

Agata Mesjasz-Lech  
Politechnika Częstochowska<sup>1</sup>

## Efekt byczego bicza a zarządzanie zapasami w łańcuchu dostaw<sup>2</sup>

### Wprowadzenie

Efekt byczego bicza (*bullwhip effect*) jest pojęciem związanym z łańcuchem dostaw. Efekt ten wyjaśnia wahania sprzedaży (popytu), produkcji i dostaw. Pod pojęciem tym rozumie się zniekształcenia popytu, nasilające się wraz z przesuwaniem się w górę łańcucha dostaw [3]. Efekt ten wynika głównie z nieefektywnego przepływu informacji w łańcuchu dostaw, co powoduje gromadzenie nadmiernych zapasów u poszczególnych partnerów. Wymienia się cztery podstawowe przypadki efektu byczego bicza [6]:

- efekt Forreстера, związany z czasem realizacji i przetwarzania sygnału o poziomie zapotrzebowania,
- efekt Burbidge'a, związany z grupowaniem zamówień,
- efekt Houlihana, związany z racjonowaniem i niedoborem produktów,
- efekt promocji, związany z fluktuacją cen.

Pojawienie się efektu byczego bicza powoduje wzrost zróżnicowania popytu i zamówień w kolejnych ogniwach łańcucha dostaw, a tym samym niekorzystnie wpływa na stabilność działań realizowanych przez cały łańcuch [15]. Przyczyny powstawania efektu byczego bicza można ująć w dwie grupy [1]:

- wynikające z działalności operacyjnej podmiotów,
- wynikające z zachowań podmiotów.

Do pierwszej grupy zaliczyć można:

- prognozy popytu,
- wielkość partii zamówienia,
- fluktuację cen,
- limitowanie lub brak zapasu,
- czas realizacji zamówienia,
- politykę gospodarowania zapasami,
- politykę uzupełniania zapasów,
- niewłaściwy system kontroli,
- brak przejrzystości,
- liczbę szczebli w łańcuchu dostaw,
- efekt mnożnikowy,
- brak synchronizacji działań,
- niedojrzenie sprzężenia zwrotnego,
- optymalizację częściową (suboptymalizację),
- procesy realizowane w podmiotach,
- ograniczone zasoby.

W drugiej grupie wymienia się:

- zaniedbania decyzyjne w zakresie opóźnień w realizacji dostaw,
- braki w wykształceniu personelu (brak odpowiednich szkoleń),
- strach przed wystąpieniem braku zapasu.

Efektu byczego bicza dotyczą również rozważania odnośnie do fizycznego i informacyjnego punktu granicznego. W fizycznym punkcie granicznym następuje zmiana zasad sterowania przepływami produktów, kształtowanymi na zasadzie ssania i tłoczenia [14]. Systemy ssące mają tę przewagę nad

<sup>1</sup> Wydział Zarządzania, Politechnika Częstochowska

<sup>2</sup> Artykuł recenzowany.

systemami tłoczącymi, iż dostawca otrzymuje informację o zapotrzebowaniu od ogniwa znajdującego się najbliżej rynku. W systemach tłoczących natomiast wielkość zapotrzebowania dla wszystkich ogniw jest prognozowana. Informacyjny punkt graniczny to z kolei miejsce w łańcuchu dostaw, do którego przekazywane są informacje o faktycznej sprzedaży, a zatem dotyczące rzeczywistego popytu ostatecznych nabywców [14]. Położenie obu punktów może być różne, ale należy dążyć do tego, aby informacyjny punkt graniczny znajdował się możliwie najbliżej początkowych ogniw łańcucha dostaw. Potrzeba bazowania na bezpośrednich informacjach o popycie wynika z tego, iż nawet niewielki błąd w szacunkach zapotrzebowania w jednym ogniwie pociąga za sobą błędne wnioski o popycie w pozostałych ogniwach. Efektem kumulacji tych błędów jest informacja generująca chaos lub zaburzenia czynności logistycznych u dostawców, przenoszone na kolejne ogniwa [11].

Problemem staje się zatem uzyskanie pełnej informacji o popycie przez poszczególne ogniwa łańcucha dostaw, które w przypadku jej braku, tworzą nadmierne zapasy, aby nie dopuścić do sytuacji niezaspokojenia popytu nabywców. W redukcji efektu byczego bicza ważnym czynnikiem staje się zatem koordynacja działań w łańcuchu dostaw.

### **Łagodzenie efektu byczego bicza przez koordynację działań w łańcuchu dostaw**

W wieloszczeblowych łańcuchach dostaw występują wielopoziomowe zależności między jego ogniwami. Niestety zależności te są często w pewnym stopniu ignorowane, szczególnie, gdy dotyczą podmiotów łańcucha niebędących „bezpośrednimi sąsiadami” w realizowanych działaniach. Ignorowanie poniekąd istotnych, choć nie bezpośrednich powiązań między partnerami łańcucha dostaw prowadzi do nieuwzględnienia ważnych informacji odnośnie do funkcjonowania całego łańcucha dostaw [4]. Należy bowiem pamiętać, że powiązania między partnerami realizującymi działania logistyczne mają coraz częściej typologię sieci, w której każda decyzja dostawcy związana z zamówieniem na oferowane przez niego towary może zależeć bezpośrednio od zamówień najbliższych „sąsiadów”, bądź pośrednio od informacji przesyłanych przez innych partnerów za pośrednictwem sieci informacji. Popyt na dany towar zależy od potrzeb wielu klientów (rynków) zlokalizowanych w różnych miejscach sieci, a zatem istotne jest badanie zależności występujących między wszystkim partnerami (zarówno konkurującymi jak i współpracującymi) [12].

W celu redukcji efektu byczego bicza należy dążyć do [9]:

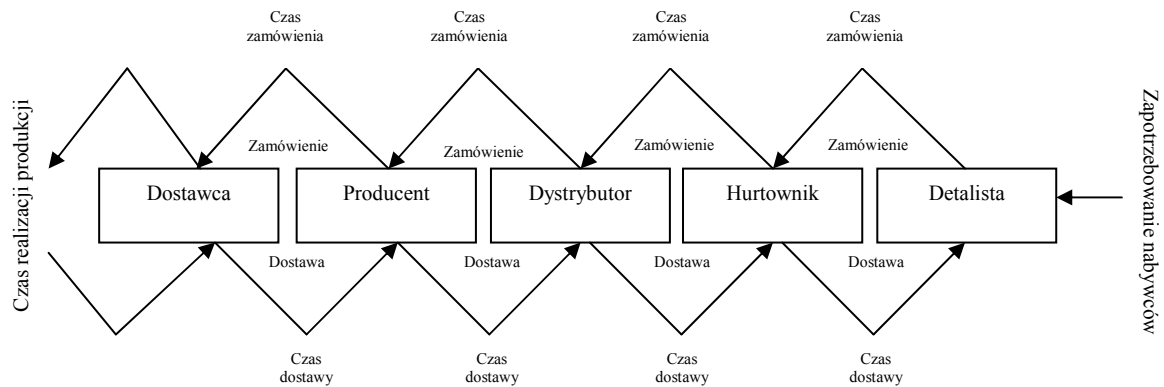
- koordynacji produkcji i dystrybucji,
- koordynacji na linii dostawcy – odbiorcy.

Dysponowanie informacją niepełną prowadzi do niskiej wydajności procesów produkcji i dystrybucji. Koordynacja procesów produkcji i dystrybucji może przyczynić się do obniżenia efektu byczego bicza. W literaturze proponuje się wiele rozwiązań w tym zakresie, np.:

- sterowanie zapasami z wykorzystaniem zbiorów rozmytych,
- redukcja liczby punktów składowania zapasów w łańcuchu dostaw.

Informacja niepełna jest również przyczyną braku współpracy między dostawcami i odbiorcami. Wymienianie się informacją o popycie umożliwiłoby opracowanie właściwej strategii kooperacyjnej między partnerami łańcucha dostaw. Dzielenie się informacją przez współpracujące ogniwa łańcucha dostaw pozwoliłoby budować trafne i dokładne prognozy popytu, dzięki dysponowaniu precyzyjną informacją o zapotrzebowaniu kolejnych podmiotów.

Na rys. 1 przedstawiono przykład liniowych powiązań w łańcuchu dostaw z pięcioma ogniwami. Detalista składa zamówienie do hurtownika na podstawie zapotrzebowania ostatecznych klientów, hurtownik z kolei składa zamówienie do dystrybutora, dystrybutor do producenta. Produkt dostarczany jest ostatecznemu nabywcy tym samym łańcuchem dostaw, z tym że w przeciwnym kierunku. Każdy partner łańcucha dostaw ma zatem swojego klienta, którego zapotrzebowanie musi zrealizować. Prognozuje więc popyt „własnego” klienta, mimo że celem całego łańcucha dostaw jest zaspokojenie popytu ostatecznych nabywców.



Rys. 1. Liniowy łańcuch dostaw  
Źródło: [1].

Dzielenie się informacją i koordynacja w zakresie zamówień są podstawą skuteczności działania łańcucha dostaw. Przeprowadzone badania wykazały, że [10]:

- ogniwa łańcucha dostaw nie wymieniają się informacją o typie i stanie systemu gospodarowania zapasami, co skutkuje efektem byczego bicza oraz brakiem kontroli nad przepływem zapasów i trudnościami w prognozowaniu odnośnie do zapasów,
- większość metod i analiz dotyczy prognozowania popytu dla jednoszczeblowych systemów zaopatrzenia, a nawet wtedy, gdy dotyczy systemów wieloszczeblowych, to przy założeniu, że wszystkie podmioty mają takie same systemy gospodarowania zapasami,
- większość metod prognozowania wielkości związanych z zapasami i procesem zaopatrzenia bazuje na szeregach czasowych, a zatem uwzględnia jedynie historyczne kształtowanie się danej zmiennej, a tym samym nie bierze pod uwagę wpływu kosztów funkcjonowania łańcucha dostaw na jej poziom (jako alternatywę dla tradycyjnych metod prognozowania podaje się metody heurystyczne, a w szczególności algorytmy genetyczne minimalizujące łączne koszty łańcucha dostaw przy poszukiwaniu optymalnych rozwiązań w zakresie gospodarki zapasami),
- należy odchodzić od tradycyjnych algorytmów genetycznych na rzecz algorytmów uczących się w celu poszerzenia obszaru poszukiwań i możliwości identyfikacji ważnych czynników determinujących proces decyzyjny,
- w eksperckich metodach podejmowania decyzji analizy opinii ekspertów dokonuje się stosując metody ilościowe, a wiedza wykorzystywana jest jedynie do opracowania procedury poszukiwania rozwiązania (dlatego proponuje się poszukiwanie podejść opartych przede wszystkim na wiedzy).

### Polityka uzupełniania zapasów jako narzędzie redukcji efektu byczego bicza

Za podstawowe czynniki umożliwiające zarządzanie łańcuchem dostaw uznaje się stan zapasów i obrót nimi [4]. Posiadanie określonego poziomu zapasu gwarantuje realizację produkcji bądź sprzedaży. Wskaźnik obrotu zapasami z kolei wskazuje na potrzeby związane z uzupełnianiem stanu zapasów. Odpowiednia polityka uzupełniania zapasów może przyczynić się do redukcji efektu byczego bicza. W tabeli 1 przedstawiono polityki uzupełniania zapasów, które pozwalają na łagodzenie negatywnych skutków związanych z niepełną informacją o zapotrzebowaniu na rynku.

Tabela 1 Polityki uzupełniania zapasów redukujące efekt byczego bicza

Nazwa polityki	Formuła matematyczna i charakterystyka
(R, D)	$O_t = O_{t-1} + \gamma(D_t - O_{t-1})$ Polityka zakładająca, że wielkość zamówienia określa się na podstawie prognozy popytu dla okresu kolejnego, wyznaczonej prostą metodą wygładzania wykładniczego.
(R, $\gamma O$ )	$O_t = D_t + (1 - \gamma)(O_{t-1} - D_t)$ Do określenia wielkości zamówienia bierze się pod uwagę prognozę popytu oraz wygładzoną wartość różnicy między wielkością zamówienia w okresie poprzednim a prognozą popytu na okres bieżący.
(R, S)	$O_t = O_{t-1} + \gamma(IP_t^T - IP_t)$ Wielkość zamówienia zależy nie tylko od prognozy popytu, ale również od stanu zapasów, czasu realizacji zamówienia i poziomu zapasu bezpieczeństwa. Decydent zakłada przedział czasu między dwoma kolejnymi momentami przeglądu zapasu R, który jest stały w całym okresie uzupełniania zapasów oraz określa czas realizacji zamówienia i maksymalny poziom zapasów S. Na podstawie tych dwóch wielkości wyznaczany jest zapas bezpieczeństwa.
(R, $\beta IP$ )	$O_t = O_{t-1} + \beta(IP_t^T - IP_t)$ Polityka będąca modyfikacją polityki (R, S), zakładająca możliwość wygładzania różnicy między bieżącym poziomem zapasów (zapas netto plus wielkość partii zamówienia) a poziomem zapasu po zrealizowaniu zamówienia (przewidywanego popytu).
(R, $\gamma O, \beta IP$ )	$O_t = D_t + (1 - \gamma)(O_{t-1} - D_t) + \beta(IP_t^T - IP_t)$ Wielkość zamówienia jest wyznaczana na podstawie prognozy popytu, a następnie korygowana różnicą między wielkością zamówienia w okresie poprzednim a prognozą popytu na okres bieżący oraz różnicą między bieżącym poziomem zapasów (zapas netto plus wielkość partii zamówienia) a poziomem zapasu po zrealizowaniu zamówienia (przewidywanego popytu).

Źródło: opracowanie własne na podstawie [1] oraz [8].

Polityki uzupełniania zapasów, w których podstawową metodą prognozowania zapasu jest proste wygładzanie wykładnicze mogą być skutecznym narzędziem zmniejszającym zmienność dostaw w odniesieniu do popytu i tym samym prowadzić do redukcji efektu byczego bicza. Niestety niektóre z polityk, w szczególności polityka (R, S), mogą same pobudzać wystąpienie efektu, głównie ze względu na dużą zmienność popytu, która prowadzi do wzmacniania informacji o jego poziomie. W przypadku polityk (R,  $\beta IP$ ) i (R,  $\gamma O, \beta IP$ ) ich wpływ na efekt byczego bicza zależy od charakteru popytu. Redukcję efektu byczego bicza osiąga się dzięki niepełnemu uwzględnianiu różnic między aktualnym stanem zapasów a stanem docelowym. Polityki (R, D) i (R,  $\gamma O$ ) z kolei eliminują właściwie efekt byczego bicza.

W łańcuchu dostaw wyróżnia się zazwyczaj trzy rodzaje systemów związanych z gospodarowaniem zapasami:

- 1) system przeglądu okresowego,
- 2) system przeglądu ciągłego,
- 3) optymalny system przeglądu.

W systemie przeglądu okresowego stan zapasu kontrolowany jest w stałych odstępach czasu, a zamówienie składane jest na koniec okresu kontroli. Czas między złożeniem kolejnych zamówień jest

zatem stały, różna jest natomiast wielkość zamówienia, która jest dostosowana do potrzeb. System przeglądu ciągłego z kolei charakteryzuje zmienny okres przeglądu stanu zapasu, gdyż zamówienie w stałej ilości następuje, gdy poziom zapasu spadnie do lub poniżej poziomu alarmowego. W przypadku optymalnego systemu przegląd zapasów następuje w równych odstępach czasu, a na koniec okresu kontroli zostaje złożone zamówienie w takiej ilości, aby wyrównać poziom zapasu do poziomu założonego.

Dzięki dzieleniu się informacją poszczególne ogniwa łańcucha dostaw mogą obniżyć średni poziom posiadanego zapasu, a tym samym koszty związane z jego utrzymaniem. Rozpatrując łańcuch dostaw złożony z trzech podmiotów: wytwórcy, dostawcy i nabywcy, Ding, Guo i Liu zbudowali model pozwalający na złagodzenie efektu byczego bicza. Model pozwala na obniżenie poziomu zapasów we wszystkich ogniwach łańcucha dostaw [5]. Wyznaczyli oni tzw. wartość podziału informacji, którą można wyrazić jako sumę:

$$E = \Delta_m + \sum_{j=1}^J \Delta_{d_j} = \Delta_m + J\Delta_{d_j} = K_M \sigma W(\phi) \sqrt{I} + JK_j \sigma Z(\phi) \sqrt{\frac{I}{J}},$$

gdzie:

$E$  – miernik podziału informacji

$I_{d_j}$  – poziom zapasów u dystrybutora  $d_j$  w przypadku, gdy nie dzieli się on informacją z innymi podmiotami łańcucha dostaw,

$I_m$  – poziom zapasów u wytwórcy  $m$  w przypadku, gdy nie dzieli się on informacją z innymi podmiotami łańcucha dostaw,

$\sigma$  – odchylenie standardowe pewnej zmiennej niezależnej w funkcji popytu, przy czym zmienna ta ma rozkład normalny,

$I$  – liczba nabywców,

$J$  – liczba dystrybutorów,

$I/J$  – liczba nabywców, do których pojedynczy dystrybutor przekazał produkt,

$\phi$  – wskaźnik korelacji między wielkością popytu z bieżącego okresu a wielkością popytu z okresu poprzedniego,

oraz:

$$K_M = F^{-1}(p_M / (p_M + h_M))$$

$$K_j = F^{-1}(p_{j,D} / (p_{j,D} + h_{j,D})),$$

$F^{-1}(x)$  – funkcja odwrotna do funkcji gęstości rozkładu normalnego standaryzowanego,

$h_M$  – koszt utrzymania zapasu u wytwórcy,

$p_M$  – koszt braku zapasu u wytwórcy,

$h_{j,D}$  – koszt utrzymania zapasu u dystrybutora,

$p_{j,D}$  – koszt braku zapasu u dystrybutora,

$$Z(\phi) = \frac{1}{1-\phi} \left\{ \sqrt{(1-\phi^3)^2 + (1-\phi^4)^2} + \frac{\phi^2(1-\phi^2)^4}{(1-\phi)^2} - \sqrt{(1-\phi^3)^2 + (1-\phi^4)^2} \right\},$$

$$W(\phi) = \left\{ \left[ \left( \frac{(1-\phi^3)^2}{(1-\phi)^2} \right)^2 + \left( \frac{(1-\phi+\phi^6-\phi^7)^2}{(1-\phi)^2} \right)^2 + \left( \frac{(2\phi-\phi^2-2\phi^3-2\phi^4-2\phi^5+\phi^6+2\phi^7)^2}{(1-\phi)^2} \right)^2 \right]^{1/2} - \sqrt{\left( \frac{(1-\phi^3)^2}{(1-\phi)^2} \right)^2 + \left( \frac{(1-\phi-\phi^6+\phi^7)^2}{(1-\phi)^2} \right)^2} \right\}.$$

Wartość wynikająca z dzielenia się informacją w łańcuchu dostaw jest zatem sumą wielkości zapasu, o jaką można zredukować jego poziom u poszczególnych podmiotów, tzn. dystrybutora i wytwórcy. Różnicę między poziomem zapasów, gdy podmioty nie dzielą się informacją oraz poziomem zapasów w przypadku dzielenia się informacją wyznacza się według formuł:

1) dla dystrybutora:

$$\Delta I_{d_j} = I_{d_j} - I_{d_j}^* = K_j \left( \sqrt{S_{j,D}} - \sqrt{S_{j,D}^*} \right) = K_j \sigma Z(\phi) \sqrt{\frac{I}{J}}$$

2) dla wytwórcy:

$$\Delta I_m = I_m - I_m^* = K_M \left( \sqrt{S_M} - \sqrt{S_M^*} \right) = K_M \sigma W(\phi) \sqrt{I}$$

gdzie:

$I_{d_j}^*$  – poziom zapasów u dystrybutora  $d_j$  w przypadku, gdy dzieli się on informacją z innymi podmiotami łańcucha dostaw,

$I_m^*$  – poziom zapasów u wytwórcy  $m$  w przypadku, gdy dzieli się on informacją z innymi podmiotami łańcucha dostaw,

$S_{j,D}, S_{j,D}^*$  – wariancja popytu dla dystrybutora w przypadku, gdy nie dzieli się on i dzieli informacją z innymi podmiotami,

$S_M, S_M^*$  – wariancja popytu dla wytwórcy w przypadku, gdy nie dzieli się on i dzieli informacją z innymi podmiotami.

Nie mniej ważnym zagadnieniem jest możliwość monitorowania zapasów. Badania przeprowadzone przez Bottani i in. wykazały, że zastosowanie systemów RFID (*Radio Frequency Identification*) i EPC (*Electronic Product Code*) może przyczynić się do redukcji efektu byczego bicza [2]. Efektem badań jest formuła pozwalająca określić ekonomiczny wpływ zastosowanych technologii na funkcjonowanie łańcucha dostaw:

*Ekonomiczny wpływ technologii RFID i EPC = redukcja zapasu bezpieczeństwa x koszt utrzymania zapasu.*

Redukcja zapasu bezpieczeństwa determinowana jest redukcją efektu byczego bicza wyrażoną jako różnica stosunku wariancji zamówień i popytu w przypadku systemu nie korzystającego z technologii RFID i EPC oraz systemu, którego działanie one wspomagają.

Duc i in. wykazali, że pozytywny wpływ na redukcję efektu byczego bicza może mieć wprowadzenie zewnętrznego magazynu realizującego usługi składowania w łańcuchu dostaw [7]. Autorzy ci przyjęli, że podstawowym powodem powstawania efektu byczego bicza są błędy w procesie prognozowania. Rozpatrywali oni łańcuch dostaw złożony z jednego dostawcy, jednego zewnętrznego magazynu oraz dwóch nabywców, a do prognozowania popytu przez nabywców zaproponowali model AR(1). Przeprowadzone badania wykazały, że:

- 1) korzystanie z usług magazynu zewnętrznego nie redukuje efektu byczego bicza w przypadku, gdy czasy realizacji zamówienia dla kolejnych partnerów łańcucha dostaw są takie same,
- 2) funkcjonowanie łańcucha dostaw z jednym dostawcą i jednym nabywcą jest podobne, jak w przypadku jednego dostawcy i dwóch nabywców, jeżeli czasy realizacji zamówienia dla obu nabywców są takie same,
- 3) w przypadku różnych czasów realizacji zamówień poszczególnych nabywców są równe, efekt byczego bicza występuje, gdy współczynnik autokorelacji dla popytu jest dodatni,
- 4) wprowadzenie zewnętrznego magazynu nie zawsze pozwala na obniżenie kosztów funkcjonowania łańcucha dostaw, które zależą od parametrów funkcji popytu (średniej i odchylenia standardowego), współczynnika autokorelacji dla popytu, czasu realizacji zamówienia oraz poziomu obsługi klienta u kolejnych partnerów.

Z kolei Sodhi i Tang wyróżnili w swoich badaniach główny (*core bullwhip effect*) i przyrostowy (*incremental bullwhip effect*) efekt byczego bicza [13]. Główny efekt byczego bicza istnieje nawet wtedy, gdy nie występują zniekształcenia informacji w łańcuchu dostaw, a więc w przypadku, gdy wszyscy partnerzy dysponują pełną informacją o aktualnym zapotrzebowaniu na rynku oraz prognozach. Wszelkiego rodzaju odchylenia operacyjne, np. nieścisłości w zakresie wysyłek towarów i inwentaryzacji zapasów, błędy w określaniu wielkości partii zamówień, opóźnienia w dzieleniu się informacją o popycie na dany towar, przyczyniają się do powstania przyrostowego efektu byczego bicza. Efekt przyrostowy wpływa negatywnie nie tylko na funkcjonowanie ogniwa, w którym wystąpił, ale przenosi się na pozostałych partnerów łańcucha dostaw. W podsumowaniu swoich badań Sodhi i Tang stwierdzili, że:

- 1) wymiana informacji między partnerami łańcucha dostaw nie eliminuje efektu byczego bicza, którego powstanie przypisuje się wtedy irracjonalnym zachowaniom partnerów,

- 2) w przypadku braku wymiany informacji, wszelkiego rodzaju odchylenia operacyjne powodują powstawanie przyrostowego efektu byczego bicza.

### Podsumowanie

Dynamicznie zmieniające się otoczenie jest źródłem niepewności co do przyszłego kształtowania się popytu. Współpracujące w ramach łańcucha dostaw podmioty aby zredukować negatywne skutki tej niepewności, przenoszą wzmocnione zmiany popytu w miarę przesuwania się w górę łańcucha dostaw, czego konsekwencją jest tworzenie nadmiernych zapasów. Zapasy te generują wysokie koszty, które obniżają ekonomiczną efektywność funkcjonowania całego łańcucha dostaw. Zniekształcenie popytu przez wzmocnienie informacji o nim określane jest jako efekt byczego bicza. Na jego redukcję pozwala koordynacja działań w łańcuchu dostaw, szczególnie w zakresie gospodarowania zapasami. Opracowywanie i wdrażanie polityk uzupełniania zapasu, wykorzystujących odpowiednie metody prognozowania, a także zastosowanie technologii informatycznych umożliwiających monitorowanie zapasów, w skuteczny sposób może złagodzić efekt byczego bicza.

### Streszczenie

W artykule przedstawiono metody stosowane w gospodarowaniu zapasami mające na celu redukcję efektu byczego bicza. Zwrócono uwagę na potrzebę koordynacji działań w łańcuchu dostaw, w szczególności w odniesieniu do prognozowania popytu, polityki uzupełniania zapasów oraz monitorowania stanu zapasów w łańcuchu dostaw. Tym samym pokazano, że możliwe jest skuteczne łagodzenie efektu byczego bicza, czego skutkiem będzie obniżenie poziomu zapasów w ogniwach łańcucha dostaw i poprawa jego funkcjonowania.

### Bullwhip effect and inventory management in supply chain

#### Abstract

The article presents the methods used in the inventory management to reduce the bullwhip effect. The notice was taken on coordination in the supply chain, in particular in relation to demand forecasting, replenishment policies and monitoring inventory status in the supply chain. It was showed that it is possible to effectively mitigate the bullwhip effect and thus decrease level of inventory in the supply chain and improve its functioning.

### Literatura

- 1) Bhattacharya R., Bandyopadhyay S.: *A review of the causes of bullwhip effect in a supply chain*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology 54, 2011.
- 2) Bottani E., Montanari R., Volpi A.: *The impact of RFID and EPC network on the bullwhip effect in the Italian FMCG supply chain*, International Journal of Production Economics 124, 2010.
- 3) Ciesielski M., Długosz J. (red. nauk.): *Strategie łańcuchów dostaw*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2010.
- 4) Dass M., Fox G.L.: *A holistic network model for supply chain analysis*, International Journal of Production Economics 131, 2011.
- 5) Ding H., Guo B., Liu Z.: *Information sharing and profit allotment based on supply chain cooperation*, International Journal of Production Economics 133, 2011.
- 6) Dobos I.: *The analysis of bullwhip effect in a HMMS-type supply chain*, International Journal of Production Economics 131, 2011.
- 7) Duc T. T. H., Luong H. T., Kim Y.-D.: *Effect of the third-party warehouse on bullwhip effect and inventory cost in supply chains*, International Journal of Production Economics 124, 2010.
- 8) Jakšič M., Rusjan B.: *The effect of replenishment policies on the bullwhip effect: A transfer function approach*, European Journal of Operational Research 184, 2008.

- 9) Kristianto Y., Helo P., Jiao J. (Roger), Sandhu M.: *Adaptive fuzzy vendor managed inventory control for mitigating the Bullwhip effect in supply chains*, European Journal of Operational Research 216, 2012.
- 10) Liang W.-Y., Huang Ch.-Ch.: *Agent-based demand forecast in multi-echelon supply chain*, Decision Support Systems 42, 2006.
- 11) Mańkowski C.: *Implikacje logistyczne teorii chaosu*, LogForum Vol. 5, Issue 4, No 4, 2009.
- 12) Ouyang Y., Li X.: *The bullwhip effect in supply chain networks*, European Journal of Operational Research 201, 2010.
- 13) Sodhi M.M., Tang S., Christopher S.: *The incremental bullwhip effect of operational deviations in an arborescent supply chain with requirements planning*, European Journal of Operational Research 215, 2011.
- 14) Witkowski J.: *Zarządzanie łańcuchem dostaw*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2010.
- 15) Zhang X., Burke G.J.: *Analysis of compound bullwhip effect causes*, European Journal of Operational Research 210, 2011.