

Marzena KRAMARZ, Włodzimierz KRAMARZ  
Politechnika Śląska  
Wydział Organizacji i Zarządzania  
Instytut Zarządzania, Administracji i Logistyki  
marzena.kramarz@polsl.pl, wlodzimierz.kramarz@polsl.pl

## ELASTYCZNOŚĆ W KSZTAŁTOWANIU ODPORNOŚCI SIECI DYSTRYBUCJI

**Streszczenie.** Zakłócenia w przepływach materiałowych zwiększają się wraz ze wzrostem niepewności otoczenia łańcucha dostaw. W systemach z przeważającą dystrybucją (łańcuchy dostaw wyrobów hutniczych) ciężar odpowiedzialności za odporność łańcucha dostaw przejmują przedsiębiorstwa dystrybucyjne, które są oceniane przez klientów według kryterium skuteczności. Celem badań zaprezentowanych w artykule jest wskazanie znaczenia elastyczności zasobów we wzmacnianiu odporności sieci dystrybucji.

**Słowa kluczowe:** elastyczność, strategia zasobowa, odporność, przedsiębiorstwo flagowe

## FLEXIBILITY IN BUILDING OF RESILIENCE DISTRIBUTION NETWORK

**Abstract.** Interferences in material flows are increasing along with the increase of uncertainty. In systems with prevailing distribution (supply chains of smelting products) distribution companies are assuming the responsibility for the resilience of the supply chain. Flag enterprises of the distribution network are being assessed by customers according to the effectiveness criterion. Showing of meaning flexibilities of resource in improving resilience of distribution networks is a purpose of the article.

**Keywords:** flexibility, flag enterprise, resource strategy, resilience

### 1. Wprowadzenie

Sieć dystrybucji to struktura zbudowana z organizacji kooperujących ze sobą wzdłuż strumienia wartości dodanej (kanały dystrybucji), a także horyzontalnie. Organizacje

współdziałające w takiej strukturze różnią się od siebie wieloma elementami, w tym kompetencjami, zasobami, kulturami organizacyjnymi. Dobór przedsiębiorstw w sieci dystrybucji powinien być jednakże podporządkowany celom nadrzędnym takiej quasi-organizacji, a więc zapewnieniu dostępności dóbr zgodnie z potrzebami klientów. W niepewnym otoczeniu, przy nieustannie zmieniających się potrzebach klientów, elastyczność staje się jednym z istotnych elementów logistycznej obsługi klienta, budującym satysfakcję klientów. Celem artykułu jest zwrócenie uwagi na wrażliwość sieci dystrybucji realizujących procesy odroczonej produkcji oraz analiza odporności sieci dystrybucji budowanej na podstawie elastycznych zasobów. W pierwszej części artykułu, wskazując na podobieństwa i różnice pomiędzy organizacjami tworzącymi sieć dystrybucji, zarysowano problem wrażliwości oraz odporności. Drugą część poświęcono problemowi elastyczności, wskazując na rozróżnienie pomiędzy elastycznością operacyjną a zasobową. Badania empiryczne zrealizowano w sieci dystrybucji wyrobów hutniczych, w której badano zakłócenia oraz odchylenia w przepływach materiałowych. Badania zakłóceń prowadzone metodą dzienniczkową w wybranych obiektach pozwoliły na opracowanie algorytmów, na podstawie których prowadzono symulację w technice dynamiki systemów zarządzania.

## 2. Podobieństwa i różnice organizacji tworzących sieć dystrybucji

Współczesne dynamiczne środowisko, w którym funkcjonują organizacje tworzące kanały dystrybucji czy szerzej – łańcuchy dostaw, jest przyczyną poszukiwania sposobów wzmacniania odporności. Wrażliwość łańcucha dostaw to jego podatność na działanie czynników zakłócających przepływy materiałowe<sup>1</sup>, natomiast odporność rozumiana jest jako zdolność łańcucha dostaw do niwelowania negatywnych skutków zakłóceń i/lub redukcji zakłóceń<sup>2</sup>. Omawiając w artykule problematykę odporności oraz wrażliwości sieci dystrybucji, konieczne było czerpanie wiedzy z obszaru zarządzania łańcuchem dostaw. Zarówno problem odporności, jak i wrażliwości są zagadnieniami aktualnie silnie rozwijanymi w badaniach nad łańcuchami dostaw, jednakże brakuje prac zawężających problematykę odporności do dystrybucji, w tym zwłaszcza w ujęciu sieciowym. Wzrost relacji sieciowych, jak wskazują badania nad łańcuchami dostaw prowadzone w ostatnim dziesięcioleciu, jest szczególnie widoczny w organizacji przepływów produktów różnicowanych pod potrzeby odbiorców. Dyferencjacja produktów jest przesłanką do realizacji strategii odroczonej produkcji i źródłem poszukiwania szans na zwiększenie elastyczności. Struktura sieciowa łańcucha dostaw,

---

<sup>1</sup> Kramarz W., Kramarz M.: Accumulation knowledge about disruptions in central node of the network: models of strengthening the resilience of a network supply chain. "International Journal of Strategic Change Management", Vol. 6, No. 2, 2015.

<sup>2</sup> Kramarz W.: Modelowanie przepływów materiałowych w sieciowym łańcuchu dostaw. Odporność łańcucha dostaw wyrobów hutniczych. Difin, Warszawa 2013.

wykazywana jako szansa na zwiększenie elastyczności w realizacji zadań niestandardowych, a także wzmocnienie odporności łańcucha dostaw, może stać się także źródłem dodatkowych zakłóceń w przepływach materiałowych<sup>3</sup>. Biorąc pod uwagę potrzeby przedsiębiorstw w zakresie modelowania przepływów materiałowych i sterowania przepływami materiałowymi, ukierunkowane na wzmocnianie odporności, uzasadnione jest rozwinięcie badań nad ryzykiem i zakłóceniami w sieciach dystrybucji będących częścią sieciowych łańcuchów dostaw.

W badaniu struktur sieci dystrybucji, podobnie jak w przypadku badania struktury sieci dostaw, można stosować miary wyprowadzone zarówno z teorii grafów, jak również z teorii sieci społecznych. Najczęściej w analizie relacji w sieciach spotyka się podejście do ich oceny ze względu na częstotliwość interakcji, koszt komunikacji, a także stopień złożoności relacji, którego miarą jest stopień formalizacji współpracy<sup>4</sup>. Mało uwagi w dotychczasowych badaniach poświęca się takim atrybutom sieci, jak podobieństwo organizacji, a więc problemowi homofilii i heterofilii. Homofilia to w naukach społecznych tendencja do łączenia się z ludźmi o podobnych cechach (statusie, zainteresowaniach, przekonaniach, itp.). Homofilia prowadzi do powstawania homogenicznych grup, w których tworzenie związków jest łatwe. Przeniesienie tych pojęć na grunt nauk o zarządzaniu wymaga zdefiniowania perspektywy oceny podobieństwa pomiędzy organizacjami. Stopień podobieństwa może być wyznaczany poprzez analizę strategii organizacji tworzących sieć, kultury organizacyjnej czy też sposobu zarządzania organizacjami. Inną możliwością jest ocena podobieństwa posiadanych zasobów materialnych, kompetencji, a w konsekwencji rynku odbiorców. Problem podobieństwa organizacji mieści się w zagadnieniu bliskości międzyorganizacyjnej<sup>5</sup>. Tym samym homogeniczne względem siebie organizacje wytwarzają oraz dostarczają produkty i usługi na te same rynki, natomiast heterogeniczne organizacje, dysponując innymi zasobami materialnymi oraz kompetencjami i kluczowymi zdolnościami, wytwarzają oraz dostarczają inne produkty i usługi na różne rynki, w związku z czym organizacje te nie są względem siebie konkurentami. Druga z wymienionych perspektyw analizy podobieństwa między organizacjami pozwala na rozróżnienie sieci tworzonych w celu pozyskiwania od partnerów zasobów substytucyjnych oraz zasobów komplementarnych. Tak więc w tym rozumieniu sieci homogeniczne pozwalają na zwiększenie geograficznego zasięgu oddziaływania i reakcję na wzrost popytu i elastyczne reagowanie na zmiany wielkości zamawianych partii. Natomiast sieci heterogeniczne są szansą na tworzenie nowych, innowacyjnych produktów i usług oraz elastyczne reagowanie na niestandardowe pod względem cech produktu zamówienia klienta.

Tanrioverdi i Venkatraman zauważają, że ekonomiczne korzyści kombinacji zasobów dwóch firm, przy założeniu ich kompatybilności, wykazywane są dla obydwu opcji kombinacji:

---

<sup>3</sup> Ibidem.

<sup>4</sup> Kramarz M.: Strategie adaptacyjne przedsiębiorstw flagowych sieci dystrybucji z odroczonej produkcją. Dystrybucja wyrobów hutniczych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012.

<sup>5</sup> Czakon W.: Hipoteza bliskości. „Przegląd Organizacji”, nr 9, 2010; Klimas P.: Sieci innowacji. Implikacje bliskości organizacyjnej. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Katowice 2014.

zasobów podobnych (homogenicznych) i komplementarnych zasobów (heterogenicznych). Wang i Zajac argumentują natomiast, że zarówno zasoby komplementarne, jak i substytucyjne są ważne w kształtowaniu relacji sieciowych. Podobieństwo i komplementarność pomiędzy dwoma firmami pociągają za sobą niewielkie różnice w podejmowaniu decyzji o formie relacji międzyorganizacyjnych (począwszy od różnych form kształtowania aliansu aż do częściowego lub całkowitego nabycia drugiej organizacji). Fundamentalnym warunkiem kombinacji zasobów dwóch firm jest generowanie synergii. Synergia odnosi się do warunku, gdzie kombinacja zasobów dwóch firm jest potencjalnie bardziej efektywna niż stan, w którym każda firma operuje zasobami niezależnie.

Wang i Zajac wskazali, że podobieństwo zasobowe sprzyja przejęciom, co umożliwia ograniczenie konkurencji i związane jest z mniejszą asymetrią informacji. Komplementarność zasobów natomiast sprzyja aliansom umożliwiającym w miarę zmian rynkowych bycie elastycznym i zmianę partnerów, a co za tym idzie – dynamiczną kombinację zasobów. Dla takiego właśnie założenia w niniejszym artykule zbudowano model realizacji zamówienia klienta w sieci dystrybucji wyrobów hutniczych z odroczoną produkcją, analizując odporność systemu, w którym przedsiębiorstwo flagowe sieci dystrybucji dysponuje elastycznym zasobem i buduje relacje sieciowe z kooperantem dysponującym zasobem komplementarnym dedykowanym. Przedsiębiorstwem centralnym w takiej strukturze sieciowej jest centrum serwisowe (dystrybutor realizujący zadania odroczonej produkcji). Przegląd literatury pozwolił także na przyjęcie założenia, że współdziałanie pomiędzy dwoma organizacjami w sieci wpływa na całą sieć. Tym samym w modelu zawężono opracowanie algorytmu dla dwóch, heterogenicznych pod względem zasobów, współdziałających w sieci organizacji, natomiast wynik, jakim jest niezawodnie zrealizowane zamówienie, odnosi się do skuteczności całej sieci.

### **3. Elastyczność zasobów jako koncepcja wzmocnienia odporności sieci dystrybucji**

Poprzez zastosowanie perspektywy sieciowej organizacje mogą rozwijać zasoby według potrzeb rynku<sup>6</sup> i wychwytywać szanse z otoczenia<sup>7</sup>. Uszczegółowione w badaniach kluczowe zasoby dystrybutorów wyrobów hutniczych, w tym magazyny oraz infrastruktura związana z realizacją zadań odroczonej produkcji, wymagają określenia cech charakteryzujących te zasoby. W literaturze rozpatrywane są głównie takie atrybuty zasobów, jak:<sup>8</sup>

---

<sup>6</sup> Grant R.M.: *Contemporary Strategy Analysis: Concepts Techniques, Applications*. Blackwell, Oxford 2002, p. 307.

<sup>7</sup> Krupski R. (red.): *Elastyczność organizacji*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Wrocław 2008.

<sup>8</sup> Pfohl H.Ch., Elbert R., Zuber Ch., Dangelmaier W., Blecken A., Rüngener M. (eds.): *Methoden und Instrumente für die robuste Planung von Produktionsprozessen im Wertschöpfungsprozess, [in:] Nachhaltigkeit in flexiblen Produktions- und Liefernetzwerken*. Münster 2009, S. 307-321.

- przepustowość/zdolność produkcyjna,
- rzadkość<sup>9</sup>,
- komplementarność i substytucyjność,
- elastyczność (uniwersalność) i specjalizacja (dedykowalność) zasobów.

Istotnymi atrybutami zasobów, rozważanymi w niniejszym artykule, są elastyczność (uniwersalność) i specjalizacja (dedykowalność). Problem elastyczności w różnych kontekstach, zarówno organizacyjnych jak i zasobowych, jest szeroko omawiany w literaturze zarządzania operacyjnego. W artykule przeprowadzono analizę literatury z zakresu elastyczności łańcucha dostaw, którego częścią jest sieć dystrybucji.

Chan, Wang, Luong, Chan podkreślają, że strategie elastyczności łańcucha dostaw zmierzają do tworzenia różnych opcji, scenariuszy i możliwych dróg realizacji złożonych celów logistycznych poprzez kształtowanie zróżnicowanych relacji pomiędzy wieloma organizacjami w sieci współpracy. Elastyczność w organizacji przepływów w łańcuchu dostaw ma ograniczać niepewność i negatywne skutki wahań popytu.

Elastyczność w dostarczanej ilości produktów definiowana jest często jako elastyczność ilościowa (*quantity flexibility*) natomiast elastyczność pod względem formy produktu jako elastyczność jakościowa (*quality flexibility*) lub produktowa (*product flexibility*). Chan i Chan podkreślają, że jeśli do elastyczności ilościowej i/lub produktowej dołączona zostanie elastyczność pod względem czasu realizacji zamówienia, wówczas zarówno dostawca, jak i klient będą mogli zmniejszyć negatywne skutki wahań popytu i niepewności w dostawach. Podobne założenia uwzględniają w swoich badaniach Yi, Nagai, Moon, podkreślając, że wiele wyzwań pojawiających się przed przedsiębiorstwami w zintegrowanych łańcuchach dostaw w związku z burzliwym, niepewnym otoczeniem, może być podejmowana dzięki ukształtowanym relacjom z wieloma dostawcami, konkurencyjnymi organizacjami produkcyjnymi lub złożonej sieci dystrybucji. W rezultacie jednakże pojawia się więcej źródeł niepewności, takich jak: czas realizacji dostawy związany z dostępnością zasobów kooperanta, potrzeby rynkowe, jakość produktu, przepływy informacji. Tym samym nie ma prostej odpowiedzi na pytanie, czy wzrost relacji sieciowych na poziomie zaopatrzenia, produkcji czy dystrybucji zapewni wzmocnienie odporności łańcucha dostaw.

Sanchez R. dowodzi, że elastyczność przedsiębiorstw może być budowana przez elastyczność zasobów dzięki możliwości wykorzystywania zasobów do różnych alternatywnych działań. Silną bazą definiowania różnych płaszczyzn elastyczności są badania prowadzone przez M. Portera<sup>10</sup>, które uwzględniają także znaczenie elastyczności dla

---

<sup>9</sup> Baker P.: Designing distribution centers for agile supply chains. "International Journal of Logistics: Research and Applications", Vol. 9, No. 3, September 2006, p. 207-221.

<sup>10</sup> Porter M.: Competitive advantage: Creating and Sustaining Superior Performance. The Free Press, New York 1985; Porter M.: Competitive Strategy: Techniques for Analysing Industries and Competitors. The Free Press, New York 1980.

przedsiębiorstw realizujących strategię dyferencjacji<sup>11</sup>. Podobne podejście prezentują w swoich badaniach Zhang Q. et al. oraz Baker P., którzy podkreślają, że atrybut elastyczności zasobów staje się krytyczny dla zapewnienia realizacji zmiennych potrzeb odbiorców. W zależności od typu łańcucha dostaw i typu produktu zdolności związane z elastycznym reagowaniem na zmiany popytowe mogą być zlokalizowane na poziomie centrów logistycznych, przedsiębiorstw produkcyjnych bądź w innych węzłach łańcucha dostaw, w tym w przedsiębiorstwach dystrybucyjnych. W przypadku branży hutniczej lokalizacja ta związana jest z realizacją strategii odroczonej produkcji, za którą odpowiedzialne są centra serwisowe i zbrojarnie.

Z perspektywy problematyki dystrybucji z odroczoną produkcją oraz zasobów, które zostały wybrane do dalszej analizy i badań (magazyny wraz z infrastrukturą dodatkową, umożliwiającą dostosowanie produktu do potrzeb klienta), atrybut elastyczności i dedykowalności zasobu uznano jako niezwykle istotny. Infrastruktura przetwórcza w takim węźle jak przedsiębiorstwo flagowe sieci dystrybucji z odroczoną produkcją, może być elastyczna, umożliwiającą realizację zamówień różnych segmentów odbiorców, lub dedykowana konkretnemu segmentowi. Jednocześnie węzły mogą specjalizować się w realizacji zadań substytucyjnych bądź komplementarnych w stosunku do innych ogniw sieci. W badaniach elastyczność zasobów wyznaczono zgodnie z oceną realizacji przez zasób operacji umożliwiających dostosowanie bazowego produktu pod potrzeby różnych segmentów odbiorców. Wskaźnik elastyczności zasobu uzależniony jest więc od ilości segmentów, do których potrzeb dany zasób jest w stanie dostosować produkt. Jest to zarazem wymiar możliwego stopnia różnicowania produktu.

Elastyczność i dedykowalność zasobów analizowana jest także w badaniach Mitsuhashi H., Greve H., którzy w decyzjach inwestycyjnych uwzględniają zachowania konkurencji. Model Mitsuhashi-Greve dotyczy dwóch przedsiębiorstw podejmujących decyzje dotyczące technologii, gdzie firmy nie prowadzą gry kooperacyjnej, a wyłącznie konkurencyjną. Mitsuhashi H., Greve H. w swoim modelu wskazują, że w pierwszym etapie każda firma może inwestować w elastyczną technologię, co pozwala na wytwarzanie obydwu produktów na tej samej linii produkcyjnej lub w dedykowane technologie dla każdego produktu osobno. Wybór technologii następuje w pierwszym etapie. Na tym etapie w procesie decyzyjnym uwzględniane są decyzje inwestycyjne konkurenta. W drugim etapie firma inwestuje w zdolności produkcyjne wymagane przez obydwa produkty (albo elastyczne zdolności dla obydwu produktów albo dedykowane dla każdego produktu osobno). W badaniach tych autorzy brali pod uwagę jednostkowe koszty zakupu elastycznego i dedykowanego zasobu. Ostatni etap to dobór ilości wytwarzanych produktów w czasie (gra produkcyjna).

---

<sup>11</sup> Roberts N., Stockport G.: Defining strategic flexibility. „Global Journal of Flexible Systems Management”, Vol. 10, No. 1, 2009, p. 27-32.

Przytoczone dyskusje literaturowe w modelu badawczym w rozdziale 3 uzupełnione są o dodatkową opcję zwiększenia elastyczności – pozyskiwanie zasobu w wyniku współpracy sieciowej. Założono, że kiedy produkcyjno-logistyczne zasoby organizacji są niewystarczające do kompleksowej realizacji zadań w czasie akceptowanym przez klientów, międzyorganizacyjna kombinacja zasobów staje się atrakcyjnym sposobem zwiększenia poziomu logistycznej obsługi klienta, także poprzez unikatowe usługi, które w ten sposób można realizować.

#### **4. Elastyczność zasobów w sieciowym łańcuchu dostaw wyrobów hutniczych**

Wariant elastyczności zasobu nawiązuje zwłaszcza do badań prowadzonych przez Goyal i Netessine. Autorzy w decyzjach strategicznych dotyczących elastyczności zasobu, rozważają cztery efekty: rozmiaru rynku, substytucyjności produktowej, stochastyczny i kosztowy. Dowodzą, iż w wyniku agresywnych działań konkurencji wartość uzyskiwana dzięki opóźnionej dyferencjacji może być ograniczona, co powoduje, że bardziej wartościowa staje się wczesna dyferencjacja, która pociąga za sobą zyski strategiczne.

W wariacie strategicznym elastycznych zasobów założono, że kształtowanie relacji sieciowych przez flagowego dystrybutora realizującego zadania odroczonej produkcji związane jest głównie z poszukiwaniem partnerów posiadających rzadkie zasoby, kompatybilne z zasobami przedsiębiorstwa centralnego. Przedsiębiorstwo flagowe sieci dystrybucji dysponuje zasobem elastycznym o określonej zdolności produkcyjnej, o stałym stopniu elastyczności. Kooperant dysponuje zasobem dedykowanym, realizującym zadania odroczonej produkcji dla jednego wariantu produktu. Relacje z podwykonawcą są silne, długookresowe, sformalizowane poprzez umowę kooperacyjną.

Każda firma jest skłonna do wzrostu wydatków w elastyczne zdolności produkcyjne zgodnie ze wzrostem niepewności potrzeb. Kiedy niepewność potrzeb jest niska, firmy będą podejmować decyzje o inwestycjach w dedykowane zasoby, które są tańsze. W badaniach prezentowanych w artykule zmieniono założenie dotyczące czysto konkurencyjnego nastawienia dwóch firm proponowane przez Goyal, Netessine. Przyjęto bowiem założenie, że przedsiębiorstwa podejmują kooperację, tym samym istotne staje się wyznaczenie stopnia elastyczności zasobu, który posiada przedsiębiorstwo bazowe (flagowy dystrybutor) i zakresu zadań realizowanych w oparciu o podwykonawstwo (uwzględniając zasoby partnera w sieci).

Jednocześnie uwzględniono relacje wskazane przez Goyal, Netessine, a także Mitsuhashi, Greve pomiędzy kosztami elastycznych i dedykowanych zasobów. Dodatkowo konieczne było uwzględnienie kosztów logistycznych związanych z kooperacją (w tym kosztów

magazynowania i cyklu transportowego pomiędzy przedsiębiorstwem flagowym a podwykonawcą).

Wyniki pomiarów procesów realizowanych w przedsiębiorstwie flagowym i analiz branżowych danych statycznych pozwoliły na przyjęcie następujących dodatkowych założeń uwzględnionych w modelu symulacyjnym:

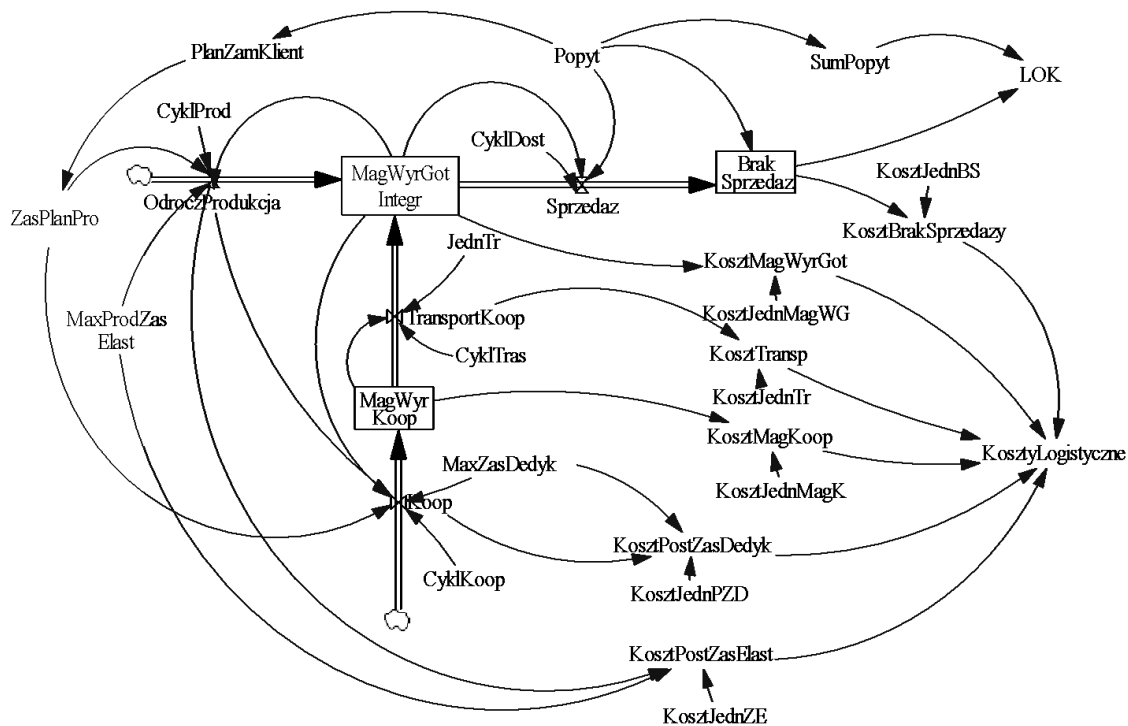
- Wraz ze wzrostem elastyczności maszyny wzrasta czas realizacji operacji, a także koszt związany z jej nabyciem.
- Zmniejszanie stopnia elastyczności maszyny pociąga za sobą rozbudowę relacji kooperacyjnych, a nie rezygnację z części zleceń.
- Zaprezentowane wyniki eksperymentów dotyczą średnich wahań popytu w granicach do 50%.
- Zasobowo-asortymentowy plan produkcji uwzględnia codzienne obciążenie maszyny uwzględniające skumulowany plan produkcji wytwarzania różnych wariantów produktu.

W modelu, który z założenia upraszcza problem decyzyjny do kryteriów analizowanych w artykule, uwzględniono koszty logistyczne związane z transportem produktów od kooperanta na magazyn wyrobów gotowych przedsiębiorstwa flagowego, koszty magazynowania wyrobów gotowych w przedsiębiorstwie bazowym, a także koszty postoju zasobu w tym przedsiębiorstwie.

Zastosowanie dynamiki systemów pozwala na wskazanie zmienności badanych parametrów w zależności od wahań popytu, przy jednoczesnym wykazaniu pętli sprzężeń zwrotnych (rys. 1).

Eksperymenty symulacyjne miały na celu analizę ograniczeń skuteczności strategii elastycznych zasobów, wskazując siłę wahań popytu oraz siłę zakłóceń stanowiących progowe wartości skuteczności tego wariantu strategicznego. Proces decyzyjny polegał na tym, że przy wysokim poziomie wskaźnika logistycznej obsługi klienta (powyżej 0,95) starano się wybrać wariant decyzyjny zapewniający najniższe koszty. Przeprowadzono 9 eksperymentów symulacyjnych, różnicując wahania popytu oraz siłę zakłóceń wewnętrznych systemu (wyniki zaprezentowano w tab. 1).





Gdzie układ zmiennych tworzą:

Magazyn wyrobów gotowych – MagWyrGot; Brak sprzedaży – BrakSprzedaz; Magazyn wyrobów u kooperanta – MagWyrKoop; Logistyczna obsługa klienta – LOK; Popyt – zamówienia na różne warianty produktu; Sumaryczny popyt – sumPopyt; Cykl dostaw – CyklDost; Sprzedaż, Odroczona produkcja – OdroczProdukcja; Planowane zamówienia klientów – PlanZamKlient; Cykl produkcyjny – CyklProd; Asortymentowo-zasobowy plan produkcji – ZasPlanProd (plan produkcji z uwzględnieniem wariantów produktu); Maksymalne zdolności produkcyjne = MaxProdZasElast; Maksymalne zdolności produkcyjne zasobu dedykowanego u kooperanta – MaxZasKoop; Cykl transportowy – CyklTras; Jednostka transportowa – JednTr; Transport pomiędzy przedsiębiorstwem flagowym a podwykonawcą – TransportKoop; Cykl kooperanta (podwykonawcy) – CyklKoop; Koszty logistyczne – KosztLogistyczne.

Koszty magazynowania wyrobów gotowych – KosztMagWyrGot; Jednostkowe koszty magazynowania wyrobów gotowych – JednKosztMagWyrGot; Koszty transportu – KosztTras; Jednostkowy koszt transportu – JednKosztTras; Koszt utraconej sprzedaży – KosztBrakSprzed; Koszt jednostkowy utraconej sprzedaży – JednKosztBS; Koszt magazynowania wyrobów u kooperanta – KosztMagWyrKoop; Jednostkowy koszt magazynowania u kooperanta – JednKosztWyrK; Koszt postoiu zasobu dedykowanego u kooperanta – KosztPostZasDed; Jednostkowy koszt niewykorzystania mocy produkcyjnych zasobu dedykowanego kooperanta – JednKosztPZD; Koszt postoiu zasobu elastycznego w materiałowym punkcie rozdziału – KosztPostZasEl; Jednostkowy koszt niewykorzystania mocy produkcyjnych zasobu elastycznego u kooperanta – KosztJednZE.

Rys. 1. Model symulacyjny dla wariantu wzmocnienia odporności poprzez elastyczne zasoby

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 1

## Wyniki eksperymentów symulacyjnych

| <b>Eksperyment</b> | <b>Założenia</b>  | <b>Postępowanie</b>  | <b>Wynik</b>   |
|--------------------|---|--|--|
| <b>I</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zasób elastyczny w przedsiębiorstwie flagowym o maksymalnych zdolnościach produkcyjnych 70 tys. ton</li> <li>- Zasób dedykowany podwykonawcy o maksymalnej, udostępnionej mocy produkcyjnej 30 tys. ton</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Silne wahania popytu, (60 tys. ton – 100 tys. ton)</li> <li>- Średnia wielkość składanych zamówień poniżej możliwości wykonawczych całego systemu (łącznie zdolność produkcyjna przedsiębiorstwa i podwykonawcy)</li> <li>- Występują zakłócenia wewnętrzne w systemie</li> </ul>                       | Efekt: Tak skonfigurowane zdolności produkcyjne dają w efekcie wysoki poziom logistycznej obsługi klienta na poziomie 0,97, przy jednoczesnych niskich kosztach logistycznych.   |
| <b>II</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zasób elastyczny w przedsiębiorstwie flagowym o maksymalnych zdolnościach produkcyjnych 70 tys. ton</li> <li>- Zasób dedykowany podwykonawcy o maksymalnej, udostępnionej mocy produkcyjnej 30 tys. ton</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nieznaczne wahania popytu, (75 tys. ton – 95 tys. ton)</li> <li>- Średnia wielkość składanych zamówień zbliża się do granicznych możliwości wykonawczych całego systemu (łącznie zdolność produkcyjna przedsiębiorstwa i podwykonawcy)</li> <li>- Występują zakłócenia wewnętrzne w systemie</li> </ul> | Wzrost popytu, pomimo nieznacznych jego wahań, spowodował spadek poziomu logistycznej obsługi klienta do 0,9, przy jednoczesnym silnym wzroście kosztów logistycznych. Założona konfiguracja mocy produkcyjnych przy średnim popycie zbliżającym się do granicznych możliwości systemu powoduje, że system wykazuje wrażliwość na zakłócenia, co objawia się spadkiem poziomu logistycznej obsługi klienta do dopuszczalnego, granicznego poziomu. Jednak nadal poziom ten, wynoszący 0,9 jest wysoki, ale wygładzanie zakłóceń spowodowało wzrost kosztów logistycznych.                                |
| <b>III</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zasób elastyczny w przedsiębiorstwie flagowym o maksymalnych zdolnościach produkcyjnych 70 tys. ton</li> <li>- Zasób dedykowany podwykonawcy o maksymalnej, udostępnionej mocy produkcyjnej 30 tys. ton</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nieznaczne wahania popytu, (70 tys. ton – 90 tys. ton)</li> <li>- Średnia wielkość składanych zamówień niższa niż moce wytwórcze systemu (łącznie zdolność produkcyjna przedsiębiorstwa i podwykonawcy)</li> <li>- Uwzględniono zakłócenia w systemie</li> </ul>  | Mniejszy popyt, o nieznacznych waniach dla bazowej konfiguracji zasobów, pozwala na uzyskanie wyższego poziomu logistycznej obsługi klienta (wzrost do 0,95) przy jednoczesnym spadku kosztów logistycznych. Eksperymenty 2 i 3 pokazują wrażliwość badanego systemu. Różnice pomiędzy średnim popytem w eksperymentach są nieznaczne, powodują jednak istotne zmiany zarówno w poziomie logistycznej obsługi klienta (eksperyment 2 = 0,90; eksperyment 3 = 0,95), jak i kosztach logistycznych (spadek kosztów logistycznych w eksperymencie 3 w stosunku do kosztów logistycznych w eksperymencie 2). |

cd. tabeli 1

|            |   |  |  |
|------------|---|--|--|
| <b>IV</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zasób elastyczny w przedsiębiorstwie flagowym o maksymalnych zdolnościach produkcyjnych 70 tys. ton</li> <li>- Zasób dedykowany podwykonawcy o maksymalnej, udostępnionej mocy produkcyjnej 30 tys. ton</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nieznaczne wahania popytu, (70 tys. ton – 90 tys. ton)</li> <li>- Średnia wielkość składanych zamówień nieznacznie zbliża się do granicznych możliwości wykonawczych całego systemu (łączna zdolność produkcyjna przedsiębiorstwa i podwykonawcy)</li> <li>- Brak zakłóceń wewnętrznych w systemie</li> </ul> | <p>Poziom logistycznej obsługi klienta jest wysoki i wynosi 0,96, natomiast koszty logistyczne są na niskim poziomie. Porównując wyniki eksperymentów 3 i 4, można stwierdzić, że dla takiego średniego poziomu popytu (takiego samego w obydwu eksperymentach), przy niewielkich jego wahaniami, system wykazuje dużą odporność. Poziom logistycznej obsługi klienta po pojawieniu się zakłóceń nieznacznie tylko spada (z 0,96 do 0,95) natomiast koszty logistyczne wzrastają ze względu na uruchomienie mechanizmów wygładzania zakłóceń, takich jak transport nadzwyczajny.</p> |
| <b>V</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zasób elastyczny przedsiębiorstwie flagowym o maksymalnych zdolnościach produkcyjnych 70 tys. ton</li> <li>- Zasób dedykowany podwykonawcy o maksymalnej, udostępnionej mocy produkcyjnej 30 tys. ton</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wahania popytu, (70 tys. ton – 90 tys. ton)</li> <li>- Średnia wielkość składanych zamówień zbliża się do granicznych możliwości wykonawczych całego systemu (łączna zdolność produkcyjna przedsiębiorstwa i podwykonawcy)</li> <li>- Brak zakłóceń wewnętrznych w systemie</li> </ul>                        | <p>System w tym przedziale zmienności popytu jest również bardzo odporny na występowanie zakłóceń. Logistyczna obsługa klienta kształtuje się na poziomie 0,96. Porównując wyniki uzyskane w eksperymencie 5 z wynikami eksperymentu 3, który dotyczył tego samego przedziału popytu, ale ujmował zakłócenia w systemie, można stwierdzić, że logistyczna obsługa klienta po uwzględnieniu zakłóceń zmniejsza się nieznacznie, a koszty logistyczne nieznacznie wzrastają.</p>   |
| <b>VI</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zasób elastyczny w przedsiębiorstwie flagowym o maksymalnych zdolnościach produkcyjnych 70 tys. ton</li> <li>- Zasób dedykowany podwykonawcy o maksymalnej, udostępnionej mocy produkcyjnej 30 tys. ton</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wahania popytu, (60 tys. ton – 80 tys. ton)</li> <li>- Średnia wielkość składanych zamówień znacznie mniejsza od mocy wytwórczych systemu (łączna zdolność produkcyjna przedsiębiorstwa i podwykonawcy)</li> <li>- Brak zakłóceń wewnętrznych w systemie</li> </ul>   | <p>Przy niskim popycie i braku zakłóceń system osiąga bardzo wysoki poziom logistycznej obsługi klienta = 0,98 przy najniższych kosztach logistycznych.</p>  |
| <b>VII</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zasób elastyczny w przedsiębiorstwie flagowym o maksymalnych zdolnościach produkcyjnych 70 tys. ton</li> <li>- Zasób dedykowany podwykonawcy o maksymalnej, udostępnionej mocy produkcyjnej 30 tys. ton</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zwiększone wahania popytu, (60 tys. ton – 90 tys. ton)</li> <li>- Średnia wielkość składanych zamówień mniejsza do granicznych możliwości wykonawczych całego systemu</li> <li>- Występują zakłócenia wewnętrzne w systemie</li> </ul>  | <p>System nadal jest odporny na zakłócenia wewnętrzne i utrzymuje bardzo wysoki poziom logistycznej obsługi klienta = 0,97 przy bardzo niskich kosztach logistycznych.</p>   |

cd. tabeli 1

|             |   |   |  |
|-------------|---|---|--|
| <b>VIII</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zasób elastyczny w przedsiębiorstwie flagowym o zdolnościach produkcyjnych 70 tys. ton</li> <li>- Zasób dedykowany podwykonawcy o maksymalnej, udostępnionej mocy produkcyjnej 30 tys. ton</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zwiększone wahania popytu, (60 tys. ton – 90 tys. ton)</li> <li>- Średnia wielkość składanych zamówień mniejsza do granicznych możliwości wykonawczych całego systemu</li> <li>- Brak zakłóceń wewnętrznych w systemie</li> </ul>    | System przy zwiększonych waniach popytu wykazuje odporność gdyż niezależnie od występowania i natężenia zakłóceń nie zmienia się poziom logistycznej obsługi klientów oraz kosztów logistycznych. Nadwyżka zdolności produkcyjnych przy uwzględnieniu stałej współpracy z podwykonawcą zapewniają wygładzenie zakłóceń.                          |
| <b>IX</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zasób elastyczny w przedsiębiorstwie flagowym o maksymalnych zdolnościach produkcyjnych 70 tys. ton</li> <li>- Zasób dedykowany podwykonawcy o maksymalnej, udostępnionej mocy produkcyjnej 30 tys. ton</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Silne wahania popytu, (70 tys. ton – 100 tys. ton)</li> <li>- Średnia wielkość składanych zamówień zbliża się do granicznych możliwości wykonawczych całego systemu</li> <li>- Występują zakłócenia wewnętrzne w systemie</li> </ul> | Wzrost popytu, przy jednoczesnych silnych waniach spowodował silny spadek poziomu logistycznej obsługi klienta do 0,85, przy jednoczesnym bardzo silnym wzroście kosztów logistycznych. Są to progowe parametry, które powodują, że system traci odporność a przedsiębiorstwo flagowe powinno poszukiwać innego wariantu wzmocnienia odporności. |

Źródło: Opracowanie własne.

Przeprowadzone eksperymenty udowodniły, że strategia wzmocnienia odporności poprzez elastyczne zasoby jest skuteczna przy nieznacznych waniach popytu lub przy popycie o znacznych waniach, ale średniej jego wartości, na poziomie znacznie niższym niż całkowite moce wytwórcze systemu. Dla takich parametrów system złożony z elastycznego zasobu będącego własnością przedsiębiorstwa flagowego oraz dedykowanego zasobu będącego własnością podwykonawcy, nie reaguje silnym spadkiem poziomu logistycznej obsługi klienta i wzrostem kosztów logistycznych po pojawieniu się zakłóceń.

## 5. Wnioski

W omówionym wariantcie wzmocnienia odporności (poprzez elastyczne zasoby) proces sterowania przepływami przez przedsiębiorstwo flagowe polega na utrzymywaniu stosunkowo wysokich mocy produkcyjnych na poziomie centrum serwisowego i uzupełniania ich mocą dedykowaną u kooperanta. Przedsiębiorstwo flagowe posiada zasób elastyczny umożliwiający różnicowanie produktu bazowego zgodnie ze zróżnicowanymi potrzebami odbiorców. W razie wzrostu zapotrzebowania część operacji związanych z wytwarzaniem jednego wariantu produktu kierowana jest do podwykonawcy, zasób elastyczny realizuje wówczas zamówienia na drugi wariant. W ten sposób zaprojektowany system jest w stanie reagować na zmiany popytu zarówno sumarycznego, jak i poszczególnych wariantów produktu, a także na

zakłócenia w przepływach materiałowych nieznacznie tylko wzmacniane współpracą z podwykonawcą. Sterowanie w takim systemie polega na śledzeniu zapotrzebowania na wyroby gotowe, kształtowaniu poziomu zapasu wyrobów bazowych na podstawie prognoz sumarycznych, ujmujących wszystkie warianty produktu i uruchamianiu produkcji w przedsiębiorstwie flagowym i u kooperanta, w zależności od rzeczywistego zapotrzebowania na poszczególne warianty. Jest to model sterowania oparty na ssaniu, w którym impulsem do realizacji operacji różnicowania produktu (opóźnionej dyferencjacji) są rzeczywiste potrzeby odbiorców. Nadmiar mocy wytwórczej i elastyczność systemu powodują możliwość szybkiej reakcji na zmienność popytu. System wykazuje wysoką odporność na średni poziom zakłóceń.

## Bibliografia

1. Baker P.: Designing distribution centers for agile supply chains. "International Journal of Logistics: Research and Applications", Vol. 9, No. 3, September 2006.
2. Chan H.K., Wang Y.C., Luong Lee H.S., Chan Felix T.S.: Flexibility and adaptability in supply chains: a lesson learnt from a practitioner. "Supply Chain Management: An International Journal", Vol. 14, No. 6, 2009.
3. Czakon W.: Hipoteza bliskości. "Przegląd Organizacji", nr 9, 2010.
4. Goyal M., Netessine S.: Strategic technology choice and capacity investment under demand uncertainty. "Management Sci", No. 53(2), 2007.
5. Grant R.M.: Contemporary Strategy Analysis: Concepts Techniques, Applications. Blackwell, Oxford 2002.
6. Klimas P.: Sieci innowacji. Implikacje bliskości organizacyjnej. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Katowice 2014.
7. Kramarz W., Kramarz M.: Accumulation knowledge about disruptions in central node of the network: models of strengthening the resilience of a network supply chain. "International Journal of Strategic Change Management", Vol. 6, No. 2, 2015.
8. Krupski R. (red.): Elastyczność organizacji. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Wrocław 2008.
9. Mitsuhashi H., Greve H.: A matching theory of alliance formation and organizational sukces: complementarity and compability. "Academy of Management Journal", Vol. 52, No. 5, 2009.
10. Pfohl H.Ch., Elbert R., Zuber Ch., Dangelmaier W., Blecken A., Rüngener M. (eds.): Methoden und Instrumente für die robuste Planung von Produktionsprozessen im Wertschöpfungssystem, [in:] Nachhaltigkeit in flexiblen Produktions- und Liefernetzwerken. Münster 2009.
11. Porter M.: Competitive advantage: Creating and Sustaining Superior Performance. The Free Press, New York 1985.

12. Porter M.: *Competitive Strategy: Techniques for Analysing Industries and Competitors*. The Free Press, New York 1980.
13. Roberts N., Stockport G.: Defining strategic flexibility. „Global Journal of Flexible Systems Management”, Vol. 10, No. 1, 2009.
14. Sanchez R.: Strategic flexibility in product competition. “Strategic Management Journal”, Vol. 16, 2005.
15. Tanriverdi H., Rai A., Venkatraman N.: Research Commentary: Reframing the dominant quest of information systems strategy research for Complex Adaptive Business Systems. “Information Systems Research”, Vol. 21, No. 4, 2010.
16. Wang L., Zajac E.J.: Alliance or acquisition? A dyadic perspective on interfirm resource combinations. “Strategic Management Journal”, No. 28, 2007.
17. Yi C., Nagai W., Moon K.: Supply chain flexibility in an uncertain environment: exploratory findings from five case studies. Supply Chain Management. “An International Journal”, No. 16(4), 2011.
18. Zhang Q., Vonderembse M.A., Lim J.S.: Manufacturing flexibility: Defining and analyzing relationships among competence, capability, and customer satisfaction. “Journal of Operations Management”, No. 21, 2003.