych sprzężeń zwrotnych w działaniu przemysłowym (handlowym, administracyjnym, wojskowym, społecznym). Pomocna jest w poznaniu, jaka jest interakcja struktury organizacyjnej, wzmocnień (w zakresie wytycznych) i opóźnień (w zakresie decyzji i współdziałań), od których wzajemnego oddziaływania zależy efektywność pracy systemu gospodarczego. Przedmiotem badań tej analizy są współzależności między strumieniami: pieniędzy, zleceń, materiałów, inwestycji i personelu w przedsiębiorstwie lub na szczeblu ekonomii państwowej[3].

Założenia metody DSZ

Dynamika systemów zarządzania używa specyficznej metody opisu systemu, która bazuje na dwóch kategoriach: strumieniu i poziomie. 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

[2] E. Kasperska, D. Słota, *Metody matematyczne w zarządzaniu w ujęciu dynamiki systemowej*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.

[3] R. Łukaszewicz, *Dynamika systemów zarządzania*, PWN, Warszawa 1975.

i w ten sposób całego systemu. W praktyce użyteczne jest wprowadzenie pewnej dodatkowej kategorii opisu zwanej zmienną pomocniczą. Zmienne te reprezentują pośrednie etapy procesu określania wartości natężeń strumieni według przyjętych reguł (polityk decyzyjnych) transformujących informacje o stanie systemu i jego otoczenia.

Reguły decyzyjne opisują sposoby podejmowania decyzji sterujących przepływami w systemie, to znaczy pokazują, które 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, to jest każdorazowo po upływie określonego czasu. Procesy podejmowania decyzji, a tym samym ich efekty (zmiany wartości natężeń strumieni), mają więc charakter ciągły. Postać reguł decyzyjnych jest uwarunkowana między innymi czynnikami: społeczno-gospodarczymi, technicznymi, organizacyjnymi.

Analiza dynamiki systemów odwzorowanych za pomocą modeli DSZ ma na celu zbadanie własności pętli sprzężeń zwrotnych, a także wyjaśnienie mechanizmów zachowań systemów lub rozważenie możliwości takich zmian w jego strukturze, by poprawić jego dynamikę.

Podstawowe ogniwa struktury modeli DSZ

Na rysunku 1 przedstawiono model prostego systemu. Elementy modelu dobrane są tak, aby pozwoliły odwzorować: stany elementów systemu, czynniki wpływające na zmianę stanu oraz stanowiska decyzyjne regulujące zmiany intensywności tych czynników w czasie. Model i jego elementy zostały wygenerowane za pomocą symulatora Powersim Studio Express 2000 i są zgodne z symboliką zaproponowaną przez Forrestera w 1961 r. Nie jest to kompletny model; jest to tylko obraz jego struktury. Model zupełny posiada dodatkowo układ równań opisujących zależności pomiędzy poszczególnymi elementami struktury.

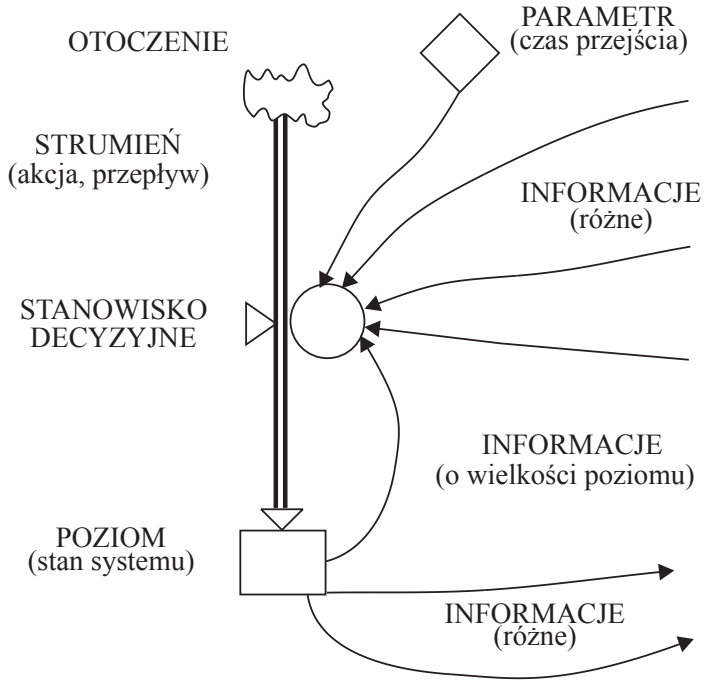
Poziom określa stan wyróżnionego elementu systemu (na przykład poziom zawartości magazynu). Wielkość chwilowa poziomu równa się zakumulowanej różnicy strumieni dopływu i odpływu środków. Równanie poziomu można zapisać następująco:

$$P(t+dt) = P(t) + dt(S_{we} - S_{wy}),$$

gdzie:

S_{we}, S_{wy} – strumienie: wejściowy i wyjściowy,
P – poziom (stan systemu),
t, dt – czas, przyrost czasu.

Strumień S_{we} określa szybkość, z jaką środki, takie jak: materiały, zlecenia, personel, pieniądze, uzupełniają zawartość poziomu P. Strumień S_{wy} określa szybkość, z jaką środki te uszczuplają zawartość poziomu.



Rys. 1. Elementy i struktura dynamiki systemów zarządzania (DSZ)

Źródło: R. Łukaszewicz, wyd. cyt.

Strumienie dostarczają do stanowisk decyzyjnych informacje o wielkościach poziomów. Są to strumienie informacyjne. Wielkość chwilową strumieni regulują tak zwane stanowiska decyzyjne (reguły decyzyjne) w zależności od informacji o chwilowych stanach zawartości poziomów systemu. Reguły decyzyjne pokazują, jak informacje o stanie systemu i jego otoczenia generują decyzje powodujące działania w systemie. Ich odwzorowanie w modelu stwarza jedną z głównych trudności dla metod DSZ.

W modelu funkcję regulatora pełni element, który uzależnia wielkość strumienia od informacji o chwilowych stanach systemu. Każdy element spełniający taką funkcję, opisujemy jako element transformujący wejście w wyjście.

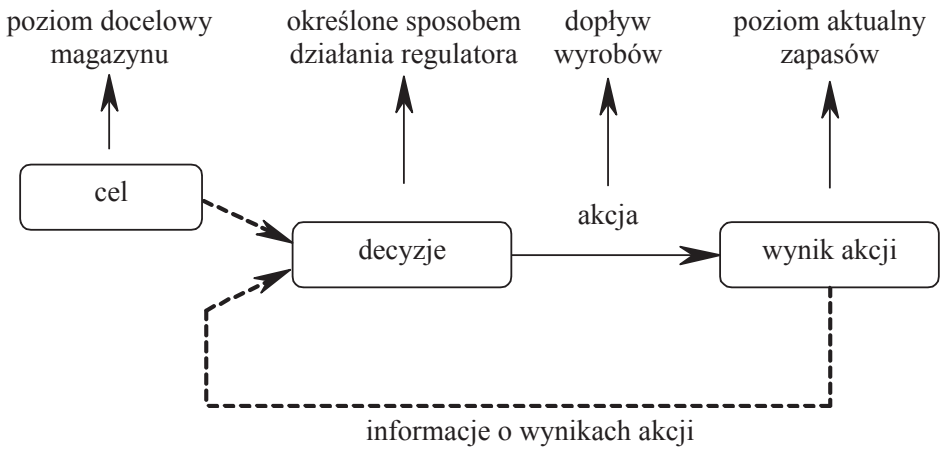
Obszar niezależny na rysunku oznaczony jest jako chmurka. Traktowany jest jako otoczenie systemu. Zamiast współzależności istnieje tylko jednokierunkowa zależność zachowania się części systemu od zachowania się elementów otoczenia.

Parametr (czas przejścia) jest to pewna wielkość stała, od której (lub których) zależą stosunki wielkości między pewnymi zmiennymi systemu. Od wielkości tych stosunków zależy z kolei zachowanie się całości systemu. W konwencji opisów DSZ najczęściej w ten sposób oznacza się pożądany wynik akcji (cel) lub wielkości początkowe systemu.

Źródłem dynamiki systemów są:
– oddziaływanie otoczenia,
– pętle sprzężeń zwrotnych.

Na rysunku 1 sprzężeniem zwrotnym jest pętla informacyjna, która spełnia zadanie dostarczania informacji o stanie zawartości poziomu do stanowiska decyzyjnego i pośrednio wpływa na wielkość strumienia (przepływ).

Istotę działania sprzężenia zwrotnego pokazuje schemat na rysunku 2.



Rys. 2. Istota funkcjonowania sprzężenia zwrotnego

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: E. Kasperska, D. Słota, wyd. cyt.

Informacje o wielkości poziomu przetwarzane są na decyzje, które są źródłem akcji regulujących wielkość strumienia, a ten z kolei zmienia wielkość poziomu. System ze sprzężeniem zwrotnym jest układem, w którym aktualne działanie wynika z rezultatów uprzedniego działania. Systemy, w których na aktualne działanie nie wpływają rezultaty działań poprzednich, nazywamy systemami otwartymi.

Etapy analizy DSZ

Etapy analizy metodą dynamiki systemów zarządzania są podobne do tradycyjnych metod symulacyjnych. Obejmują:

- rozpoznanie i sformułowanie problemu,
- wyodrębnienie czynników związanych z interesującymi nas objawami,
- określenie informacyjnych sprężeń zwrotnych przyczyny i skutku, które łączą decyzję, akcję generującą zmianę sytuacji,
- sformułowanie wytycznych decyzji tak, aby określały one, jak decyzje są uzależnione od dostępnych strumieni informacji,
- budowę modelu strukturalnego odwzorowującego zagregowane strumienie, poziomy, wytyczne decyzji, źródła informacji,
- budowę modelu matematycznego i badanie symulacyjne,
- porównanie wyników z dostępną wiedzą o rzeczywistym systemie,
- korektę modelu dla uzyskania akceptowalnej zgodności między rzeczywistym zachowaniem się systemu a określonym przez model,

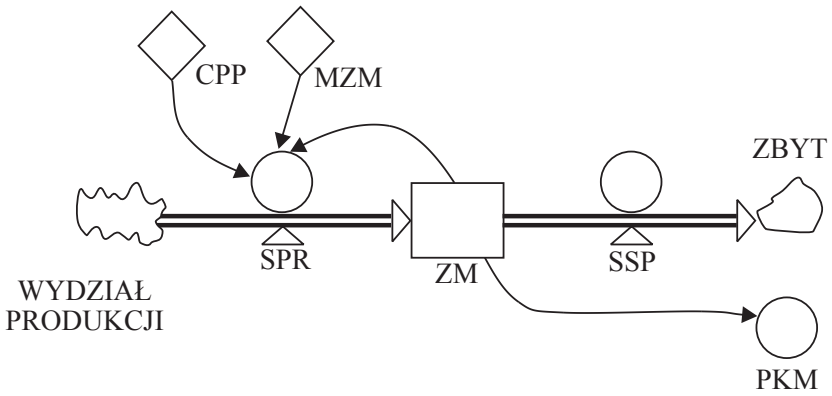
– przeprojektowanie tych zależności organizacyjnych i wytycznych objętych modelem, które mogą ulec zmianie w rzeczywistym systemie w celu odszukania zmian prowadzących do usprawnienia zachowania się badanego systemu,
– wdrożenie w systemie rzeczywistym zmian wynikających z eksperymentów przeprowadzonych na jego modelu[4].

3. Symulacja poziomu zapasów lampki sygnalizacyjnej NEF30-K 2X

Celem symulacji było zmniejszenie kapitału zamrożonego w zapasach wyrobów gotowych. Tak zdefiniowany cel stał się podstawą budowy modelu symulacyjnego.

Model strukturalny i matematyczny systemu: produkcja – zapasy wyrobów gotowych

Model został zbudowany na podstawie danych historycznych z lat ubiegłych. W charakterystyce sprzedaży na przełomie lipca i sierpnia poprzedniego roku pojawiło się zaburzenie w postaci gwałtownego wzrostu sprzedaży. Badanie symulacyjne zachowania się systemu narażonego na tego typu nieprzewidziane zmiany sprzedaży oraz rezultaty tego badania przedstawiono poniżej.



Objaśnienia:

SPR	– strumień produkcji	[szt./tydzień]
CPP	– czas przejścia produkcji	[tygodnie]
MZM	– maksymalna zawartość magazynu	[szt.]
ZM	– zawartość magazynu	[szt.]
PKM	– przeciętny koszt magazynowania	[zł]
SSP	– strumień produkcji	[szt./tydzień]

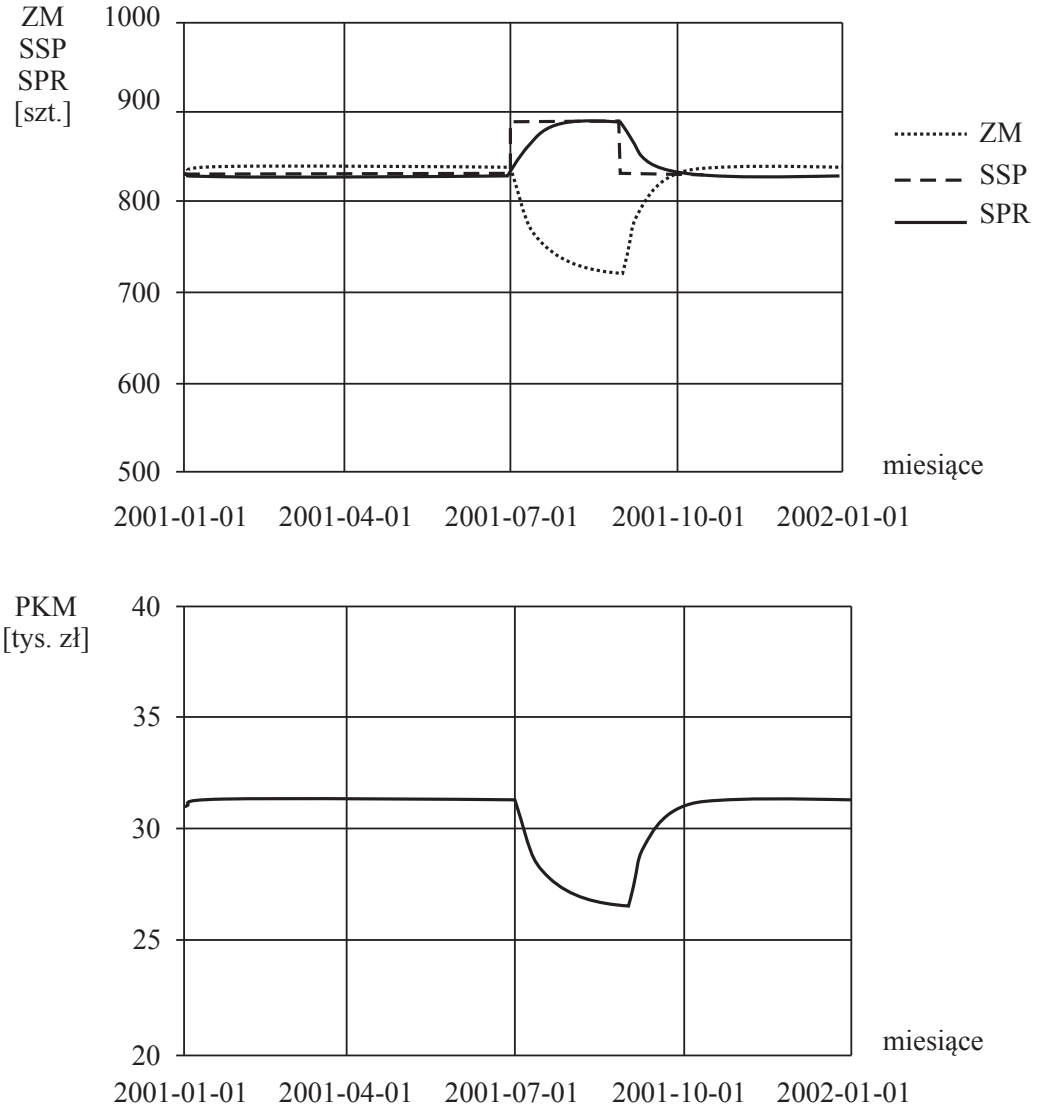
Rys. 3. Model strukturalny: produkcja – zapasy

Źródło: Opracowanie własne na podstawie materiałów źródłowych.

[4] R. Łukasiewicz, wyd. cyt.

Przebiegi stanów systemu rzeczywistego

Dla przedstawionego powyżej modelu strukturalnego i matematycznego, przy wyżej wymienionych warunkach początkowych, wygenerowano przebiegi zachowania systemu produkcja – zapasy, które przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Przebiegi stanu zapasów, produkcji i sprzedaży lampki NEF30-K 2X – stan obecny (objaśnienia – patrz rys. 3)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie materiałów źródłowych.

Jak widać na górnym rysunku, wzrost sprzedaży (o 8% – do 895 szt.) w połowie roku, dzięki ogromnemu zapasowi wyrobów gotowych (830 szt.), nie wywołał żadnych negatywnych skutków w przedsiębiorstwie w postaci pojawienia się zaburzeń w produkcji czy niebezpiecznego obniżenia poziomu zapasów wyrobów. Widać, że już po upływie miesiąca od zaniknięcia zaburzenia system wrócił do stanu ustalonego.

Na dolnym rysunku przedstawiono przebieg kapitału zamrożonego w wyrobach gotowych. Jest on proporcjonalny do wielkości zapasów. Przeciętna wartość kapitału zamrożonego wynosiła 30,5 tys. zł.

Na podstawie przeciętnego kosztu magazynowania obliczono wskaźnik utrzymania zapasów. Wynosi on:

$$W_{UZ0} = \frac{K_{UZ}}{Z_{SM}} = 1{,}32 \text{ [zł/szt.]}.$$

W dalszej fazie symulacji rozpatrzono przypadek, w którym zbadano zachowanie się systemu w bardzo podobnych warunkach. Jedyna różnica polegała na wielkości nagłego wzrostu sprzedaży. Usprawnienie działania systemu: wydział produkcji – zbyt, przy zwiększonym zapotrzebowaniu rynkowym.

Aby zgromadzić odpowiedni zapas lampek i jednocześnie zminimalizować wartość zamrożonego kapitału, rozpoczęto gromadzenie lampek na miesiąc przed planowanym wzrostem sprzedaży. Strumień produkcji lampek zwiększono w pierwszej fazie do 1250 sztuk na miesiąc, co stanowiło 75% zdolności produkcyjnej. Został on tak dobrany, żeby 1 lipca 2001 r. w magazynie było 2160 lampek, co, jak pokazała symulacja, wystarczyłoby na pokrycie zwiększonego zapotrzebowania.

$$W_{UZ3} = 0{,}94 \text{ [zł/szt.]}.$$

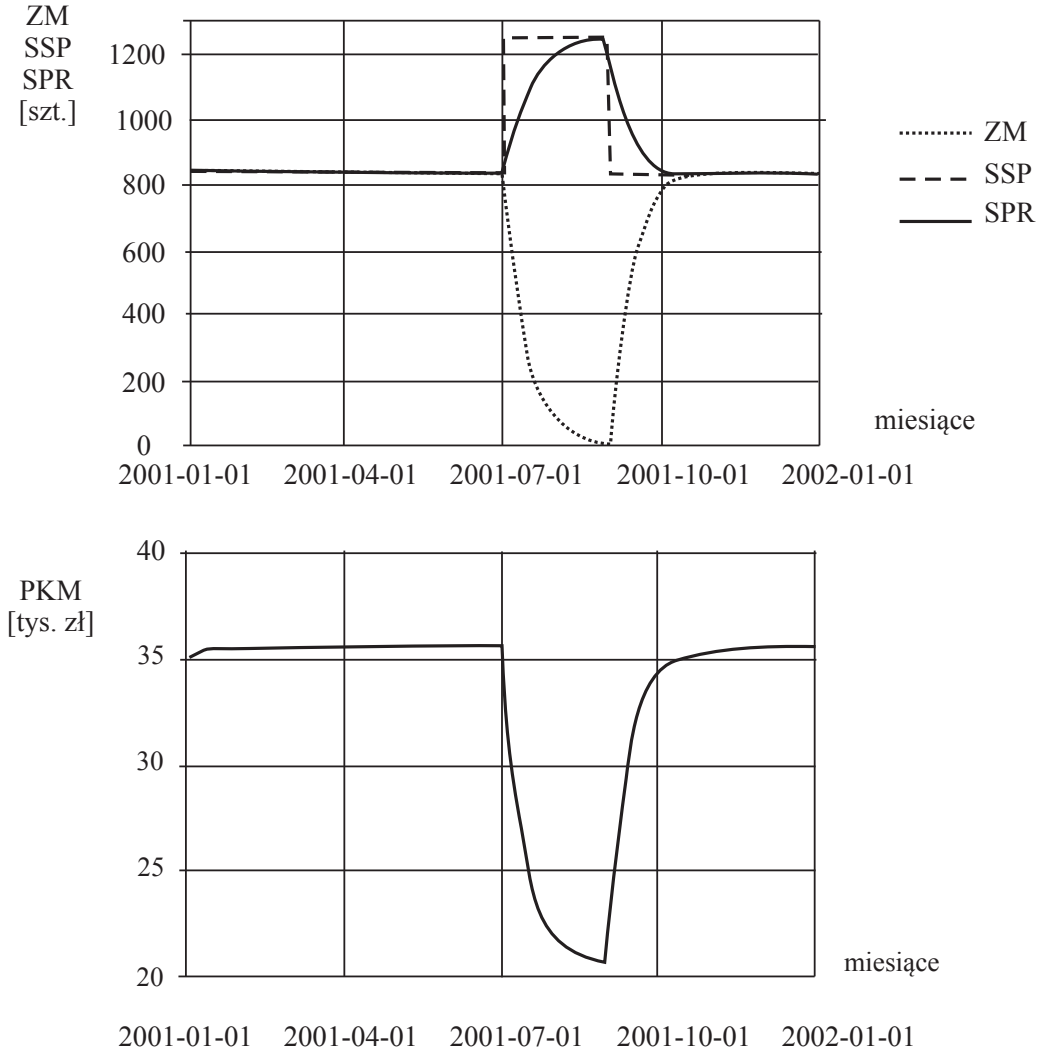
Poziom kapitału zamrożonego wyniósł 44 tys. zł, o 44% więcej niż w systemie oryginalnym.

Widać zatem, że wskaźnik kosztów utrzymania zapasów w porównaniu ze stanem obecnym obniżył się, ale tylko w wyniku pełniejszego zagospodarowania przestrzeni magazynowej (zwiększenia poziomu kapitału zamrożonego). Powrót systemu do stanu ustalonego nastąpił po dwóch miesiącach od zaniku zaburzenia.

Prawdopodobieństwo zaistnienia stanów systemu, w których obserwuje się tak gwałtowne skoki sprzedaży, jest bardzo małe. Większym problemem jest takie obniżenie poziomu zapasów, aby przy stabilnych charakterystykach sprzedaży zminimalizować wartość kapitału zamrożonego w tych zapasach.

W tym badaniu, dla pokazania elastyczności systemu wydział produkcji – zbyt, przyjęto, że poziom sprzedaży w lipcu i sierpniu wzrósł o 51% (do 1250 szt.) ponad przeciętną wielkość. Jak przedstawiono na rysunku 5, poziom zapasów spadł prawie do zera, lecz nie zaburzyło to ciągłości sprzedaży.

Po ustąpieniu zaburzenia system powrócił do ustalonego stanu dopiero po dwóch miesiącach. Gdyby okres zwiększonej sprzedaży trwał dłużej, prawdopodobnie zakład utraciłby ciągłość sprzedaży, zatem przestałby realizować swoją strategię maksymalnego zadowalania klienta poprzez dostarczanie mu wyrobów na czas.



Rys. 5. Przebiegi stanu zapasów, produkcji i sprzedaży lampki NEF30-K 2X – wzrost sprzedaży o 51% (objaśnienia – patrz rys. 3)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie materiałów źródłowych.

Obliczony wskaźnik utrzymania zapasów był na poziomie wyższym niż w przypadku pierwszym. Na jego wartość wpłynął głównie niski poziom zapasów w lipcu i sierpniu. Natomiast wartość zamrożonego kapitału wyniosła 26,3 tys. zł, o 16% mniej niż dla systemu funkcjonującego wcześniej.

$$W_{UZ1} = 1{,}52 \text{ [zł/szt.]}.$$

Symulacja systemu, przy jeszcze większym wzroście sprzedaży, pokazała, że poziom zapasów wyrobów gotowych (dla 151% sprzedaży przeciętnej) był poziomem granicznym, powyżej którego doszło do zaburzenia ciągłości sprzedaży.

4. Wnioski – ocena wykorzystania symulatora Powersim

Dzięki symulatorowi PSE 2000 udało się:
- zmniejszyć poziom kapitału zamrożonego o 84% poziomu ustalanego obecnie dla wyrobów o płaskiej charakterystyce sprzedaży (lampki sygnalizacyjne), nie powodując pogorszenia jakości obsługi klientów,
- zmniejszyć poziom kapitału zamrożonego o 30% dla wyrobów o sezonowej charakterystyce sprzedaży (kasety sterownicze),
- ukazać obszary w przedsiębiorstwie, których modernizacja funkcjonowania przyczyniłaby się do zwiększenia produktywności (większe dociążenie maszyn),
- ukazać błędy w zarządzaniu polegające na utrzymywaniu zbyt dużych przestrzeni magazynowych.

Literatura

Bielecki W.T., *Informatyzacja zarządzania*, PWE, Warszawa 2000.

Fishman G.S., *Symulacja komputerowa – pojęcia i metody*, PWE, Warszawa 1981.

Kasperska E., Słota D., *Metody matematyczne w zarządzaniu w ujęciu dynamiki systemowej*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.

Łukaszewicz R., *Dynamika systemów zarządzania*, PWN, Warszawa 1975.

Stanek S., Mike J., Sroka H., *Modelowanie procesów gospodarczych*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Katowice 1999.

Susmarski S., *Zarządzanie zapasami w controllingu finansowym*, [on-line], Centrum Rozwoju Rachunkowości i Finansów, dostępny w Internecie: http://www.crrif.ckl.com.pl/Expert/zarzadzanie_zapasami.htm, dostęp: 13.12.2007.

Wit B., *Rola modeli strukturalnych w modelowaniu systemów gospodarczych*, Politechnika Lubelska, Lublin 1998, dostępny w Internecie: http://antenor.pol.lublin.pl.