

Włodzimierz KRAMARZ  
Politechnika Śląska  
Wydział Organizacji i Zarządzania  
Instytut Zarządzania, Administracji i Logistyki  
wkramarz@polsl.pl

## STRATEGIA PODWYKONAWSTWA W BUDOWANIU ODPORNOŚCI ŁAŃCUCHA DOSTAW

**Streszczenie.** Celem badań zaprezentowanych w artykule jest wskazanie wpływu podwykonawstwa zadań w zakresie odroczonej produkcji na zakłócenia w przepływach materiałowych. Rozważano czy wzrost relacji sieciowych jest czynnikiem wspomagającym budowanie odporności łańcucha dostaw czy zwiększa wrażliwość łańcucha dostaw na zakłócenia. Badania zrealizowano w łańcuchu dostaw wyrobów hutniczych.

**Słowa kluczowe:** podwykonawstwo, odroczonej produkcja, odporność, łańcuch dostaw

## SUBCONTRACTING STRATEGY IN DESIGN OF RESILIENCE OF SUPPLY CHAIN

**Abstract.** Indicating the influence of the subcontracting of tasks in the postponed production for disruptions in material flows is a purpose of the article. They were considering whether the height of network relations was a factor assisting building the resilience of the supply chain whether is increasing the sensitivity of the supply chain on disruptions. Examinations were carried out in the supply chain of smelting products.

**Keywords:** subcontracting, postponed production, supply chain, resilience

### 1. Wprowadzenie

Odporność jest jednym z wiodących aktualnie w literaturze obszarów badawczych nie tylko w zakresie łańcucha dostaw, ale także w sieci dostaw i sieci logistycznych. Taki wzrost zainteresowania odpornością jest wynikiem wzrostu wrażliwości łańcuchów dostaw, a więc ich

podatności na różnego typu czynniki zakłócające. Wzrost wrażliwości łańcucha dostaw wynika z nieprzewidywalność czynników zakłócających przepływy materiałowe, a więc z dynamicznych zmian w otoczeniu łańcuchów dostaw. Jednakże jednym z tych czynników wskazywanych w literaturze jest zwiększenie złożoności struktury łańcucha dostaw. Zwinność łańcucha, która pozwala na skrócenie cykli wprowadzania nowych rozwiązań, dostarczania niestandardowych produktów, budowana jest przez rozbudowę relacji na różnych szczeblach łańcucha dostaw, które to relacje zmieniają dotychczasowe struktury łańcucha dostaw. Jednocześnie w literaturze przedmiotu, w propozycjach strategii wzmocnienia odporności, wymieniana jest strategia nadwyżki relacji sieciowych. W związku z powyższym za cel badań przyjęto wskazanie roli budowania relacji sieciowych dla potrzeb podwykonawstwa, zadań odroczonej produkcji we wzmocnieniu odporności łańcucha dostaw. Dla realizacji tak przyjętego celu przybliżono prezentowane w literaturze strategię wzmocnienia odporności. W następnym etapie omówiono problemy podwykonawstwa w nawiązaniu do rodzajów odroczonej produkcji. Wskazany zakres badań zrealizowano w łańcuchu dostaw wyrobów hutniczych. Na podstawie pomiaru zakłóceń i odchyłeń w przepływach materiałowych zbudowano model systemu produkcyjno-logistycznego z podwykonawstwem zadań w zakresie odroczonej produkcji. W modelu tym parametrem oceny była niezawodność realizowanych zamówień klienta. Wpływ relacji sieciowych na odporność takiego systemu złożonego z kooperujących ze sobą organizacji badano za pomocą eksperymentów symulacyjnych w technice dynamiki systemów zarządzania.

## 2. Strategie budowania odporności łańcucha dostaw

Odporność łańcucha dostaw rozumiana jest jako własność (atrybut) organizacji/systemu ujmująca reguły, procedury, metody i techniki zarządzania oraz strategię, które zabezpieczają organizację przed negatywnymi skutkami odchyłeń zachodzących pod wpływem zakłóceń. Sheffi zauważa, że każdy typ zakłócenia wymaga innych działań, a więc w zależności od kluczowych czynników ryzyka w przepływach materiałowych sposób budowania odporności będzie odmienny. Christopher i Peck identyfikują pięć kluczowych elementów definiujących odporność<sup>1</sup>:

- przepływ wiedzy pomiędzy uczestnikami łańcucha dostaw i pełna świadomość wszystkich uczestników w zakresie struktury łańcucha dostaw,
- bazowa strategia łańcucha dostaw,
- kolaboracja w łańcuchu dostaw,

---

<sup>1</sup> Sheffi Y.: Resilient Enterprise Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage. MIT Press, Massachusetts 2005.

- zdolność budowania elastyczności bazując na kluczowych komponentach łańcucha dostaw,
- kreowanie kultury zarządzania ryzykiem w łańcuchu dostaw.

Sheffi badając drogi w jakich przedsiębiorstwa potrafią odpowiadać na silne zakłócenia i prowadzić działania zmniejszające zagrożenie związane z zakłóceniami stwierdził, że<sup>2</sup>:

- redukcja „wąskich gardeł” związanych z zakłóceniami następuje przez monitoring, systemy wczesnego ostrzegania (wzrost wrażliwości łańcucha dostaw), szybką reakcję na zmianę potrzeb, kolaborację oraz redundancję;
- operacyjna elastyczność zwiększana jest przez standaryzację części, która ułatwia ich wymiennność (modułowość produktu, projektowanie produktu pod kątem logistyki), strategię odroczonej produkcji lub masową customizację produktów (wielowariantowość) w odpowiedzi na trudne do przewidzenia zmiany potrzeb, zarządzanie relacjami z klientami i dostawcami.

Tang postrzega odporność jako istotną przewagę konkurencyjną łańcucha dostaw i sugeruje rozwój strategiczny przez wygładzanie efektów zakłóceń<sup>3</sup>. Autor podkreśla również znaczenie strategii odroczonej produkcji, a także elastycznej bazy dostawców, wielomodułowość i elastyczny transport, a także politykę dynamicznych cen oraz dynamicznego planowania asortymentu. Christopher i Peck definiują odporność łańcucha dostaw jako jego zdolność do powrotu do stanu oryginalnego lub przejście na nowy, bardziej odpowiedni stan, pod wpływem zachodzących zmian<sup>4</sup>. Spośród przytoczonych definicji najbliższa prowadzonym badaniom jest definicja Christophera i Pecka. W badaniach skoncentrowano się jednakże na odporności w zakresie dochodzenia systemu do stanu oryginalnego.

Koncentrując się na odporności organizacji w obszarze przepływów materiałowych wskazywane są takie strategie jak wirtualne wytwarzanie, odroczonej produkcji, projektowanie i wytwarzanie produktów modułowych, projektowanie produktu pod kątem logistyki, elastyczność dystrybucji, elastyczność zaopatrzenia, elastyczność operacyjna, które zwiększają odporność systemu złożonego z organizacji uczestniczących w przepływie materiałowym.

Struktura sieciowa łańcucha dostaw zwiększa elastyczność przez redundancję zasobów produkcyjnych i logistycznych. Elastyczność natomiast zwiększa odporność całego łańcucha dostaw na zakłócenia. Elastyczność i odporność łańcucha dostaw nie są adaptacyjną odpowiedzią przedsiębiorstw i łańcuchów dostaw na zmiany w otoczeniu, a raczej mechanizmem zaprojektowanym w celu ograniczania negatywnych skutków zakłóceń i przywracającym system do równowagi. Niektóre badania uwzględniają konfrontację elastyczności i odporności łańcucha dostaw w kontekście potrzeby redukcji zakłóceń

---

<sup>2</sup> Ibidem.

<sup>3</sup> Tang C.: Robust strategies for mitigating supply chain disruptions. "International Journal of Logistics, Res. Appl.", Vol. 9(1), 2006.

<sup>4</sup> Christopher M., Peck H.: Building the resilient supply chain. "International Journal of Logistic Management", Vol. 15(2), 2004.

w łańcuchu dostaw<sup>5</sup>. Wynikiem tych badań jest wskazanie dwóch klas organizacji kooperujących w łańcuchu dostaw: organizacje dążące do redukcji niepewnych warunków i organizacje dążące do akceptowania i wytrzymywania niepewności.

Wybór typu strategii uzależniony jest od źródeł niepewności: niepewność potrzeb odbiorców, niepewność dostaw, niepewność przepływów materiałowych pomiędzy członkami łańcucha dostaw, niepewność związana z działalnością konkurencji.

Podsumowując, wśród strategii budujących odporność łańcucha dostaw można wymienić strategię:

- odroczonej produkcji (opóźnionej dyferencjacji),
- wirtualnej produkcji,
- projektowania produktu modułowo,
- elastycznego zaopatrzenia (sieciowość łańcucha dostaw budowana przez rozbudowane relacje z wieloma dostawcami),
- elastycznej dystrybucji (sieć dystrybucji złożona z kanałów dystrybucji rozbudowanych o relacje sieciowe),
- elastyczności operacyjnej (sieciowe relacje z podwykonawcami operacji produkcyjnych).

Wymienione strategie nie są alternatywne wobec siebie, a raczej uzupełniają się wzajemnie.

Jako jeden z rodzajów strategii odroczonej produkcji wskazywany jest montaż pod zamówienie. Tym samym modułowość i zaprojektowanie produktu pod kątem logistyki to sposoby realizacji strategii odroczonej produkcji i jedne z możliwych strategii różnicowania produktu. Wirtualne wytwarzanie może wspomagać zarówno elastyczność organizacji, jak i adaptacyjność. Odroczonej produkcji może być realizowana przez rozbudowane relacje sieciowe pomiędzy przedsiębiorstwem bazowym i podwykonawcami, a w sposobie organizacji może być uwzględnione wirtualne wytwarzanie. Elastyczność ponadto może być kształtowana w różnych fazach łańcucha wartości, w tym na poziomie: zaopatrzenia, produkcji lub dystrybucji przez relacje sieciowe. Relacje sieciowe, a także redundancja zasobów wskazywane są nie tylko jako narzędzia budowania elastyczności łańcucha dostaw, ale także adaptacyjności<sup>6</sup>. Adaptacyjność wykorzystuje możliwość rekonfiguracji sieci budowanych w poszczególnych fazach łańcucha dostaw w celu osiągnięcia nowego poziomu równowagi systemu. W rozważaniach nad strategiami odporności łańcucha dostaw istotne jest stanowisko

---

<sup>5</sup> Sanchez R., Heene A.: Managing for an uncertain future: a systems view of strategic organizational change. "International Journal of Operations & Productions Management", Vol. 27(2), 1997, p. 21-42; Stewenson M., Spring M.: Flexibility from a supply chain perspective: definition and review. "International Journal of Operations & Production Management", Vol. 27(7), 2007, p. 685-713; Sawhney R.: Interplay between uncertainty and flexibility across the value chain: towards a transformation model of manufacturing flexibility. "Journal of Operation Management", Vol. 24(5), 2006, p. 476-493.

<sup>6</sup> Kramarz M.: Relacje sieciowe w dystrybucji wyrobów hutniczych. „Przegląd Organizacji”, nr 2, 2008.

Pagha i Coopera podkreślające konieczność równoważenia celów produkcyjnych i logistycznych w zarządzaniu przepływami w łańcuchu dostaw<sup>7</sup>.

### 3. Strategia podwykonawstwa w modelu montaż pod zamówienie

W artykule badania zawężono do konkretnego modelu łańcucha dostaw z materiałowym punktem rozdziału montaż pod zamówienie. W modelu tym jednakże nie uwzględniono produktów modułowych, ale produkty różnicowane przez odroczoną produkcję. Tym samym wzięto pod uwagę fazę produkcji wyrobu bazowego, który po wpłynięciu rzeczywistych zamówień jest różnicowany zgodnie z potrzebami.

Chopra i Meindl analizują strategię odroczenia produkcji i dobór wariantu odroczenia, rozważając takie determinanty jak: koszty procesów, koszty niedoboru (utraconej sprzedaży), nadmierna podaż, koszty zapasów, poziom obsługi, cykl realizacji zamówienia, czas i koszty projektowania i wdrażania nowych wariantów produktu w kontekście oczekiwanego zysku. Wśród wariantów odroczenia wymieniają wariant wczesnego różnicowania produktu (przedsiębiorstwo produkcyjne) oraz wariant późnego różnicowania produktu (przedsiębiorstwo dystrybucyjne). Autorzy prezentują korzyści stosowania poszczególnych wariantów strategii wykorzystując w tym celu model symulacyjny. Yang i inni wskazują natomiast rolę strategii odroczenia w ograniczaniu negatywnych skutków wahań popytu<sup>8</sup>. Warianty odroczenia, które uwzględniają to:

- odroczenie rozwoju produktu,
- odroczenie zakupu materiałów, części, podzespołów,
- odroczenie produkcji,
- odroczenie logistyczne.

AlGeddawy i Maraghy twierdzą, że różnicowanie produktu (dyferencjacja) jest warunkiem wstępnym odroczonej produkcji, w której wykończenie każdego produktu realizowane jest w ostatnim etapie procesu produkcyjnego, odsuniętego w czasie do momentu wpłynięcia rzeczywistych zamówień<sup>9</sup>. Potrzeby i projektowanie produktów są więc kluczowymi czynnikami, które decydują o systemie produkcyjnym i strukturze łańcucha dostaw. Charakterystyka łańcucha wartości i wariantów (stopnia różnicowania) produktu wskazują na typ systemu produkcyjnego i sposób organizacji przepływów materiałowych.

---

<sup>7</sup> Pagh J., Cooper M.: Supply chain postponement and speculation strategy: How to choose the right strategy. "Journal of Business Logistics", Vol. 19(2), 1998.

<sup>8</sup> Yang J., Qi X., Xia Y.: A production-inventory system with Markovian capacity and outsourcing option. "Operations Research", Vol. 53, 2005.

<sup>9</sup> AlGeddawy T., Elmaraghy H.: Design of single assembly line for the delayed differentiation of product variants. "Flexible Services and Manufacturing Journal", Vol. 22(3), 2010.

Tym samym można stwierdzić, że ponieważ stopień dyferencjacji produktu istotnie wpływa na decyzję o podwykonawstwie zadań odroczonej produkcji, więc wpływa także na zakłócenia oraz odchylenia w przepływach materiałowych.

Zarządzanie różnicowaniem produktów jest często skoncentrowane na procesach produkcyjnych. Oferowanie silnie różnicowanych produktów wymaga jednakże kompleksowego zaprojektowania przepływów materiałowych zarówno w przedsiębiorstwie produkcyjnym, jak i z perspektywy całego łańcucha dostaw.

Należy podkreślić, że rozważając zakres lub też głębokość różnicowania produktu uwzględnić trzeba nie tylko potrzeby klientów, lecz także czynniki powodujące ograniczenia takiej strategii<sup>10</sup>. Tym samym należy podkreślić progi różnicowania produktu uwzględniające stopień różnicowania postrzegany przez klienta jako istotny (a więc pozwalający zyskać przewagę konkurencyjną) w stosunku do całkowitych kosztów związanych zarówno z procesem produkcyjnym, jak i logistycznym, wymaganym przy różnicowaniu produktów. Wzrastający poziom różnicowania produktu w konsekwencji zwiększa bowiem złożoność całego systemu produkcyjnego i systemu logistycznego, jednocześnie zwiększając ryzyko w przepływach materiałowych. Efektem wzrostu stopnia różnicowania produktu jest potrzeba rozbudowy metod złagodzenia negatywnych efektów odchylenia w przepływach materiałowych, wynikających ze wzrostu złożoności systemu i warunków determinujących przepływ.

#### **4. Symulacja procesów realizacji zamówienia w łańcuchu dostaw produktów hutniczych**

Badania empiryczne przeprowadzono w łańcuchu dostaw wyrobów hutniczych z materiałowym punktem rozdziału, realizującym zadania odroczonej produkcji. Wyniki badań w zakresie pomiaru zakłóceń, ich skutków i częstotliwości, a także czynników wzmacniających zakłócenia były przez autora niniejszego artykułu szeroko prezentowane na konferencjach krajowych i międzynarodowych, a także omawiane w wielu publikacjach<sup>11</sup>. W ocenie skuteczności przyjętej strategii przez materiałowy punkt rozdziału uwzględniono zarówno terminowość i kompletność realizowanych zamówień, jak i koszty logistyczne. Dążąc do zmniejszenia odchylenia w przepływach materiałowych starano się jednocześnie poprawić terminowość i kompletność realizowanych zamówień. Na koszty złożyły się zarówno koszty transportu, magazynowania, niewykorzystania zdolności produkcyjnych, jak i koszty utraconej

---

<sup>10</sup> Mukhopadhyay S., Setoputro R.: Optimal return policy and modular design for build-to-order. "Operations Management", Vol. 23(11), 2004, p. 496-506.

<sup>11</sup> Kramarz W.: Modelowanie przepływów materiałowych w sieciowym łańcuchu dostaw. Odporność łańcucha dostaw wyrobów hutniczych. Difin, Warszawa 2013; Kramarz M., Kramarz W.: The identification of zones of amplification of disruptions in network supply chains of metallurgic products. "Metalurgija", Vol. 54(1), 2015, p. 279-282.

sprzedaży. Ze względu na fakt, że opracowany model ogólny dedykowany jest zwłaszcza materiałowym punktom rozdziału – przedsiębiorstwom przetwórczym, jako kluczowe kryterium potraktowano niezawodność (kompletność i terminowość), traktując koszty logistyczne jako uzupełnienie oceny wariantu decyzyjnego. Poszukiwano rozwiązania o najniższych kosztach, umożliwiającego zabezpieczenie wyznaczonych standardów niezawodności.

Przyjęto ponadto założenie, że istnieje możliwość wyznaczenia dla danego łańcucha dostaw progów skuteczności badanego wariantu strategicznego wzmacniania odporności przez materiałowy punkt rozdziału.

Model przepływów materiałowych opracowano w narzędziu Vensim DSS. Zastosowane narzędzie jest oprogramowaniem do symulacji umożliwiającej poprawę wyznaczonych przez badacza parametrów rzeczywistych systemów. Vensim DSS jest produktem umożliwiającym tworzenie symulatorów dla systemów złożonych o dużym zróżnicowaniu interakcji pomiędzy elementami oraz włączaniu dużej liczby zmiennych. Narzędzie to umożliwia także zastosowanie wzorców opóźnień ciągłych i dyskretnych oraz szczególnie istotne w prowadzonych badaniach, uwzględnienie wygładzania wahań popytu, przez wskazanie dochodzenia do równowagi systemu przez sterowanie określonymi przez badaczy zmiennymi<sup>12</sup>.

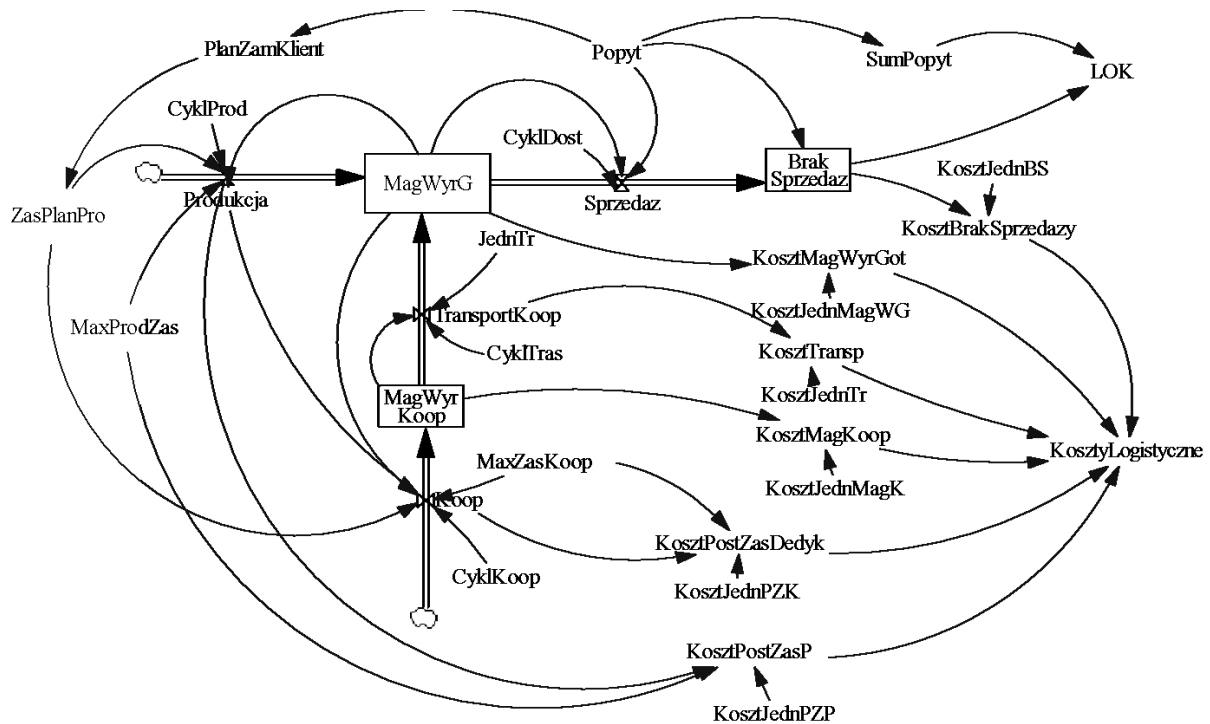
Materiałowe punkty rozdziału mają szansę zwiększenia elastyczności przez zwiększenie relacji sieciowych i pozyskiwanie wyspecjalizowanych zasobów od podwykonawców. Taka strategia pozwala na ograniczenie zdolności produkcyjnych elastycznego zasobu w materiałowym punkcie rozdziału.

Przy tak wskazanych uwarunkowaniach tego wariantu, w modelu symulacyjnym badano jak zmienia się wykorzystanie zdolności produkcyjnych zasobu przy włączaniu dodatkowych relacji sieciowych. Ponadto w eksperymentach śledzono wpływ zakłóceń generowanych przez relacje sieciowe, szukając progu, po przekroczeniu którego dodatkowe relacje sieciowe nie zwiększają odporności łańcucha dostaw, a wręcz są odpowiedzialne za dodatkowe odchylenia, powodując spadek niezawodności realizowanych zamówień.

W eksperymentach symulacyjnych zmniejszono moc produkcyjną zasobu, który ma materiałowy punkt rozdziału i przenoszono wykonawstwo zadań na podwykonawców. W modelu (rys. 1) założono, że każde kolejne zmniejszenie mocy produkcyjnych materiałowego punktu rozdziału i zwiększenie zadań realizowanych przez podwykonawców oznacza zwiększenie liczby partnerów w sieci. Wraz ze wzrostem liczby partnerów, zwiększano poziom zakłóceń generowanych przez podwykonawcę: niewystarczające zdolności produkcyjne podwykonawcy, opóźnienia w realizacji procesów przez podwykonawcę. Kluczowym kryterium oceny skuteczności wariantu strategicznego był poziom niezawodności, który nie powinien być niższy niż 0,9.

---

<sup>12</sup> Kramarz W.: op.cit.



Magazyn wyrobów gotowych materiałowego punktu rozdziału – MagWyrGot, Brak sprzedaży – BrakSprzedaz, Magazyn wyrobów u kooperanta – MagWyrKoop, Logistyczna obsługa klienta – LOK, Popyt – zamówienia na różne warianty produktu, Sumaryczny popyt – sum popyt, Cykl dostaw – CyklDost, Sprzedaż, Odroczona produkcja – OdroczProdukcja.

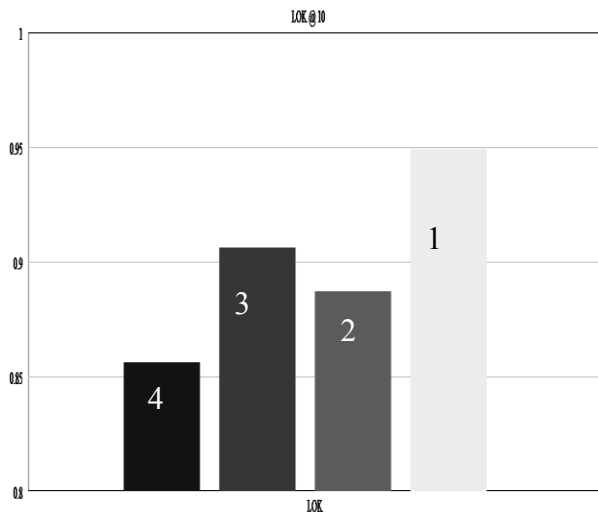
Planowane zamówienia klientów – PlanZamKlient, Cykl produkcyjny – CyklProd, Asortymentowo-zasobowy plan produkcji – ZasPlanProd (plan produkcji z uwzględnieniem wariantów produktu), Maksymalne zdolności produkcyjne materiałowego punktu rozdziału – MaxProdZas, Maksymalne zdolności produkcyjne zasobu dedykowanego u kooperanta – MaxZasKoop, Cykl transportowy – CyklTrans, Jednostka transportowa – JednTr, Transport pomiędzy materiałowym punktem rozdziału a podwykonawcą – TransportKoop, Cykl kooperanta (podwykonawcy) – CyklKoop, Koszty logistyczne – KosztyLogistyczne, Koszty magazynowania wyrobów gotowych – KosztMagWyrGot, Jednostkowe koszty magazynowania wyrobów gotowych – JednKosztMagWyrGot, Koszty transportu – KosztTrans.

Jednostkowy koszt transportu – JednKosztTrans, Koszt utraconej sprzedaży – KosztBrakSprzed, Koszt jednostkowy utraconej sprzedaży – JednKosztBS, Koszt magazynowania wyrobów u kooperanta – KosztMagWyrKoop, Jednostkowy koszt magazynowania u kooperanta – JednKosztWyrK, Koszt postoju zasobu dedykowanego u kooperanta – KosztPostZasDedyk, Jednostkowy koszt niewykorzystania mocy produkcyjnych zasobu dedykowanego kooperanta – JednKosztPZK, Jednostkowy koszt niewykorzystania mocy produkcyjnych zasobu elastycznego u kooperanta – KosztJednPZP.

Rys. 1. Model dla wariantu strategicznego wzmocnienia odporności łańcucha dostaw przez budowę relacji sieciowych  
Źródło: Opracowanie własne.

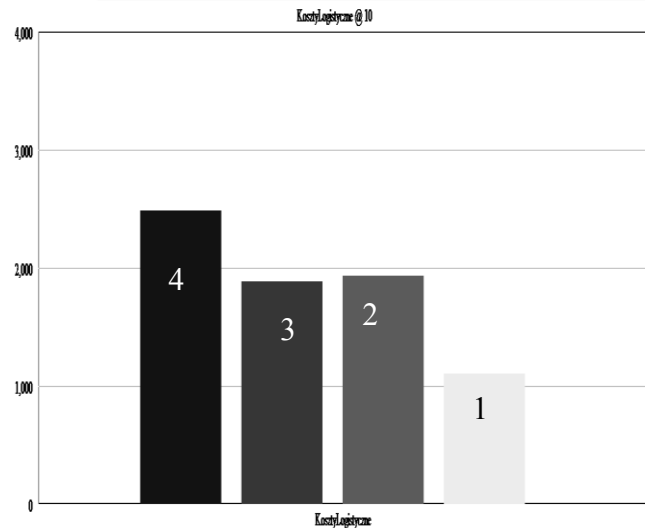
Przeprowadzono cztery eksperymenty symulacyjne, których wyniki przedstawiono na rysunkach 2a i 2b.





Rys. 2a. Poziom niezawodności dla eksperymentów symulacyjnych strategii odroczonej produkcji z podwykonawstwem

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 2b. Poziom kosztów logistycznych dla eksperymentów symulacyjnych strategii odroczonej produkcji z podwykonawstwem

Źródło: Opracowanie własne.

W wariancie strategicznym kooperacji przeprowadzono cztery eksperymenty symulacyjne, analizując silne wahania popytu oraz zmiany stopnia zakłóceń wewnętrznych systemu w wyniku włączania nowych kooperantów dla potrzeb realizacji zadań odroczonej produkcji.

### ***Eksperyment 1***

Założenia:

- Silne wahania popytu w granicach (powyżej 30-50% prognoz).
- Zakłócenia występują (poziom niski – zakłócenia generowane przez podwykonawców wyznaczone dla dwóch kooperantów).

Postępowanie:

- Zdolności materiałowego punktu rozdziału oszacowano na 70 tys. ton.
- Zdolności podwykonawców na poziomie 30 tys. ton.

Efekt:

System jest odporny zarówno na zakłócenia wewnętrzne, jak i na strefy wzmocnienia zakłóceń, a zwłaszcza na silne wahania popytu. Niezawodność realizacji zamówienia wynosi 0,95, przy relatywnie niskich kosztach logistycznych.

### ***Eksperyment 2***

Założenia:

- Wzrost górnej granicy wahań popytu (powyżej 50% prognozy).
- Zakłócenia wewnętrzne w systemie na średnim poziomie.

Postępowanie:

- Zdolności materiałowego punktu rozdziału oszacowano na 70 tys. ton.
- Zdolności podwykonawców na poziomie 30 tys. ton.

Efekt:

Wzrost wahań popytu, przy zachowaniu tak samo kształtowanych relacji sieciowych i rozdziale mocy produkcyjnych, spowodował silny spadek niezawodności realizowanych zamówień oraz wzrost kosztów logistycznych.

### ***Eksperyment 3***

Założenia:

- Wzrost górnej granicy wahań popytu (powyżej 50% prognozy).
- Wzrost zakłóceń wewnętrznych w systemie.

Postępowanie:

- Zdolności materiałowego punktu rozdziału oszacowano na 70 tys. ton.
- Zdolności podwykonawców na poziomie 50 tys. ton.
- Włączono nowego podwykonawcę.

Efekt:

Przy wzroście popytu, a jednocześnie wzroście wahań popytu i włączeniu dodatkowego kooperanta o mocach produkcyjnych 20 tys. ton i jednoczesnym zachowaniu mocy produkcyjnych materiałowego punktu rozdziału na niezmiennym poziomie 70 tys. ton, poziom niezawodności realizowanych zamówień, pomimo wzrostu zakłóceń w systemie podniósł się do granicznego poziomu dopuszczalnego 0,9 i nieznacznie zmniejszyły się koszty logistyczne.

### ***Eksperyment 4***

Założenia:

- Wzrost górnej granicy wahań popytu (powyżej 50%).
- Wzrost zakłóceń wewnętrznych w systemie.

Postępowanie:

- Zdolności materiałowego punktu rozdziału oszacowano na 70 tys. ton.
- Zdolności podwykonawców zwiększono z poziomu 50 tys. ton do poziomu 60 tys. ton.
- Włączono kolejnego podwykonawcę, o mocach produkcyjnych 10 tys. ton.

Efekt:

Przy poziomie popytu, a także wahaniami popytu analogicznych do eksperymentów 2 i 3 poziom niezawodności realizowanych zamówień znacznie spadł do 0,85, przy jednoczesnym silnym wzroście kosztów logistycznych. Tym samym otrzymano wyniki wskazujące na próg skuteczności włączania nowych podwykonawców w realizację zadań odroczonej produkcji.

Podsumowując, wariant strategiczny wzmocnienia odporności przez nadwyżkę podwykonawców jest skuteczny przy znacznych wahaniami popytu i zakłóceniach, jednakże istnieją progi opłacalności włączania nowych podwykonawców w realizację zadań odroczonej produkcji. Dodatkowe eksperymenty potwierdziły tę tezę. Nie udało się podnieść ani poziomu niezawodności realizowanych zamówień, ani także obniżyć kosztów logistycznych przy zmniejszeniu mocy produkcyjnych w materiałowym punkcie rozdziału i przesunięciu ich na podwykonawstwo zadań odroczonej produkcji.

## 5. Wnioski

Kształtowanie relacji sieciowych dla potrzeb zwiększenia możliwości podwykonawstwa zadań odroczonej produkcji przez rozszerzenie bazy zasobowej jest popularną strategią w wielu branżach. Przeprowadzone badania w łańcuchu dostaw wskazały, że strategia ta przy średnich wahaniami popytu (nieprzekraczających 50% prognozy) jest skuteczna, ponieważ zapewnia zachowanie standardów niezawodności realizowanych zamówień bez zwiększenia kosztów logistycznych. Po przekroczeniu wahań popytu powyżej 50% nie można uzyskać wymaganych standardów niezawodności niezależnie od ponoszonych kosztów logistycznych i liczby włączonych w proces odroczonej produkcji organizacji. Biorąc pod uwagę aktualne tendencje walki konkurencyjnej w obszarze różnicowania produktu dla modelu przepływów materiałowych montaż pod zamówienie wariant odroczonej produkcji, przy silnych wahaniami popytu należy poszukiwać innych strategii umożliwiających wzmocnienie odporności.

## Bibliografia

1. AlGeddawy T., Elmaraghy H.: Design of single assembly line for the delayed differentiation of product variants. "Flexible Services and Manufacturing Journal", Vol. 22(3), 2010.
2. Chopra S., Meindl P.: Supply Chain Management. Strategy, Planning & Operations. Pearson Education, New Jersey 2007.
3. Christopher M., Peck H.: Building the resilient supply chain. "International Journal of Logistic Management", Vol. 15(2), 2004.
4. Feng Ch., Chern Ch.: Key factors used by manufacturers to analyse supply chain operational models: an empirical study among Notebook Computer Firms. "International Journal of Management", Vol. 25(4), 2008.

5. Kramarz W.: Modelowanie przepływów materiałowych w sieciowym łańcuchu dostaw. Odporność łańcucha dostaw wyrobów hutniczych. Difin, Warszawa 2013.
6. Kramarz M., Kramarz W.: The identification of zones of amplification of disruptions in network supply chains of metallurgic products. „Metalurgija”, Vol. 54(1), 2015.
7. Kramarz M.: Relacje sieciowe w dystrybucji wyrobów hutniczych. „Przegląd Organizacji”, nr 2, 2008.
8. Mukhopadhyay S., Setoputro R.: Optimal return policy and modular design for build-to-order. “Operations Management”, Vol. 23(11), 2004.
9. Pagh J., Cooper M.: Supply chain postponement and speculation strategy: How to choose the right strategy. “Journal of Business Logistics”, Vol. 19(2), 1998.
10. Sanchez R., Heene A.: Managing for an uncertain future: a systems view of strategic organizational change. “International Journal of Operations & Productions Management”, Vol. 27(2), 1997.
11. Sawhney R.: Interplay between uncertainty and flexibility across the value chain: towards a transformation model of manufacturing flexibility. “Journal of Operation Management”, Vol. 24(5), 2006.
12. Sheffi Y.: Resilient Enterprise Overcoming Vulnerability for Competitive Advantage. MIT Press, Massachusetts 2005.
13. Stewenson M., Spring M.: Flexibility from a supply chain perspective: definition and review. “International Journal of Operations & Production Management”, Vol. 27(7), 2007.
14. Tang C.: Robust strategies for mitigating supply chain disruptions. “International Journal of Logistics, Res. Appl.”, Vol. 9(1), 2006.
15. Yang J., Qi X., Xia Y.: A production-inventory system with Markovian capacity and outsourcing option. “Operations Research”, Vol. 53, 2005.