

Piotr Cyplik
Instytut Logistyki i Magazynowania

Przegląd metod sterowania zapasami

Podjęcie decyzji dotyczących kształtowania poziomów zapasów w sferze zaopatrzenia polega na rozwiązaniu trzech, wzajemnie powiązanych ze sobą problemów:

- które dobra fizyczne winny być przedmiotem magazynowania
- w jakiej ilości należy je zamawiać, aby odtworzyć poziom magazynowych zasobów
- kiedy należy składać zamówienie handlowe dostawy w celu uzupełnienia poziomów zapasów magazynowych.

Rozwiązanie powyższych problemów prowadzi do określenia poziomu zapasów magazynowych. W przypadku pierwszego z nich należy podjąć decyzję czy zapasy będą utrzymywane dla wszystkich rodzajów asortymentów, czy też magazynowanie będzie miało charakter selektywny, a więc będzie dotyczyło tylko dóbr wybranych. Sformułowanie odpowiedzi na pozostałe dwa pytania pozwala w rezultacie określić poziom zapasów magazynowych.

Omówione w artykule pt. „Krótka powtórka z klasycznej teorii zapasów” autorstwa Stanisława Krzyżaniaka (patrz str. 7), klasyczne modele sterowania zapasami odpowiadają na stawiane powyżej pytania i przez długi okres stosowane były zarówno na wejściu do przedsiębiorstwa, a więc w fazie zaopatrzenia, jak również na wyjściu, a więc w fazie dystrybucji. W latach 60. zeszłego stulecia zauważono w pewnych obszarach planowania, że w prognozowaniu statystycznym, na którym oparte są klasyczne modele sterowania zapasami, uwzględnia się jedynie problem ustalenia wielkości zapotrzebowania na poszczególne pozycje, abstrahując od faktu, że każdy element zapasu stanowi część określonego zestawu. W przypadku, gdy każdy element podlega przewidywaniu i zamawianiu w oderwaniu od pozostałych, wielkość zapasów tych elemen-

tów może nie odpowiadać potrzebom wynikającym z produkcji całego zespołu, a łączny poziom dyspozycyjności może być znacznie niższy od poziomu dyspozycyjności poszczególnych elementów. Przyczyną tego jest sumowanie się błędów prognoz dotyczących grup elementów niezbędnych w jednym czasie do wykonania zespołu.

Planowanie potrzeb materiałowych (*Material Requirements Planning*)

Alternatywą statystycznego sterowania zapasami w obszarze zapotrzebowania zależnego jest metoda planowania potrzeb materiałowych, znana pod akronimem MRP (*Material Requirements Planning*), która umożliwia dokładne określenie zapotrzebowania na dany surowiec lub część. W systemach opartych o tę metodę prognozowaniu podlega wyłącznie popyt na wyroby gotowe, a więc te, które kierowane są na rynek (wyjście z przedsiębiorstwa). Natomiast potrzeby materiałowe, wynikające z konieczności wyprodukowania elementów składowych wyrobu gotowego są obliczane bezpośrednio na podstawie struktury wyrobu, służącej do szczegółowego opisu wyrobu dla określenia związków między poszczególnymi elementami i zapotrzebowania na każdym z poziomów rozwinięcia wyrobu finalnego. Powyższe stwierdzenie można uznać za pierwszą zasadę, na której opiera się planowanie potrzeb materiałowych. Drugą, równie ważną, jest zasada podziału czasowego tj. rozkładu danych o stanie zapasu w czasie. Zapotrzebowanie na elementy o zakończonej obróbce (wyroby gotowe) jest określone w operatywnym planie produkcji, a wynika ono z zamówień składowych przez odbiorców, z zamówień kooperacyjnych, a także – jak to było wspomniane powyżej – z prognoz.

Zapotrzebowanie na wszystkie elementy składowe oraz jego podział cza-

sowy są wyprowadzane z operatywnego planu produkcji przez system planowania potrzeb materiałowych. System planowania potrzeb materiałowych jest szczególnie przydatny do sterowania zapasami, które są przedmiotem potrzeb zależnych, a więc takich pozycji, których zapotrzebowanie jest bezpośrednio związane bądź wynika z zapotrzebowania na inną pozycję występującą w zapasach lub na wyrób gotowy. Jest to bardzo skuteczny system sterowania zapasami w warunkach produkcyjnych, gdzie ogromna część zapasów jest przedmiotem tego rodzaju potrzeb. Warto jednak zauważyć, że łatwo można powyższy system przystosować do sterowania pozycjami zapasu, związanymi z potrzebami niezależnymi, jak również pozycjami zapasu, które są przedmiotem zarówno potrzeb zależnych, jak i niezależnych, np. częściami zamiennymi przeznaczonymi na potrzeby serwisu i stosowanych równocześnie w bieżącej produkcji.

Uwzględniając cykle dostawy, wielkości bieżących zapasów oraz harmonogram produkcji, można opracować szczegółowe harmonogramy zapotrzebowania dla każdego detalu, podzespołu lub surowca w poszczególnych jednostkach terminowania. Metoda MRP polega na podziale horyzontu planistycznego na ogół na odcinki tygodniowe i określeniu do nich potrzeb materiałowych, z uwzględnieniem korekcyjnych potrzeb brutto i netto na poszczególnych poziomach rozwinięcia wyrobu. Znając potrzeby w określonych przedziałach czasowych następnym problemem do rozwiązania pozostaje ustalenie partii dostawy. Najbardziej znanymi metodami ustalania partii dostawy są¹:

- 1) stała wielkość zamówienia
- 2) ekonomiczna wielkość zamówienia
- 3) partia na partię
- 4) stała liczba przedziałów potrzeb

¹ Joseph Orlicky „Planowanie potrzeb materiałowych – nowy styl zarządzania produkcją i zapasami”, PWE, Warszawa 1981.

- 5) obliczeniowy stały cykl zamawiania
- 6) najniższy koszt łączny
- 7) bilansowanie okresowe
- 8) algorytm Wagnera-Whitina.

Składane zamówienie obejmuje zwykle zapotrzebowanie na kilka jednostek terminowania (wszystkie z wyżej wymienionych metod oprócz 3). Zapotrzebowanie brutto konfrontowane jest z istniejącymi zapasami bądź z jeszcze nie zrealizowanymi przez dostawców zamówieniami (następuje nettowanie zapotrzebowania). Następnie zamówienie składane jest z wyprzedzeniem równym czasowi cyklu dostawy, a jego wielkość zależy od zapotrzebowania na następny okres i od stanów zapasów. Zapas zabezpieczający w tych metodach ogranicza się wyłącznie do ilości niezbędnej do pokrycia zapotrzebowania w przypadku odchylenia czasu cyklu dostawy. Dokładne wyliczenie zapotrzebowania nie wymaga stosowania żadnego dodatkowego zapasu zabezpieczającego.

Warto zauważyć, że w systemie MRP do obliczenia ustalenia wielkości partii wykorzystywane są niektóre formuły, jak w klasycznych modelach sterowania zapasami. Gdzie zatem należy upatrywać obniżenia poziomów zapasów przy zastosowaniu modelu MRP, zamiast klasycznych metod? Klucz do sukcesu leży w tym, iż w systemie MRP zapotrzebowanie zależne na poszczególne części, podzespoły, surowce jest obliczane, przez co unika się błędów prognozy. Wielkość zapasu zabezpieczającego ulega obniżeniu, ponieważ uwzględnia tylko możliwość odchylenia związanych z czasem dostaw, a nie zawiera odchylenia związanych ze zmieniającym popytem.

Sterowanie zapasami w nowoczesnych systemach logistycznych (Distribution Requirement Planning)

Omówiony w poprzednim punkcie system MRP zapewnia obniżenie poziomu zapasów do takiej wielkości, jaka wynika z głównego harmonogramu

produkcji przy założeniu, iż odzwierciedla on popyt występujący na rynku. W sytuacji, gdy główny harmonogram produkcji nie odpowiada faktycznemu popytowi, firma będzie miała nadmierne zapasy jednych towarów i niedobór innych. W związku z powyższym rodzi się potrzeba bardziej dokładnego analizowania i prognozowania popytu. Jest to uzasadnieniem dla wdrożenia DRP (*Distribution Requirement Planning*)² generującego informacje, które powinny zostać przesłane tam, gdzie układany jest główny harmonogram produkcji. W ten sposób firma ma możliwość obniżenia swoich zapasów zaopatrzeniowych korzystając z systemu MRP oraz zapasów dystrybucyjnych poprzez DRP.

Model DRP rozwija projekcje dla każdej SKU (jednostki utrzymywania zapasów) i wymaga:

- prognozowania popytu dla każdej jednostki utrzymania zapasów
- aktualnego poziomu zapasów dla każdej jednostki
- zakładanego poziomu zapasu bezpieczeństwa
- ustalonej wielkości partii dostawy, informacji dotyczącej czasu dostawy.

Informacje te wykorzystywane są do ustalania zapotrzebowania na uzupełnienie zapasów.

Połączenie systemów MRP i DRP daje bardzo korzystne rezultaty. Prowadzą one do podniesienia poziomu obsługi klienta, obniżenia globalnych kosztów logistycznych i kosztów produkcji.

Efficient Consumer Response i Quick Response

W obecnie funkcjonujących łańcuchach dostaw do jednych z najbardziej istotnych wyzwań zaliczyć należy kontrolę zapasów. Jedną ze współczesnych inicjatyw koncentrujących się w głównej mierze na obniżeniu poziomu zapasów jest ECR (*Efficient Consumer Response*). Zgodnie z jej założeniami przedsiębiorstwa produkcyjne i handlowe, jak również inni uczestnicy łańcucha (np. oferenci usług logistycznych) ściśle ze sobą współpracują w celu lepszego, szybszego i bardziej efektywnego za-

spokojenia potrzeb klienta. Wspólne dążenie do maksymalizowania globalnej wydajności całego łańcucha dostaw zamiast tradycyjnego koncentrowania się na wydajności jego poszczególnych ogniw prowadzi do zmniejszenia kosztów całkowitych systemu, poziomu zapasów i zaangażowania kapitału przy jednoczesnym podniesieniu wartości dla ostatecznego klienta. Do czterech podstawowych procesów tworzących wartość dodaną w łańcuchu dostaw w ramach efektywnej obsługi klienta zalicza się:

- proces efektywnego uzupełniania (*Efficient Replenishment*)
- proces efektywnego zarządzania asortymentem sklepowym (*Efficient Store Assortments*)
- proces efektywnej promocji (*Efficient Promotion*)
- proces efektywnego wprowadzania nowego produktu (*Efficient New Product Introduction*).

Wszystkie wyżej wymienione procesy są równie ważne. Jednak z punktu widzenia sterowania zapasami na pierwszy plan wysuwa się proces efektywnego uzupełniania, którego celem jest zapewnienie właściwego produktu we właściwym czasie, we właściwej ilości i w jak najefektywniejszy sposób. Łańcuch dostaw musi gwarantować elastyczność i samoczynnie reagować na wszelkie wahania popytu. Natychmiastowe i efektywne uzupełnianie zapasów przyczynia się do zmniejszenia ich poziomu w całym łańcuchu dostaw, co prowadzi do oszczędności zaangażowanego kapitału w tę sferę działalności. Staje się również przyczynkiem do zapewnienia lepszego wyboru świeżych produktów o najwyższej jakości oraz zapewnienia wyższego poziomu obsługi klienta. Mechanizmem uruchamiającym cały proces uzupełnienia zapasów są dane z punktów sprzedaży, uzyskiwane za pomocą skanerów odczytujących kody kreskowe zakupionych towarów.

W systemie szybkiego reagowania (*Quick Response*) czynnikami umożliwiającymi jego stosowanie, oprócz wymienionego wyżej znakowania towarów kodami kreskowymi, jest rozwój technologii informatycznej, a zwłaszcza elektronicznej wymiany danych (EDI – *electronic*

² Metoda DRP definiowana jest jako system określający popyt na zapasy w poszczególnych centrach dystrybucji przedsiębiorstwa. Gromadzi on informacje na temat tegoż popytu i przekazuje je do produkcji i systemu materiałowego [D.M. Lambert, J.R. Stock: Strategic logistics management, 1993]

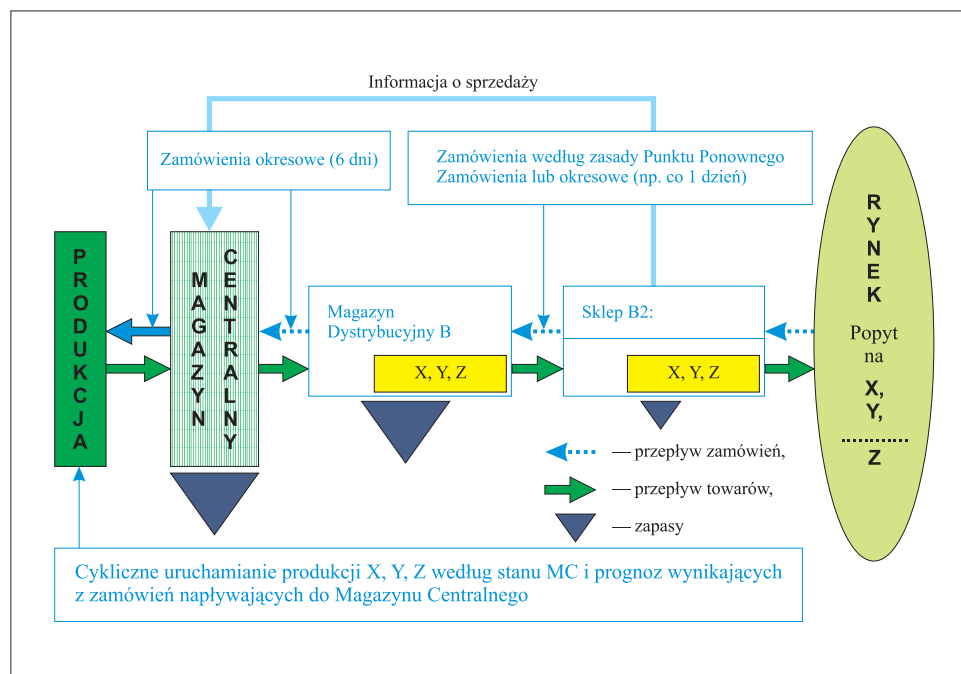
data interchange). Istotą tego systemu jest fakt, iż odpowiedź systemu logistycznego jest bezpośrednim rezultatem przesłania informacji o faktycznym popycie. Zapasy są więc niejako zastępowane przez właściwą informację. Na rys.1 przedstawiono przykładowy łańcuch dostaw oparty na tym systemie. Zamówienia przekazywane są pomiędzy poszczególnymi ogniwami, ale producent steruje produkcją w oparciu o bieżącą informację o poziomie i strukturze rynkowego popytu.

Jak wskazują zachodnie doświadczenia, stosowanie tego systemu jest opłacalne przy wysokim poziomie obsługi klienta. Dalszą pozytywną cechą systemów szybkiego reagowania jest to, że dzięki przyspieszeniu procesów logistycznych zachodzi redukcja czasu opóźnień, co przyczynia się do dalszej redukcji zapasów.

System szybkiego reagowania jest podstawą koncepcji ciągłego uzupełniania towarów. Koncepcja ta znajduje swoje zastosowanie w każdym punkcie przepływu produktów w łańcuchu dostaw i jest szczególnie przydatna w przypadku towarów szybko rotujących, świeżych oraz łatwo psujących się.

Vendor Managed Inventory i Co-Managed Inventory

Najczęściej stosowanymi technikami wspomagającymi ciągle uzupełnianie towarów są zarządzanie zapasami przez dostawcę (*Vendor Managed Inventory – VMI*) i wspólne zarządzanie zapasami (*Co-Managed Inventory – CMI*). W pierwszym przypadku istnieje bezpośredni przepływ informacji pochodzącej z komputerowego terminalu kasowego w punktach sprzedaży detalistów do producenta, uruchamiający ciągły przepływ towarów w całym łańcuchu. Dane te trafiają do odpowiedniego programu komputerowego producenta, gdzie na ich podstawie następuje wyliczenie propozycji zamówień (*Computer Assisted Ordering – CAO*). Jak widać, w systemie tym za proces uzupełnienia odpowiedzialny jest producent, który zarządza zapasami i zaopatrzeniem detalisty. Wymaga to od niego dużej wiedzy i odpowiednich narzędzi pozwalających precyzyjnie szacować wielkość i częstotli-



Rys.1. Przykładowy łańcuch dostaw oparty na systemie Quick Response
 Źródło: S. Krzyżaniak, K. Szymański „Przykłady zintegrowanego przepływu informacji i produktów w łańcuchach dostaw funkcjonujących według strategii ECR – modele rozwiązań i efekty” ILiM 2001.

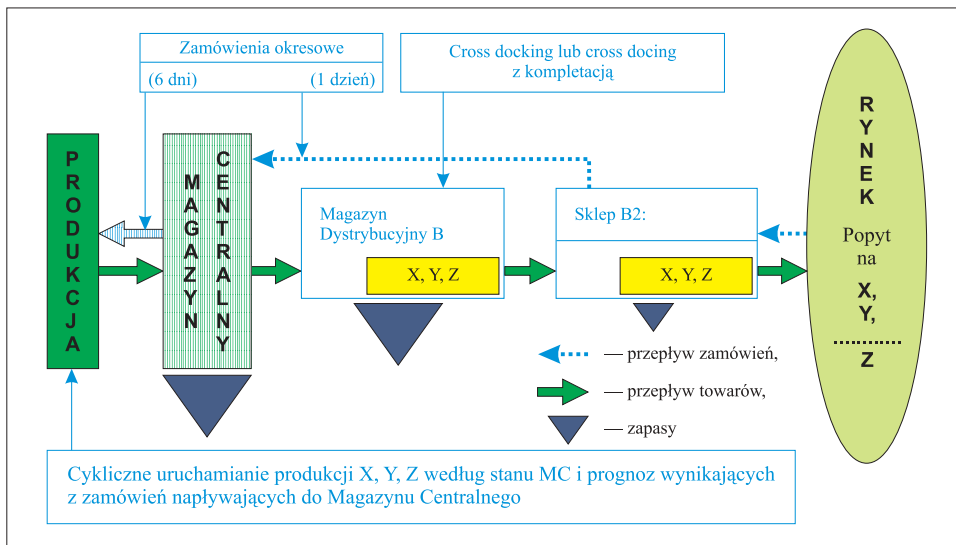
wość zamówień determinujących efektywność funkcjonowania całego łańcucha dostaw. Takie rozwiązanie prowadzi do tego, że detalista otrzymuje towary świeższe, częściej i w mniejszych ilościach, dopasowanych do bieżącego popytu konsumentów.

Zmodyfikowaną, a jednocześnie prostszą formą techniki VMI jest wspólne zarządzanie zapasami (CMI). W tej metodzie odpowiedzialność za proces zamawiania leży po stronie detalisty. Nowością w stosunku do tradycyjnego systemu zarządzania zamówieniami i zapasami jest silniejsze włączenie w ten proces dostawców. Podobnie jak to było w omówionej powyżej metodzie VMI, również i w tej, detalista przekazuje informacje na temat rzeczywistego popytu bezpośrednio do producenta. Na podstawie tych danych producent generuje propozycję zamówienia, która jest przekazywana detaliście (z reguły poprzez EDI lub pocztę elektroniczną) i jest przez niego potwierdzana. Jest to metoda, która jest stosowana w przypadku braku pełnego zaufania do drugiego partnera.

Jedną z fundamentalnych technik, stosowanych w ramach efektywnego uzupełniania, jest przeładunek komplekcyjny (*cross docking*), pozwalający wyeliminować konieczność składowania to-

warów w centrum dystrybucyjnym detalisty. Idealnym rozwiązaniem stało się przekształcenie składów detalistów w „składy wirtualne”, które praktycznie nie wypełniają funkcji przechowywania zapasów. Przychodząca od producenta jednostka zbiorcza nie jest odkładana na regał w składzie, lecz rozformowana z palet lub kontenerów fabrycznych, sortowana i kompletowana w odpowiednie przesyłki do sklepów detalicznych w czasie nie dłuższym niż 24 godziny. Dzięki takiemu rozwiązaniu likwiduje się nadmierne zapasy w centrach dystrybucyjnych detalisty oraz eliminuje straty czasu i środków potrzebnych na załadunek i rozładunek towarów w składzie. W ramach przeładunku komplekcyjnego można wyróżnić trzy podstawowe stopnie jego zaawansowania:

- 1) przeładunek komplekcyjny pełnych palet – palety z produktami są przenoszone bezpośrednio z samochodu dostawczego do samochodu dystrybutora bez żadnego przygotowania lub sortowania
- 2) przeładunek komplekcyjny z sortowaniem paczek – towary przechodzące przez centrum dystrybucyjne są rozdzielane na mniejsze opakowania zbiorcze, wysyłane następnie do punktów sprzedaży detalicznej
- 3) przeładunek komplekcyjny z przednim sortowaniem według zamówień



Rys. 2. Przykładowy łańcuch dostaw wykorzystujący cross docking
 Źródło: S.Krzyżaniak, K.Szymański „Przykłady zintegrowanego przepływu informacji i produktów w łańcuchach dostaw funkcjonujących według strategii ECR - modele rozwiązań i efekty” ILiM 2001.

omijają niektóre ogniwa łańcucha i kierowane są bezpośrednio z poziomu sklepów detalicznych do producenta. Pozwala to na dedykowaną kompletację i *cross docking* w ogniwach pośrednich.

W efekcie stosowania metod ciągłego uzupełniania towaru należy oczekiwać obniżenia poziomu zapasów i podniesienia elastyczności reagowania na zmiany popytu. Oznacza to również podniesienie poziomu obsługi punktów detalicznych przez centra dystrybucyjne, jak również wzrostu zyskowności kategorii produktów. Producent natomiast uniknie sztucznych fluktuacji oraz efektu akceleracji popytu (zwanego efektem byczego bicza, *Bullwhip Effect*³), powodowanych tradycyjnymi sposobami zamawiania. Korzyści wynikające z zastosowania koncepcji ciągłego uzupełniania przedstawiają rys. 3 i 44.

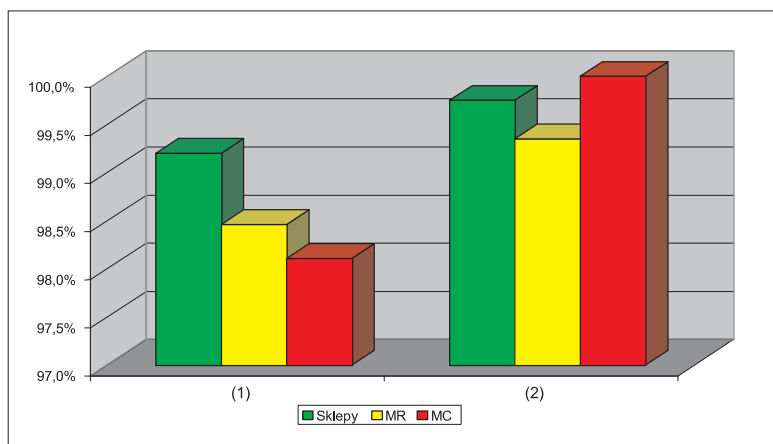
Podsumowanie

Głównym motorem napędowym doskonalenia sterowania procesami logistycznymi, jak również tworzenia zupeł-

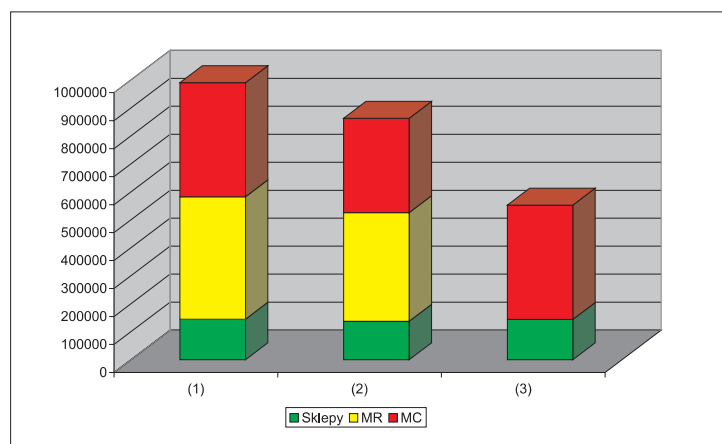
– zamówienia poszczególnych sklepów są konfekcjonowane w konkretne przesyłki już przez producenta i przeladowywane bezpośrednio w centrum dystrybucyjnym.

Cross docking jest niezwykle efektywną formą obsługi przepływów produktów szybkoprzepływających, które są odbierane i wysyłane prawie codziennie. Zastosowanie tego systemu wymaga przeprojektowania centrum dystrybucyjnego tak, aby ułatwić operacje przy-

jęcia towarów na rampach odbiorczych, ich przepływ do miejsc sortowania, a następnie dostarczenie do ramp wysyłkowych. Ze strony producentów wymagane jest zaakceptowanie dostaw do centrów dystrybucyjnych w określonych „okienkach czasowych” oraz wykazanie się elastycznością co do liczby dostarczanych paletowych jednostek ładunkowych. Rys. 2 przedstawia jedno z możliwych rozwiązań systemu dystrybucji, wykorzystującego *cross docking*. Informacje o zamówieniu



Rys. 3. Porównanie poziomu obsługi klienta w kolejnych ogniwach łańcucha dostaw w przypadku tradycyjnego łańcucha dostaw (1) oraz łańcucha dostaw zorganizowanego jak na rysunku 1 (2)



Rys. 4. Porównanie poziomu koniecznego zapasu dla zapewnienia 100% poziomu obsługi klienta w kolejnych ogniwach łańcucha dostaw w przypadku tradycyjnego łańcucha dostaw (1), łańcucha dostaw zorganizowanego jak na rys. 1 (2) oraz łańcucha dostaw z wykorzystaniem *cross dockingu* – jak na rys. 3(3)

³ Efekt byczego bicza to efekt wzmocnionego przenoszenia zmian popytu w łańcuchu dystrybucji. Zniekształcona informacja o popycie prowadzi do nadmiernych inwestycji w zapasy, obniża poziom obsługi klienta, zmniejsza dochody, powoduje nieefektywne wykorzystanie środków transportu, utrudnia proces planowania produkcji. Z powodu niedokładnych i przewartościowanych informacji o popycie na każdym szczeblu kanału dystrybucji gromadzone są zapasy w celu zaspokojenia niepewnego i zróżnicowanego popytu. [więcej informacji na temat efektu byczego bicza czytelnik znajdzie w artykule Justyny Bobowskiej „Powstawanie efektu byczego bicza na przykładzie prostego łańcucha dostaw”, *Logistyka* 6/2002, s. 28-33]

⁴ Na podstawie symulacji. S.Krzyżaniak, K.Szymański „Przykłady zintegrowanego przepływu informacji i produktów w łańcuchach dostaw funkcjonujących według strategii ECR - modele rozwiązań i efekty” ILiM 2001.

nie nowych rozwiązań w tej dziedzinie, jest dynamiczny rozwój informatyki i telekomunikacji. Upowszechnienie się lokalnych i rozległych sieci komputerowych, a przede wszystkim Internetu, zmienia dotychczasową definicję rynku mówiącą, że rynkiem jest miejsce fizycznego kontaktu sprzedającego z kupującym. Obecnie „...sprzedający niekoniecznie musi posiadać sprzedawane dobra, nie musi być nawet klasycznym pośrednikiem, a cała transakcja z punktu widzenia właściciela produktu może ograniczyć się jedynie do zmian w stanach magazynowych i saldach jego konta. Reasumując, często przedsiębiorstwo, w którym kupujący zawiera transakcję, ogranicza się jedynie do posiadania informacji na temat pro-

duktu oraz miejsca i czasu jego występowania”⁵. Nowoczesne metody sterowania zapasami przedstawione w tym artykule nie miałyby racji bytu bez wsparcia ze strony technologii informatycznej. Zastosowanie na szeroką skalę tej technologii w systemach MRP spowodowało przyspieszenie rotacji do 6 razy, skrócenie cykli dostaw o połowę, redukcję zapasu robót w toku o 25%, zmniejszenie poziomu zapasów surowców o 50%, podniesienie produktywności o 10%.⁶ Szybki przepływ informacji, poprzez zastosowanie m.in. EDI pomiędzy detalistą a producentem, powoduje znaczne zmniejszenie błędów prognoz co do przyszłego popytu, przez co poziom zapasów w całym łańcuchu ulega znacznej obniżce

(jak dowodzi przeprowadzona symulacja poziomu zapasów, możliwy jest spadek nawet o 50%). W praktyce po zastosowaniu VMI w jednym z dużych koncernów chemicznych osiągnięto wzrost dostępności produktów do 99,8%, zwiększenie sprzedaży poprzez wyeliminowanie błędów o 4%, a także redukcję poziomów zapasów o 60%.

Wprowadzenie wyżej wspomnianych zmian spowodowało jednak zwiększenie kosztów transportu o 10%. Podczas wdrażania nowoczesnych metod sterowania zapasami należy dobrze skalkulować korzyści z nich wynikające w stosunku do poniesionych nakładów i wybrać najbardziej optymalne rozwiązanie.

⁵ M. Kasperek, „Zakupy, reklama i badania rynku w Internecie” *Gospodarka Materiałowa i Logistyka* nr 1, 1999

⁶ na podstawie Olivier W. Wight, „Production and inventory management in the computer age”, 1984.