

Marek Mitosz*

ZABURZENIA DYNAMICZNE W SYSTEMACH LOGISTYCZNYCH

Systemy makrologistyki obejmują wiele różnych przedsiębiorstw i składają się z dwóch podsystemów: materiałowego i informacyjnego. W tradycyjnych łańcuchach logistycznych występuje szereg niekorzystnych dynamicznych zjawisk doprowadzających do destabilizacji łańcucha. W pracy przeanalizowano przyczyny i skutki tych zjawisk, określanych jako Bullwhip Effect. Wskazano możliwości częściowego rozwiązania problemów poprzez zmianę struktury systemu logistycznego, ze szczególnym uwzględnieniem jego podsystemu informacyjnego.

Macrologistic systems include many various companies and consist of two subsystems: material and information. In traditional logistic chains a number of disadvantageous dynamic effects appear which cause chain destabilization. That work analyzed reasons and results of these effects named as Bullwhip Effects. Indicated possibilities of partial problems solution by structure changing with making allowance for its' information subsystem in particular.

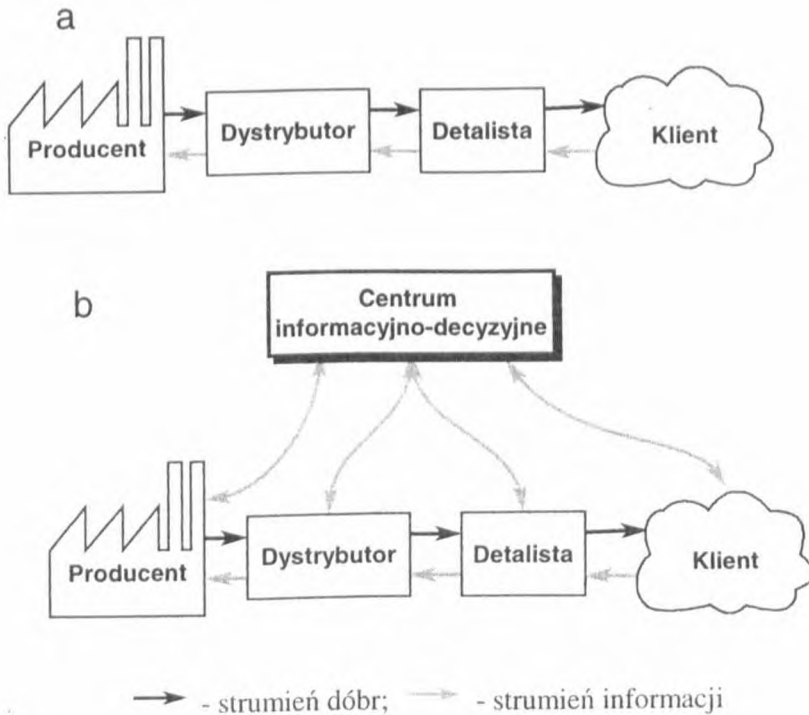
Wstęp

Systemy makrologistyczne – zwane często łańcuchami dostaw (ang. *Supply Chain*) – obejmują w uproszczeniu przepływ dóbr od pozyskania surowców z przyrody aż do klienta. W łańcuchu takim uczestniczy szereg niezależnych podmiotów gospodarczych od dostawcy surowców, poprzez producentów, hurtownika, detalisty aż po odbiorcę końcowego. System makrologistyczny łączy w sobie dwa podsystemy: materialny i informacyjny. Podsystem materialny jest odpowiedzialny za jednokierunkowy (od początku do końca łańcucha) przepływ towarów (materiałów, dóbr). Podsystem informacyjny realizuje, z jednej strony,

* Katedra Informatyki, Politechnika Lubelska;
E-mail: marekm@pluton.pol.lublin.pl

funkcje zarządzania łańcuchem (poprzez generowanie zamówień na dobra przepływające w kierunku przeciwnym do strumienia dóbr, ale też np. przepływ danych o płatnościach) i funkcje kontrolne (poprzez przepływ informacji zgodny z przepływem dóbr – listy przewozowe, faktury itp.).

Wielkość generowanych zamówień przekazywanych z jednego ogniwa łańcucha logistycznego do drugiego jest wynikiem procesu decyzyjnego w danym ogniwie. W przypadku tradycyjnego łańcucha decyzje te są związane z celami funkcjonowania poszczególnych ogniw łańcucha. Decyzje te są zatem w naturalny sposób lokalnie optymalizowane, tj. każdy decydent realizuje cele swojej organizacji bez uwzględniania stanu całego łańcucha logistycznego jak i też celów innych jego ogniw (rys. 1a).



Rys. 1 Klasyczny (a) i zintegrowany (b) łańcuch logistyczny

Źródło: Opracowanie własne

Nie powiodły się [1], jak dotychczas, próby budowy tzw. zintegrowanego łańcucha logistycznego, realizującego w sposób optymalny jedną, wspólną dla całego systemu, strategię działania (rys. 1b). Możliwości techniczne istnieją –

dostarcza je technologia: EDI, Internet, sieci korporacyjne, systemy MRP II/ERP. Przyczyn takiego stanu należy więc szukać w innych obszarach. Do najważniejszych z nich należą [1]:

- niezgodne cele działania poszczególnych ogniw łańcucha,
- niezgodna kultura i struktura organizacyjna,
- brak zaufania,
- niechęć do wprowadzania zmian,
- brak wizji i zrozumienia funkcjonowania zintegrowanego łańcucha dostaw,
- brak zaangażowania kadry menedżerskiej.

Problemem jest także sama koncepcja budowy zintegrowanego łańcucha logistycznego prowadząca w prostej linii do modelu gospodarki centralnie planowanej i sterowanej. Poza tym problemów z integracją należy szukać w strukturze istniejących systemów logistycznych. Wiele przedsiębiorstw jest bowiem równocześnie elementami dwóch lub więcej konkurujących wzajemnie łańcuchów dostaw.

Integracja łańcucha, wobec różnorodności i, częstokroć, sprzeczności celów jego poszczególnych elementów, musi być (w większości przypadków) wymuszona przez jeden, dostatecznie silny podmiot gospodarczy, który przyjmuje dominującą rolę w łańcuchu. Podmiot taki jest w stanie narzucić swoją wolę innym. Powstaje swoisty dyktat, który jest możliwy raczej tylko na skalę lokalną (np. sieć handlowa steruje dostawami od producentów towarów lub montownia samochodów wymusza system JiT u swoich kooperantów). W związku z czym należy mówić o zintegrowanym zarządzaniu fragmentami łańcuchów logistycznych. Sam łańcuch ma dalej tradycyjny sposób zarządzania z wieloma niezależnymi ośrodkami decyzyjnymi o różnych, zwykle przeciwstawnych, celach. Nawet w dużych korporacjach ogólnosięciowych, w związku z ich wewnętrzną strukturą, trudno o centralną optymalizację łańcucha dostaw [2].

W tradycyjnych łańcuchach logistycznych obserwowany jest efekt destabilizacji strumieni informacyjnych, i w konsekwencji materialnych, pod wpływem niewielkich nawet zmian np. zapotrzebowania na dobra dostarczane przez łańcuch. Efekt destabilizacji nosi nazwę efektu Bullwisha [3, 4].

Zaburzenia w systemie makrologistycznym

Łańcuch logistyczny jest narażony na niestabilny, zmienny w czasie popyt. Charakter tych zmian jest bardzo różny i często trudny do przewidzenia. Na zmienność zapotrzebowania na dobra dostarczane przez łańcuch dostaw składa się bowiem wiele czynników. Główne z nich to:

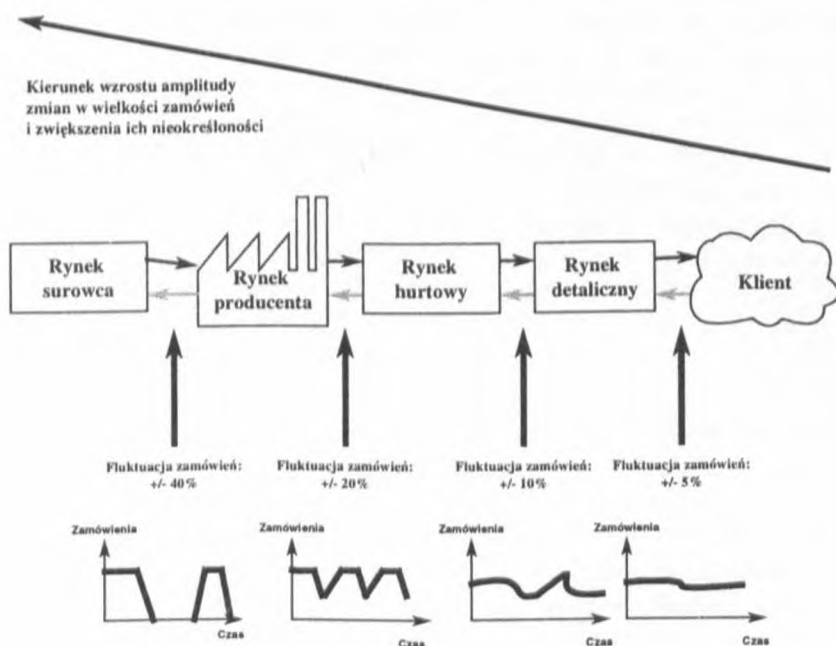
- zmienność długookresowa, wynikająca z naturalnego cyklu życia wyrobu (zmienność ta wyraża się koniecznością wymiany modeli na nowe pod wpływem mody, rozwoju technologii, działań konkurencji a nawet zmiany przepisów);
- zmienność roczna, czyli sezonowość (naturalny cykl zmian w popycie obserwowany w wielu gałęziach przemysłu: paliwowym, rolniczym, budownictwie czy samochodowym);
- zmienność krótkookresowa, wynikająca z praktyki planowania zakupów w cyklach kwartalnych, miesięcznych czy też tygodniowych;
- zmienność dzienna, wynikająca z naturalnych fluktuacji wpływania zamówień na dobra.

Na ww. zjawiska nakładają się zaburzenia w samym łańcuchu logistycznym – zmiana jego struktury i parametrów (np. pojawienie się nowego ogniwa, chwilowe zakłócenia w pracy innego, zmiana drogi lub środka transportu itp.).

Bullwhip Effect prowadzi do destabilizacji (a właściwie rozpędzania się lub też rozbujania) łańcucha logistycznego. Efekt ten związany jest z propagowaniem w górę łańcucha dostaw (tj. „pod prąd” strumienia dóbr) zmian w wielkości zamówień, które pojawiają się na jego końcu. Zmiany w wielkości zamówień na dobra kierowane od rynku do łańcucha logistycznego nie tylko przenoszą się na wszystkie ogniwa łańcucha, ale się przy tym wzmacniają się ich amplitudy oraz zwiększają turbulencje i narasta nieprzewidywalność poziomu zamówień. Charakter zmian wskazuje na narastanie fluktuacji (rys. 2).

Charakter zaburzeń w funkcjonowaniu łańcucha logistycznego zależy od wielu czynników. Do głównych z nich należy zaliczyć:

- strukturę całego łańcucha i wartości jego parametrów;
- strukturę ogniw tworzących łańcuch (struktura przepływu dóbr i informacji wewnątrz ogniwa, sposób przetwarzania informacji, w tym i realizowane strategie, parametry ww. procesów: opóźnienia, wielkości progowe, wielkości pożądane itp.);
- charakter zaburzenia (ilościowy/jakościowy, skokowy wzrost/spadek, liniowy, zmiany cykliczne o różnych parametrach).



Rys. 2 Efekt destabilizacji łańcucha logistycznego
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [4]

Efekt destabilizacji łańcucha makrologistycznego jest wynikiem nakładania się wielu zjawisk, zachodzących w systemie. Najważniejsze z nich zostały zidentyfikowane i nazwane. Są to [3, 4]:

- efekt Forreстера, związany ze wzmacnianiem się zaburzeń w strumieniach informacyjnych wynikające z dynamicznych właściwości łańcuchów logistycznych;
- efekt Burbidge'a, związany z negatywnymi dla łańcucha konsekwencjami grupowania zamówień w tzw. partie ekonomiczne;
- efekt Houlihan'a, związany z zachowaniem się klientów wobec chwilowych braków w dostawach dóbr;
- efekt promocji, związany z manewrowaniem ceną dóbr w celu zwiększenia popytu.

Efekt Forreстера polega na wzmocnieniu zaburzeń w zamówieniach i w konsekwencji, dostawach oraz wielkościach produkcji. Efekt Forreстера jest [5] nieuchronną konsekwencją struktury łańcucha logistycznego, opóźnień

w nim występujących i lokalnie podejmowanych decyzji. Opóźnienia, odpowiedzialne za zakłócenia, powstają w obu podsystemach: informacyjnym i materiałowym. W systemach informacyjnych mogą być one niwelowane poprzez rozwój technologii informatycznych [6, 7] i optymalizację procesów decyzyjnych w poszczególnych ogniwach [8, 9]. Podsystem materiałowy charakteryzuje się natomiast czasami produkcji i transportu. Czas produkcji można zmniejszyć poprzez utrzymanie wysokiego poziomu zapasu wyrobów gotowych. Jest to kosztowne oraz może doprowadzać do konieczności utraty części produkcji jako niemożliwej do sprzedania [10]. Opóźnienie transportowe trudno jest natomiast zmniejszać. Czas transportu dla niektórych produktów osiąga bardzo duże wartości. Przykładowo, transport ropy naftowej z krajów Bliskiego Wschodu do Europy trwa ponad 20 dni [2].

Efekt Burbidge'a jest związany z wykorzystaniem klasycznego instrumentu planistycznego, jakim jest partia ekonomiczna. W celu wykorzystania efektu skali w produkcji czy transporcie poszczególne centra decyzyjne gromadzą zamówienia (lub zlecenia produkcyjne) i wsadowo (tj. okresowo) je przesyłają. Działanie takie – racjonalne z punktu widzenia pojedynczego ogniw – powoduje w łańcuchu logistycznym gwałtowne okresowe narastanie wielkości zamówień z następującym po nim równie gwałtownym spadkiem. Zarówno okresy wzrostów i spadków jak i ich poziomy są trudne do przewidzenia – noszą losowy charakter. Zależą one od wielu czynników: struktury systemu logistycznego, liczby przedsiębiorstw w każdym z ogniw łańcucha, ich wielkości oraz algorytmów naliczania partii ekonomicznej a także ich parametrów. Efekt ten z racji masowego wykorzystywania pojęcia partii ekonomicznej oraz identycznych lub bardzo podobnych algorytmów planowania w systemach informatycznych zarządzania klasy MRP II/ERP jest niekiedy bardzo groźny. Naturalna synchronizacja w czasie systemów planistycznych (plany: roczne, kwartalne i miesięczne) wielu przedsiębiorstw tworzących dane ogniwo oraz podobieństwo algorytmów naliczających parametry zamówień może doprowadzić do synchronizacji zamówień w czasie. Ogniwo, do którego kierowane są zamówienia, otrzymuje zagregowany popyt tylko w niektóre momenty czasu. Ponadto wielkość tego popytu ma niestabilny charakter.

Efekt Houlihan'a [11] opisuje zachowanie się decydentów w ogniwach łańcucha logistycznego w sytuacji, gdy dotkną ich chwilowe braki lub opóźnienia w dostawach niezależnie od ich przyczyn. Naturalną tendencją, wynikającą z lokalnej racjonalności działań i ludzkiej psychologii, jest wówczas żądanie przyspieszenia dostaw i zwiększanie zamówień ponad aktualne potrzeby. To z kolei wywołuje narastanie zjawisk (opóźnienia w dostawach, braki w dostawach), które spowodowały te zachowania. Powstaje typowe dodatnie sprzężenie zwrotne doprowadzające do zwiększenia zaburzeń. Po pewnym czasie w szczegól-

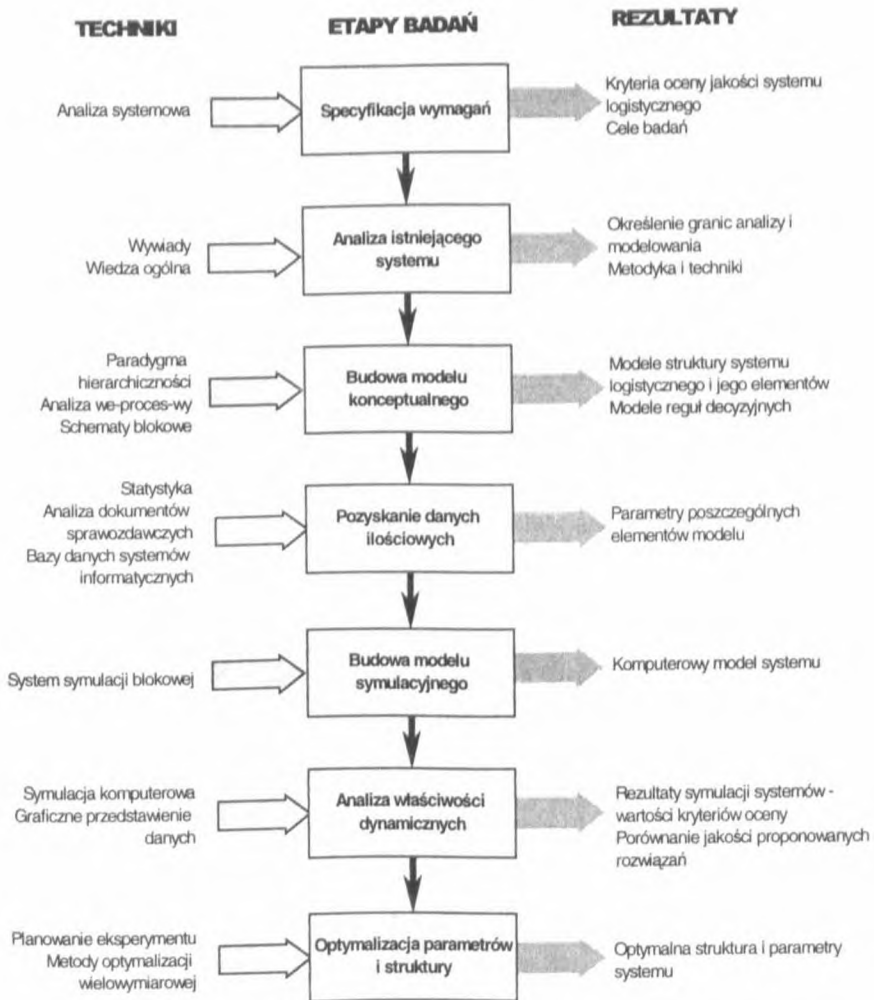
nych ogniwach łańcucha powstają zwiększone zapasy. Doprowadza to do zmniejszenia zamówień i pogłębia efekt destabilizacji łańcucha logistycznego poprzez chwilowe zmniejszenie lub zanik przepływów materiałowych.

Efekt promocji związany jest z praktyką zwiększania zapotrzebowania na produkt poprzez zmniejszenie jego ceny – promocję. Takie działanie dostawcy powoduje efekt psychologiczny i zwiększenie popytu (co zresztą jest zwykle celem promocji) oraz realizację zakupów na zapas bądź też w opcji z opóźnioną dostawą. Zwiększone stany magazynowe, powstałe w wyniku takich zakupów, z kolei powodują po pewnym czasie zmniejszenie się poziomu zamówień (niekiedy bardzo gwałtowne) i konieczność dalszych promocji by podtrzymać spadający popyt. W konsekwencji pogłębia się destabilizacja łańcucha logistycznego. Efekt promocji jest tym większy im bardziej elastyczny jest popyt. Dotyczy więc znacznej części produktów.

Badanie dynamiki łańcucha logistycznego

Analiza procesów zachodzących w systemach makrologistyki możliwa jest tylko metodami symulacji komputerowej. Cele takiej analizy są różnorodne i obejmują całość obszaru związanego z analizą istniejących łańcuchów dostaw, optymalizacją ich parametrów i modyfikacją struktury. Ponadto modele matematyczne łańcucha logistycznego mogą być używane do wspomagania taktycznego zarządzania nim.

Systemy makrologistyczne zaliczają się do dużych, mieszanych techniczno-ludzkich systemów o wielowymiarowym i czaso-przestrzennym charakterze z naturalną hierarchizacją. Do analizy dynamiki takich systemów najstosowniejszą wydaje się być dynamika systemowa po odpowiednim dostosowaniu i unarzędziwieniu (rys. 3).



Rys. 3 Metodyka analizy, modelowania i optymalizacji sieci logistycznych
Źródło: opracowanie własne

Struktura systemu logistycznego a jego właściwości dynamiczne

Strukturalne uwarunkowania występowania efektu Bullwhip są oczywiste w przypadku klasycznego łańcucha logistycznego. Analiza przyczyn tego efektu umożliwia projektowanie nowych i modyfikację istniejących systemów w celu

usunięcia przyczyn destabilizacji a przedstawiona na rys. 3 metodyka umożliwia ocenę wpływu zmian na właściwości systemu.

Możliwe są następujące modyfikacje struktury systemu, które zmniejszają lub likwidują poszczególne zjawiska-przyczyny efektu destabilizacji łańcucha:

- modyfikacja parametrów istniejącego łańcucha logistycznego,
- redukcja ogniw pośredniczących – skrócenie łańcucha,
- integracja podsystemu informacyjnego łańcucha logistycznego,
- centralizacja systemu decyzyjnego łańcucha.

Modyfikacja parametrów istniejącego łańcucha nie dotyczy zmian struktury systemu ale modyfikacji poszczególnych elementów podsystemu materiałowego (np. zmniejszenie opóźnień czasowych w transporcie dóbr poprzez zmianę systemu transportu lub miejsca rozmieszczenia centrów logistycznych) lub informacyjnego. Podsystem informacyjny można modyfikować w dwóch kierunkach:

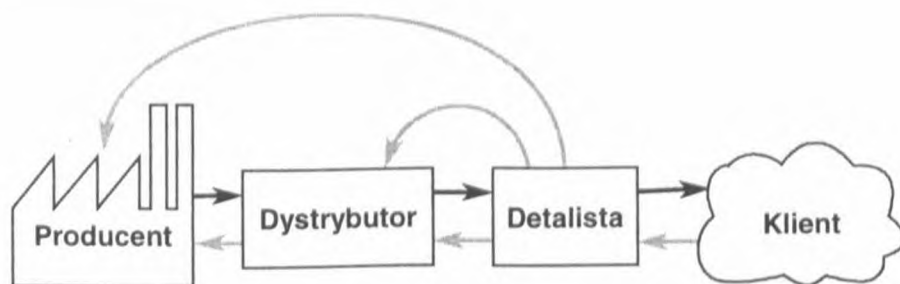
- zmniejszenie opóźnień przesyłania danych pomiędzy poszczególnymi ogniwami łańcucha logistycznego,
- optymalizacja parametrów systemu decyzyjnego w poszczególnych ogniwach.

Zmniejszenie opóźnień przesyłania danych jest prostym wykorzystaniem technologii, w tym faksu, sieci komputerowej lub EDI [7]. Modyfikacja parametrów systemu decyzyjnego sprowadza się do dostosowania algorytmów decyzyjnych, tak by były one optymalne w ramach całego łańcucha.

Podstawowy problem decyzyjny w systemie logistycznym polega na przetworzeniu danych o stanie ogniwa (np. poziomie zapasów, produkcji itp.) i zamówieniach wpływających do niego na wielkość zamówień lokowanych w ogniwie poprzedzającym. Algorytm ten charakteryzuje się wieloma parametrami, których modyfikacja wpływa na dynamikę całego systemu [8].

Redukcja ogniw pośredniczących jest typowym zabiegiem, który skraca łańcuch logistyczny. Wraz ze skróceniem łańcucha zmniejsza się liczba centrów decyzyjnych oraz ulegają redukcji opóźnienia w podsystemie materiałowym (np. transport dóbr) i informacyjnym (np. przesyłanie zamówień, wypracowywanie decyzji). Zmniejsza się zatem wpływ efektu Forrestera i Burbidge'a na funkcjonowanie łańcucha logistycznego.

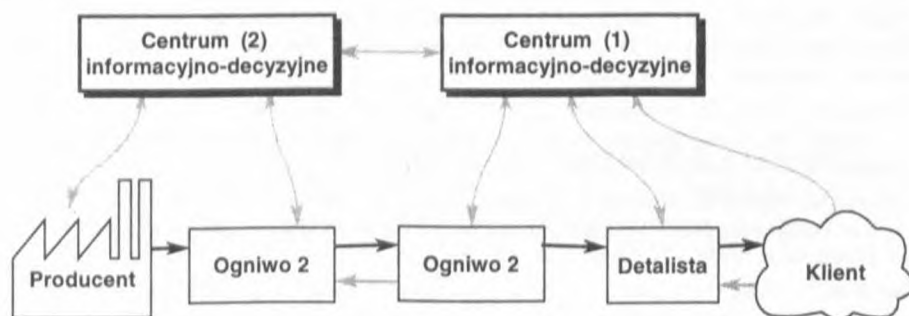
Integracja podsystemu informacyjnego łańcucha logistycznego polega na udostępnieniu przez poszczególne ogniwa danych na temat bieżącego poziomu popytu ostatniego ogniwa (rys. 4).



Rys. 4 Przepływ danych w zintegrowanym łańcuchu logistycznym
Źródło: opracowanie własne

Integracja podsystemu informacyjnego umożliwia wykorzystanie danych o popycie pochodzącym od rynku (rys. 4) przez wszystkie ogniwa łańcucha. Dane te przekazywane na bieżąco mogą być wykorzystane w procesie podejmowania decyzji w każdym ogniwie. Takie natychmiastowe przekazywanie danych zmniejsza opóźnienia (zmniejszenie efektu Forrestera), umożliwia wyprzedzające planowanie (zmniejszenie efektu Burbidge'a) oraz powoduje ograniczenie zjawisk paniki na rynku poprzez pełnię informacji (ograniczenie efektu Houlihan'a). Dalszą poprawę efektów w zintegrowanych systemach uzyskuje się poprzez optymalizację parametrów systemów decyzyjnych w poszczególnych ogniwach i włączenie do nich informacji o popycie powstałym na początku łańcucha. Algorytmy te powinny oczywiście uwzględniać strukturę i właściwości dynamiczne całego łańcucha.

Centralizacja systemu decyzyjnego w łańcuchu logistycznym polega na wydzieleniu w systemie ogniwa, które zbiera informacje z innych ogniw, przeprowadza proces decyzyjny oraz przekazuje jego rezultaty do poszczególnych ogniw łańcucha. Centralizacja łańcucha jest więc klasycznym mechanizmem sterowania systemem makrologistycznym z jednego punktu (rys. 1b). Centralizacja systemu decyzyjnego dopuszcza powstanie wielu centrów decyzyjnych, które mogą lub nie- współdziałać ze sobą (rys. 5).



Rys. 5 Dwa centra decyzyjne w scentralizowanym łańcuchu logistycznym
Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Efekt Bullwhip wnosi istotne zaburzenia w systemy logistyczne. Im dłuższy łańcuch to jego destabilizacja jest większa i przynosi więcej szkód. Uwarunkowania strukturalne efektu Bullwhip są oczywiste i jedynym sposobem zmniejszenia amplitudy wahań w systemach logistycznych jest zmiana ich struktury. Zmiana ta eliminuje przyczyny (i poszczególne składowe) efektu Bullwhip.

Źródła

1. Fawcett S.E., Magnan G.M.: *Achieving World-Class Supply Chain Alingment: Benefits, Barriers and Bridges (Report)*. Center for Advanced Purchasing Studies, Seattle Univ., Arizona, 2001.
2. Kryński J.: *Płynna optymalizacja*. W.: *Dystrybucja i zintegrowany łańcuch dostaw*. Raport ComputerWorld. Warszawa, Marzec 2002, str. 10-12.
3. Lee H.L., Padmanabhan P., Whang S.: *Information distortion in a supply chain: the Bullwhip Effect*. *Management Science*, vol. 43, 1997, pp. 543-558.
4. Towill D.R., McCullen, P.: *The impact of an agile manufacturing programme on supply chain dynamics*. *International Journal Logistics Management*, December 1999, vol. 10, No. 1, pp. 83-96.
5. Miłoz M.: *Dynamika systemów logistycznych*. *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa*, Warszawa, nr 2, 2002, str. 37-41.
6. Miłoz M., Miłoz E.: *Increasing of Logistic Networks Efficiency Using Information Technologies*. *Intern. Conference on Developments in Building Technology*. Bratislava, Slovakia, 1996, pp. 104-107.

7. Miłosz M.: *Wpływ EDI na parametry dynamiczne sieci logistycznych*. W: Electronic Data Interchange. Materiały na IV Krajową Konferencję EDI. Pod red. M.Niedźwiedzińskiego. Łódź – Arturówek, 1996, str. 130-138.
8. Miłosz M., Miłosz E., Mitraszewska I.: *Optymalizacja systemów decyzyjnych w sieciach logistycznych*. Electronic Data Interchange – Electronic Commerce. Materiały na VII Krajową Konferencję EDI-EC. Łódź-Dobieszków, 1999, str. 231-236.
9. Miłosz M., Miłosz E., Muryjas P.: *Industrial Dynamics Model for Optimisation of Logistics System Parameters*. MS'99 - International Conference on Modelling and Simulation. Santiago de Compostela, Spain, 17-19 May 1999, pp. 263-272.
10. Bonnink B.: *Projekt racjonalizacji produkcji i kontroli zapasów. Projekt "Produkcja na zamówienie"*. W.: Materiały IV Konferencji Project Management. Zarządzanie przez projekty. Warszawa, 5-6.04.2001, str. 49-58.
11. Houlihan, J.B.: *International supply chain management*. International Journal of Physical Distribution and Materials Management, Vol. 17, No. 2, 1987, pp. 51-66.