

Andrzej Szymanek<sup>1</sup>

## Potencjałowa koncepcja bezpieczeństwa w modelowaniu ryzyka i niezawodności łańcucha dostaw<sup>2</sup>

Niezawodność oraz ryzyko są kluczowymi charakterystykami struktur logistycznych, w tym także łańcuchów dostaw. Choć w literaturze przedmiotu jest sporo publikacji na temat ryzyka w systemach logistycznych, to jednak niewiele na temat niezawodności tych systemów. Zdecydowana większość prac dotyczących zarządzania ryzykiem wykorzystuje (słusznie) metodologię zarządzania ryzykiem w działalności gospodarczej i technice. Jeżeli chodzi o problem oceny ryzyka – wszyscy autorzy akceptują znaną formułę „mierzenia” ryzyka poprzez mnożenie strat i prawdopodobieństw zagrożeń implikujących takie straty.

Ryzyko prowadzenia jakiegokolwiek działalności, szczególnie działalności gospodarczej, jest immanentnie związane z zagrożeniami, które mogą stać się źródłami potencjalnych strat, a więc „źródłami ryzyka”. Ponadto każda działalność gospodarcza prowadzona jest w warunkach niepewności i losowości. Natomiast każdy analizowany system (obiekt, proces) ma mniejszą lub większą wrażliwość (odporność) na destruktywne oddziaływanie wszelkich zakłóceń wewnętrznych (własnych) oraz zakłóceń zewnętrznych. Trzeba też przypomnieć, że efektem decyzji gospodarczych (także logistycznych) mogą być – oprócz prawdopodobnych zagrożeń – także zamierzone sukcesy. Wynikami „gier decyzyjnych” są sukcesy i/lub porażki (straty). W zarządzaniu bezpieczeństwem systemów termin „ryzyko” odnosi się do wyników tego drugiego rodzaju. Jednak tak sukces, jak i strata zależą jednocześnie od:

- zdolności systemu (obiektu, procesu) do realizacji zadania
- wymogów jakie stawia systemowi on sam i jego otoczenie: bliższe i dalsze.

Definiując relacje porządku (większy, mniejszy) pomiędzy zdolnościami, a wymogami systemu, można w nowy sposób interpretować pojęcia ryzyka i niezawodności. W artykule przedstawiono szkic modelu takiej właśnie interpretacji ryzyka i niezawodności łańcucha dostaw. Wykorzystano tak zwaną potencjałową koncepcję bezpieczeństwa, opracowaną przez autora kilkanaście lat temu.

### Łańcuch dostaw jako przedmiot modelowania niezawodności i ryzyka

Współczesne sieci logistyczne są coraz bardziej złożone, wzrasta przez to ich ekspozycja na zakłócenia i zagrożenia. Rośnie znaczenie zarządzania ryzykiem w tego typu strukturach logistycznych, [1].

Łańcuch dostaw, to współdziałające w różnych obszarach funkcjonalnych firmy wydobywcze, produkcyjne, handlowe, usługowe oraz ich klienci, między którymi przepływają strumienie produktów, informacji i środków finansowych. W interpretacji strukturalno – podmiotowej łańcuch dostaw może być:

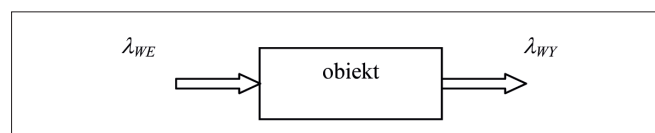
- pojedynczym przedsiębiorstwem (wewnętrzny łańcuch dostaw)
- parą lub łańcuchem przedsiębiorstw będących w relacjach: dostawca – odbiorca
- siecią, czyli grupą współpracujących i/lub konkurujących ze sobą przedsiębiorstw.

W interpretacji przedmiotowej, przez łańcuch dostaw przepływają:

- dobra materialne (materiały, półprodukty, wyroby gotowe)
- informacje (w tym z rynku)
- środki pieniężne
- zasoby (fizyczne, ludzkie, technologiczne).

### Poziomy modelowania niezawodności i ryzyka w łańcuchu dostaw

System logistyczny (SL) jest to pewien wyróżniony zbiór elementów i relacji między nimi, który realizuje zadanie logistyczne. Natomiast zadanie logistyczne (ZL) dla obiektu realizującego funkcje logistyczne (funkcje przyjęte w definicji logistyki) polega na, [2]: jakościowym i ilościowym przekształceniu wejściowego strumienia materiałów i informacji  $\lambda_{WE}$  w strumień wyjściowy  $\lambda_{WY}$  według przyjętego kryterium (rysunek 1).



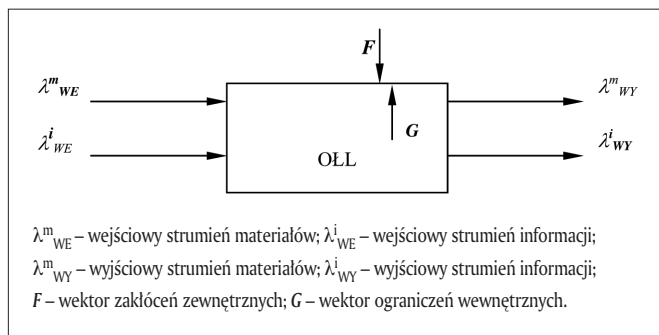
Rys. 1. Przedstawienie graficzne zadania logistycznego, [3].

Łańcuch dostaw – pojęciowo zbliżony do systemu logistycznego SL – jest definiowany jako proces przepływu materiałów, produktów, usług, informacji i środków pieniężnych w celu realizacji potrzeb finalnego odbiorcy.

Szczególnym przypadkiem SL jest łańcuch logistyczny (ŁL), definiowany jako zespół środków technicznych oraz zespół operacji stosowanych podczas realizacji procesu przepływu materiałów i informacji. Ogniwo łańcucha logistycznego (OŁL) to wyróżniony obiekt (środki techniczne i operacje), realizujący zadanie logistyczne i mający strukturę pokazaną na rysunku 2.

<sup>1</sup> Dr inż. A. Szymanek, Politechnika Radomska, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29. Tel: (48) 361-77-61, e-mail: a.szymanek@pr.radom.pl

<sup>2</sup> Artykuł recenzowany (przyp. red.).



Rys. 2. Struktura ogniwa łańcucha logistycznego (OŁ), [3]

Tak więc zadanie logistyczne ZL dla dowolnego ogniwa łańcucha logistycznego polega na przekształceniu według pewnego kryterium (najczęściej minimalnych kosztów) strumieni wejściowych  $\lambda_{WE}^m, \lambda_{WE}^i$  w strumienie wyjściowe  $\lambda_{WY}^m, \lambda_{WY}^i$  w warunkach zakłóceń zewnętrznych  $F$  i ograniczeń wewnętrznych  $G$ .

Przedsiębiorstwo może być ogniwem kilku łańcuchów logistycznych jednocześnie; wówczas należy do tak zwanej sieci logistycznej, a jednym z efektów takiej przynależności mogą być konflikty pomiędzy wymogami sąsiednich OŁ, a możliwościami przedsiębiorstwa.

Wydaje się, że przy dekompozycji łańcucha dostaw ogniwa łańcucha logistycznego oraz zadania logistyczne są odpowiednimi „poziomymi” w modelowaniu niezawodności oraz ryzyka łańcuchów dostaw. A zatem należałoby mówić o niezawodności ogniwa logistycznego oraz ryzyku zadania logistycznego, przy czym tam, gdzie niedostateczna niezawodność skutkuje stratą, trzeba analizować obie charakterystyki. Jak wiadomo, determinantami niezawodności i ryzyka w łańcuchach dostaw są „słabe ogniwa”; wobec tego uproszczona analiza niezawodności i ryzyka łańcuchów dostaw sprowadzała by się w szczególności do analizy tych ogniw oraz zadań logistycznych, które zidentyfikowano by jako „słabe punkty” łańcucha, czy też sieci logistycznej.

Z definicji zadania logistycznego wynika, że właściwe dla niego jest ryzyko operacyjne, czyli ryzyko poniesienia strat wynikających z: niewłaściwych lub zawodnych procesów wewnętrznych, ludzi, techniki, zdarzeń zewnętrznych. Natomiast ryzyko strategiczne jest efektem superpozycji wszystkich ryzyk operacyjnych dla wszystkich zadań logistycznych realizowanych w dłuższej perspektywie czasowej w rozpatrywanym łańcuchu dostaw.

## Niezawodność i ryzyko łańcucha dostaw

W jednej z niewielu prac, gdzie pokazano normatywny aspekt niezawodności łańcucha dostaw, podano następującą definicję: „Niezawodność łańcucha dostaw oznacza prawdopodobieństwo spełnienia przez łańcuch dostaw stawianych mu wymagań, a tym samym zdolność do realizacji podstawowych funkcji”, [4]. Zapis ten jest zgodny z szerszym rozumieniem niezawodności obiektu. Omówiono także kwestię zależności pomiędzy niezawodnością a ryzykiem łańcucha dostaw. Przyjęto, że kluczowym pojęciem jest „podatność na zakłócenia”, co wiąże się z identyfikacją słabych punktów łańcucha dostaw. W odniesieniu do łańcucha dostaw sformułowano wniosek: „im większa podatność na zakłócenia, tym mniejsza niezawodność i jednocześnie większe ryzyko”, [4, s. 21].

Niezawodność i ryzyko łańcucha dostaw mają związek z jego „poprawnością”, która jest charakteryzowana poprzez typowe błędy, takie jak, [5]:

- przewężenia, przestoje
- nie wykorzystane zdolności lub moce w ogniwach
- nadmierne zapasy lub zbyt małe pojemności w ogniwach
- zbyt długie czasy realizacji działań przez ogniwa
- nadmierne koszty jednostkowe w porównaniu z minimalnymi
- nie dopasowane koszty działania oraz ceny użycia ogniwa łańcucha
- błędne odpowiedzi ogniwa na bodźce – na zmiany sytuacji
- wadliwa obsługa przeciążeń
- nie spełnianie przez łańcuch warunków brzegowych wejścia i wyjścia.

Przez ryzyko łańcucha dostaw rozumiemy *prawdopodobieństwo przyjęcia nieodpowiedniej strategii, błędnych decyzji, nie optymalnej konfiguracji systemu logistycznego*, [6, s. 61], [7].

Poziom ryzyka w operacjach logistycznych uzależniony jest od [8]:

- liczby ogniwa w łańcuchach dostaw
- dostępności do dużych węzłów komunikacyjnych
- liczby i rodzajów kanałów dystrybucji.

Na ryzyko logistyczne składają się:

- ryzyko łańcucha dostaw
- ryzyko otoczenia.

To pierwsze dotyczy kooperacji pomiędzy partnerami w łańcuchu dostaw; rozróżnia się tutaj dwa typy ryzyka: a) *ryzyko operacyjne* wynikające z trudności koordynacji popytu i podaży, [2]; b) „ryzyko zakłóceń” (*ang. disruptive risk*) działalności podstawowej, [4].

Ryzyko otoczenia jest efektem interakcji pomiędzy łańcuchem dostaw, a otoczeniem. Wrażliwość łańcucha dostaw na zakłócenia (*ang. supply chain vulnerability*) definiuje się jako stopień ekspozycji łańcucha dostaw na poważne zakłócenia, powodowane przez sam łańcuch dostaw lub otoczenie.

Z pojęciem ryzyka związane jest pojęcie *sprężystości (elastyczności)* łańcucha dostaw (*ang. supply chain resilience*), [9, s. 32]: „*umiejętność reagowania na niespodziewane zakłócenia i przywrócenie normalnych operacji sieci dostaw*”. Według innej interpretacji, elastyczność łańcucha dostaw to jego zdolność „do powrotu do jego pierwotnego stanu lub przejście w nowy, bardziej pożądany”, [10]. Elastyczność łańcucha dostaw koreluje z „umiejętnościami” przystosowania się łańcucha dostaw do reakcji na zakłócenia.

Ryzyko jest pojęciem niejednoznacznym i wieloaspektowym, [11]. Jak zauważa G. A. Zsidisin, ryzyko jest „wielowymiarowym konstruktem” i można go definiować w zależności od rozmaitych kontekstów. Autor używa przy tym konsekwentnie sformułowania „supply risk” (ryzyko dostaw), co można potraktować jako skrót terminologiczny [12].

Wśród wielu rozmaitych interpretacji, „ryzyko dostaw” definiuje się jako efekt niezdolności, niemożności etc. poszczególnych komponentów łańcucha dostaw, [12]:

- niemożliwość spełnienia wymagań i oczekiwań klienta
- nieudolność dostawców wywierająca wpływ na finansowe cele firmy
- niezdolność do opracowania produktu na czas
- wadliwość przepływu produktu do klienta wynikająca z niemożności sprostania istniejącym wymaganiom technicznym.

Menedżerowie różnych firm produkcyjnych, usługowych, handlowych są dość zgodni w takiej oto interpretacji: *ryzyko dostaw może być interpretowane poprzez ograniczone zdolności (firmy) do sprostania oczekiwaniom klientów; szkodliwym skutkiem takiej niemożno-*

ści jest utrata klientów, co z kolei zmniejsza zyski firm i dochody państwa. W interpretacji ryzyka dostaw przez firmy handlowe akcent położony jest na aspekty ekonomiczne. Ale – jak należało się spodziewać – firmy transportowe (na przykład lotnicze) interpretują ryzyko dostaw przede wszystkim w kategoriach „troski o życie i bezpieczeństwo klienta”. To dość istotne rozróżnienie, bo uwidacznia wpływ misji i celów przedsiębiorstwa na rozumienie i definiowanie ryzyka dostaw. Ten aspekt musi być uwzględniany w modelowaniu i analizach ryzyka łańcuchów dostaw.

Powyższe interpretacje „ryzyka dostaw” są zbieżne z ideą potencjałowej koncepcji bezpieczeństwa, która zakłada, że wskaźnik niezawodności uzyskuje się przez porównywanie potencjałów pozytywnych i negatywnych systemu. Jest to zgodne z ideą rozumienia miary niezawodności jako miary sukcesu (*ang. success mission rate*).

Źródła zagrożenia w łańcuchach dostaw mogą być rozpatrywane z różnych perspektyw, [1, s. 14]. Zagrożenia wewnętrzne, a zatem źródła ryzyka wewnętrznego łańcucha dostaw pochodzą od kooperacji partnerów w łańcuchu dostaw, natomiast zagrożenia zewnętrzne generują się z interakcji łańcucha z otoczeniem. Podejść badawczych i klasyfikacji ryzyka logistycznych jest wiele. Przykładowo H. Peck specyfikuje następujące poziomy analizy źródeł ryzyka w sieci dostaw, [13, s. 218]: poziom 1 – strumień wartości, produkt lub proces; poziom 2 – aktywa i zależności infrastrukturalne; poziom 3 – organizacje i powiązania międzyorganizacyjne; poziom 4 – środowisko, otoczenie.

## Potencjałowy model niezawodności i ryzyka łańcucha dostaw

Zgodnie z założeniami potencjałowej teorii bezpieczeństwa, każdy system rzeczywisty materialny i niematerialny (potencjałami są wówczas – wiedza, informacja, kapitał etc.) może być opisany poprzez „potencjał bezpieczeństwa” (inaczej: zapas bezpieczeństwa), który jest „wypadkową” (sumą algebraiczną) dwóch potencjałów, [14]:

$P^+$  – potencjału pozytywnego – określającego zdolności, umiejętności systemu w zakresie przeciwstawiania się wszelkim zaburzeniom realizacji celu; jego synonimem jest odporność na zakłócenia, czyli zdolność do unikania zakłóceń, (na przykład w łańcuchu dostaw);

$P^-$  – potencjału negatywnego – określającego wymogi stawiane systemowi podczas realizacji celu; jego synonimem są agresywne, destruktywne, konfliktogenne czynniki wpływu otoczenia lub konkurenta, (na przykład w łańcuchu dostaw).

Tak określony „potencjał bezpieczeństwa” jest pojęciowo ogólniejszy od fizycznej jego interpretacji – gdzie potencjał, to wielkość przypisana punktowi przestrzeni mająca wymiar energii lub pracy jaką należy wykonać dla realizacji celu.

Niezawodność oraz ryzyko związane z badanym systemem są w opisie matematycznym relacjami definiowanymi na zbiorach wartości potencjałów  $P^+$ ,  $P^-$ , przy czym niezawodność jest związana z  $P^+$  i  $P^-$ , natomiast ryzyko – także z konsekwencjami  $C$ .

Na zbiorach wartości  $\{P^+\}$ ,  $\{P^-\}$  można zdefiniować wiele relacji matematycznych; dwie z nich wykorzystamy do definiowania niezawodności i ryzyka.

1. Pierwsza z nich  $\rho_{RE} \subseteq \{P^+\} \times \{P^-\}$  ma prostą postać relacji większości:  $\rho_{RE} \equiv P^+ \geq P^-$ . Definiuje ona „niezawodność obiektu w ujęciu potencjałowym”, a miara zachodzenia tej relacji jest

miarą niezawodności obiektu w ujęciu „success mission rate”. Przyjmując powszechnie stosowaną miarę prawdopodobieństwa *Prob* – otrzymujemy zapis normatywnej (ilościowej) definicji niezawodności RE obiektu:

$$RE = Prob (P^+ \geq P^-) \quad (1)$$

Uwzględniając fakt, że potencjały obiektu zmieniają się w czasie  $t$ ,  $t_0$ , otrzymujemy uogólnienie zapisu funkcji niezawodności obiektu:

$$RE_t = Prob (P^+_t \geq P^-_t), \text{ dla } t \geq t_0 \quad (2)$$

2. Relacja  $\rho_{RI} \subseteq \{C \times (P^+ \times P^-)\}$  określona na iloczynie kartezjańskim zbiorów  $\{C\}$ ,  $\{P^+\}$ ,  $\{P^-\}$  – będąca implikacją:

$$\rho_{RI} \equiv [(P^+ < P^-) \rightarrow C] \quad (3)$$

Lewa strona implikacji jest zapisem zawodności obiektu; jeżeli założymy, że „zawodność obiektu” implikuje „konsekwencję”  $C$ , to relacja (3) wyraża „ryzyko konsekwencji”. Ale można rozpatrywać inny wariant relacji (3), gdzie nie wymaga się założenia typu: „zawodność obiektu” – to „konsekwencja”. Można założyć zamiast tego koniunkcję stanów: „zawodność obiektu” i „konsekwencja”:

$$\rho_{RI} \equiv [(P^+ < P^-) \square C] \quad (4)$$

Oczywiście relacje (3) i (4) mogą być ujęte w jednej formule logicznej:

$$\rho_{RI} \rightarrow \square \rho_{RI} \square [(P^+ < P^-) \rightarrow C] \square [(P^+ < P^-) \square C] \quad (5)$$

Relacje (3), (4) i formuła (5) definiują ryzyko w ujęciu potencjałowym. Jak wspomniano, nierówność  $P^+ < P^-$  definiuje zawodność obiektu. Z zapisu (3) wynika, że miarą ryzyka  $RI$  może być prawdopodobieństwo:

$$RI = Prob [(P^+ < P^-) \rightarrow C] \quad (6)$$

Natomiast z zapisu (4) wynika, że miarą ryzyka  $RI$  może być prawdopodobieństwo:

$$RI = Prob [(P^+ < P^-) \square C] \quad (7)$$

Na razie nie bardzo wiadomo jak uczynić formuły (4), (5) użytecznymi – będzie to przedmiotem innej pracy, [15]. Tymczasem pozostają one propozycjami nowego zapisu miary ryzyka. Natomiast formuła (7) może przyjąć postać multiplikatywną:

$$RI = Prob (P^+ < P^-) \times C \quad (8)$$

Formuła (8) przypomina znaną i nieco niejednoznaczną formułę:

$$RI = Prob \times C \quad (9)$$

Niejednoznaczność (9) wynika stąd, że *Prob* interpretuje się dość dowolnie – najczęściej jako „prawdopodobieństwo zagrożenia” lub prawdopodobieństwo realizacji jednego ze „scenariuszy zagrożenia” *Sc*. Ale cóż to bliżej znaczy? Formuła (8) jest natomiast jednoznacznym zapisem miary ryzyka jako iloczynu „zawodności obiektu” i „wielkości konsekwencji”, przy czym, co bardzo ważne – zawodność jest tutaj rozumiana szeroko, bo w kategoriach relacji  $P^+ < P^-$ , co pozwala na stosowanie formuły (8) wszędzie tam, gdzie można zdefiniować i „zmierzyć” potencjały  $P^+$  oraz  $P^-$ . A zatem, nie tylko w przypadku obiektów technicznych, ale również innych. Można na przykład stosować to podejście w analizach ryzyka gospodarczego, jeżeli przyjąć, że potencja-

ty  $P^+$  oraz  $P$ , to ekonometrycznie mierzalne aktywa i pasywa istotne dla zadań realizowanych przez przedsiębiorstwo, branżę etc.

Jeżeli w analizowanym systemie o potencjale pozytywnym  $P^+$  jest  $i$ , ( $i = 1, \dots, n$ ) niezależnych źródeł ryzyka, a każdemu z nich można przypisać cząstkowy potencjał  $P_i$ , gdy cząstkowe konsekwencje  $C_i$ , mają zróżnicowane wagi (znaczenia)  $w$ , wówczas ryzyko  $RI$  jest superpozycją ryzyk cząstkowych  $R_i$ :

$$RI = \sum_{i=1}^n Prob(P^+ < P^-)_i \times C_i^w, \quad \sum_{w=1}^n P_i = P^- \quad (10)$$

Możemy tutaj przyjąć, że każde z  $n$  źródeł ryzyka w łańcuchu dostaw jest identyfikowane w każdym z  $n$  jego słabych ogniw.

Niezawodność i ryzyko, to dwie różne charakterystyki obiektu, jednak w modelu potencjałowym można znaleźć pomiędzy nimi prostą algebraiczną zależność, która intuicyjnie jest prawie oczywista:

$$RI = (1 - RE) \times C \quad (11)$$

Zależność (11) wynika z formuły (8) i własności prawdopodobieństwa zdarzeń przeciwnych. Ze wzoru (11) wynika ponadto:

$RI \rightarrow 0$ , gdy  $RE \rightarrow 1$ ; większa niezawodność, to mniejsze ryzyko, przy dowolnym  $C$ ;

$RI \rightarrow C$ , gdy  $RE \rightarrow 0$ ; mniejsza niezawodność, to większe ryzyko przy dowolnym  $C$ .

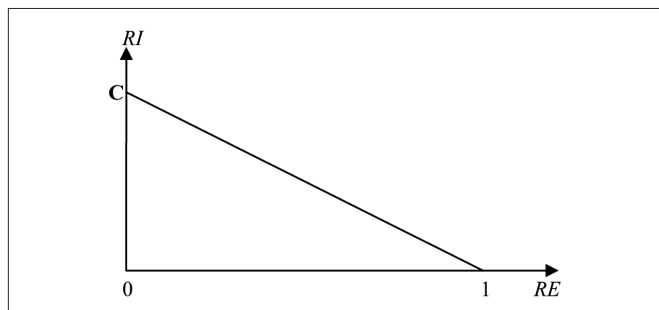
Sens tego zapisu jest taki: „zerowa niezawodność”, to pewna konsekwencja  $C$ , czyli ryzyko „staje się konsekwencją” (rysunek 3). Podajmy przykład takiej interpretacji ryzyka: gdy określimy rozmiar konsekwencji  $C$  w przedziale  $[0, 1]$ , czyli  $[0, 100\%]$ , to dla  $C = 1$  wynika ze wzoru (9), że  $RI = Prob$ . To jest zapis ryzyka zdarzeń, których zajście na pewno wywoła konsekwencję, i jest tylko kwestia czasu. Przykładem jest ryzyko zgonu z powodu postępującej choroby nieuleczalnej.

Potencjałowy model niezawodności i ryzyka można zastosować – jak się wydaje – do modelowania niezawodności i ryzyka w łańcuchach dostaw. Wówczas należałoby rozpatrywać dwa zadania badawcze:

1. analiza niezawodności ogniw logistycznych łańcucha dostaw,
2. analiza ryzyka zadań logistycznych w łańcuchu dostaw.

Trzeba dodać, że analiza niezawodności ogniw logistycznych byłaby dwutorowa:

- analiza niezawodności środków technicznych; tutaj zastosowanie miałyby modele i metody właściwe dla niezawodności w sensie eksploatacyjno – technicznym
- analiza niezawodności operacji logistycznych; tutaj zastosowanie miałyby modele i metody właściwe dla analiz niezawodności czynnika ludzkiego (ang. *human reliability*) oraz niezawodności procesów przemysłowych, także niezawodności procesów transportowych.



Rys. 3. Ilustracja zależności pomiędzy niezawodnością a ryzykiem.

Konieczne byłyby następujące prace przygotowawcze:

1. dekompozycja łańcucha dostaw na zadania i ogniwa logistyczne,
2. wyznaczenie (oszacowanie) potencjałów pozytywnych  $P^+$  dla wyspecyfikowanych ogniw i zadań logistycznych; potencjał typu  $P^+$  można tutaj utożsamiać z „odpornością” komponentów łańcucha dostaw na zakłócenia (zagrożenia) zewnętrzne  $F$  oraz zakłócenia (zagrożenia) zewnętrzne  $G$ , (rysunek 2),
3. wyznaczenie potencjałów typu  $P^-$  dla wyspecyfikowanych ogniw i zadań logistycznych; potencjał  $P^-$  można tutaj utożsamiać z „destruktywnością” czynników wewnętrznych oraz czynników otoczenia łańcucha dostaw; ten potencjał byłby wyznaczony przez zidentyfikowane wektory  $F$ ,  $G$  zakłóceń zewnętrznych i wewnętrznych łańcucha dostaw,
4. identyfikacja wszystkich możliwych źródeł zakłóceń łańcucha dostaw i wyznaczenie wektorów  $F$ ,  $G$ ,
5. ocena potencjalnych strat, czyli niepożądanych konsekwencji  $C$  – będących efektami istnienia wektorów zakłóceń  $F$ ,  $G$ ,
6. identyfikacja wszystkich możliwych scenariuszy  $Sc$ , dla wszystkich zadań logistycznych w łańcuchu dostaw.

Dokładniejsze modelowanie niezawodności i ryzyka łańcucha dostaw wymagałoby posługiwania się wielowymiarowymi rozkładami prawdopodobieństwa. Dla ogniw logistycznych należałoby określić 2-wymiarowe rozkłady ( $P^+$ ,  $P^-$ ). Natomiast dla zadań logistycznych należałoby określić 3-wymiarowe rozkłady wektorów losowych ( $P^+$ ,  $P^-$ ,  $C$ ). Chcąc badać wpływ potencjałów  $P^+$ , i  $P^-$  na wielkość konsekwencji  $C$ , należałoby wyznaczyć warunkowe rozkłady prawdopodobieństwa ( $C/P^+$ ,  $P^-$ ), ( $C/P^-$ ), ( $C/P^+$ ,  $P^-$ ). Przy dokładniejszych analizach konieczne są modele procesów stochastycznych  $\{P^+, P^-, C\}_{t, t \in T}$ .

Ryzyko jakiegokolwiek zadania logistycznego jest efektem pewnych ryzyk cząstkowych, między innymi ryzyk decyzji podejmowanych dla realizacji zadania. Analiza ryzyka decyzji jest przedmiotem statystycznej teorii decyzji. Jeżeli jednak w zadaniu logistycznym mielibyśmy do czynienia z niepewnością informacji, wtedy metody wnioskowania statystycznego nie są przydatne, gdyż nie można określić rozkładów prawdopodobieństwa skutków decyzji logistycznych. Wówczas do analizy ryzyka decyzji w warunkach niepewności trzeba byłoby stosować metody sieci Bayesa.

## Problematyka wyznaczanie potencjałów $P^+$ i $P^-$ w łańcuchach dostaw

Problemem nadrzędnym pozostaje identyfikacja i wyznaczenie wielkości potencjałów  $P^+$ ,  $P^-$  dla rozpatrywanego łańcucha dostaw. Pewnym ułatwieniem w rozwiązywaniu tej kwestii byłoby założenie, że można potencjały  $P^+$  i  $P^-$  opisać tą samą miarą, na przykład „miarą monetarną”, co dla łańcuchów dostaw wydaje się możliwe. Można byłoby przy tym wprowadzić interpretację:  $P^+ \equiv$  zysk oraz  $P^- \equiv$  strata. Czyli zysk w systemie byłby proporcjonalny do wielkości potencjału  $P^+$ , a strata proporcjonalna do wielkości potencjału  $P^-$ . Możliwa jest też inna interpretacja: potencjał  $P^+$  wyrażałby sumaryczne koszty rzeczywistego (tu i teraz) „potencjału obronnego” łańcucha dostaw, czyli koszty „wbudowanej” w łańcuch techniki bezpieczeństwa (w sensie: safety) i organizacyjno – prawne koszty bezpieczeń-

stwa (w sensie: security). Natomiast potencjał  $P^+$  wyrażałby sumaryczne koszty profilaktyki i ochrony przed wszystkimi potencjalnymi czynnikami ryzyka pochodzącymi przede wszystkim z otoczenia łańcucha (na przykład koszty zabezpieczenia antyterrorystycznego).

Do wyznaczania potencjałów  $P^+$  oraz  $P^-$  zadań logistycznych i ogniw logistycznych rozpatrywanego łańcucha dostaw można – jak się zdaje – wykorzystać analizę SWOT, [16]. Techniki analityczne SWOT pozwalają bowiem na jednoczesne badanie mocnych i słabych stron analizowanego systemu (obiektu, projektu) oraz analizę szans i zagrożeń w działaniu systemu (realizacji projektu). Wydaje się to bliskie „poszukiwaniu” potencjałów  $P^+$  oraz  $P^-$  łańcucha dostaw.

Dla ilościowego opisu potencjałów  $P^+$  i  $P^-$  łańcucha dostaw pomocne byłyby także wskaźniki logistyczne – przede wszystkim do opisu działań operacyjnych (operacji) w fazach przepływu materiałów, dystrybucji i obsłudze klienta. System logistyczny można opisać zestawem parametrów, które reprezentują go w aspektach: czasowym, przestrzennym, procesowym, technicznym, organizacyjnym, ekonomicznym. Oczywiście tylko część z tych parametrów jest mierzalna, pozostałe opisują trudno mierzalne lub niemierzalne cechy systemu. Zasadniczo jednak można przyporządkować systemowi logistycznemu pewne wskaźniki, które ilościowo opisują wejściowe i wyjściowe strumienie w systemie. Przykładowo: dla operacji transportowych w systemach logistycznych będą to: wskaźniki niezawodności i wskaźniki elastyczności transportu, a także wskaźniki uszkodzeń transportowych oraz wskaźniki wypadków transportowych, [17]. Wszystkie te wskaźniki mogą być podstawą kalkulacji potencjałów  $P^+$ ,  $P^-$  dla podsystemu „transport” analizowanego systemu logistycznego.

W identyfikacji i opisie ilościowym potencjałów  $P^+$  i  $P^-$  łańcucha dostaw pomocna może być także „teoria ograniczeń”. Zgodnie z nią każde ogniwo łańcucha dostaw ma ograniczone zdolności, które determinują „liczbę produktów jaką dane ogniwo jest w stanie dostarczyć kolejnemu w danym okresie, bez dodatkowych inwestycji”, [18, s. 22]. Poprzez wyznaczenie tak zdefiniowanych „zdolności dostaw” wszystkich ogniw łańcucha dostaw otrzymuje się ocenę zdolności łańcucha dostaw, która jest ograniczona zdolnością najsłabszego ogniwa. Z kolei każde ogniwo logistyczne gwarantuje pewien poziom serwisu (TOP). Jeżeli poziom serwisu jest 100%, oznacza to, że dane ogniwo logistyczne gwarantuje dostawy równe swoim zdolnościom produkcyjnym. Tak definiowana para: „zdolność dostaw” i „poziom serwisu” mogą być pomocne w wyznaczaniu (ocenie) potencjałów pozytywnych  $P^+$  poszczególnych ogniw łańcucha dostaw.

## Streszczenie

Każdy system wraz z jego otoczeniem można opisać syntetycznie poprzez dwie wielkości: potencjał pozytywny – będący synonimem sumarycznej zdolności systemu do realizacji zadania; potencjał negatywny – będący synonimem sumy wymagań, którym system musi sprostać. Definiując relację porządku (większy, mniejszy) pomiędzy powyższymi potencjałami można uniwersalnie definiować niezawodność systemu. Dodając do tej relacji parametr konsekwencji można definiować ryzyko. To jeden z wariantów potencjałowej koncepcji bezpieczeństwa postulowanej przez autora. W artykule przedstawiony został prosty ma-

tematyczny model niezawodności i ryzyka bazujący na tej koncepcji, a także możliwości jej wykorzystania do modelowania niezawodności i ryzyka łańcuchów dostaw.

## POTENTIAL SAFETY CONCEPTION IN RISK AND RELIABILITY MODELING OF SUPPLY CHAINS

### Summary

Each system with its surrounding can be synthetically described by two dimensions:

positive potential – which is a synonym of summary ability of system to task realization; negative potential – which is a synonym of total requirements, that system has to cope. Defining order relation (bigger, smaller) between above potentials, reliability of system can be defined in different way. Adding to that relation consequence parameter the risk can be defined. This is one of options of safety potential conception postulated once by author. In the paper is presented outline of easy mathematics model of reliability and risk, which is basing on that idea. There are also presented possibilities of using that idea to modeling the reliability and risk of supply chain.

### LITERATURA

- [1] Konecka S, *Ryzyko a relacje w sieciach dostaw*, Logistyka 1/2007, s. 14-15.
- [2] Fijałkowski J, *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych. Wybrane zagadnienia*. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2000.
- [3] Ratkiewicz A, *O zintegrowaniu łańcuchów logistycznych*. Materiały III Konferencji Naukowej – Technicznej „Logistyka – Systemy Transportowe – Bezpieczeństwo w Transporcie LOGITRANS 2006, Szczyrk, 26 – 28 kwietnia 2006.
- [4] Maternowska M, *Ryzyko zakłóceń: niezawodność/podatność na zakłócenia versus koszty/zyski w łańcuchach dostaw*, Logistyka 5/2006, s. 21-24.
- [5] Stańko S, *Metody matematyczne i heurystyczne w usprawnianiu łańcuchów dostaw*. Materiały konferencji „Logistics'98 – Zarządzanie łańcuchem dostaw”, Katowice 21-22 maja 1998, tom 2, s. 355-359.
- [6] Łupicka-Szudrowicz A, *Zintegrowany łańcuch dostaw w teorii i praktyce gospodarczej*, Wydawnictwo AE w Poznaniu, Poznań 2004, s. 61.
- [7] Kulińska E, *Zarządzanie ryzykiem w łańcuchu dostaw*. Logistyka 1/2007.
- [8] Golembka E, Skrzypczak M, *Logistyka międzynarodowa*. AE Poznań, 2000, s. 41.
- [9] Partha Priya Datta, *A complex system, agent based model for studying and improving the resilience of production and distribution networks*. Cranfield University. School of Management. Phd Thesis, March 2007.
- [10] Christopher M, Peck H, *Building the resilient supply chain*. International Journal of Logistics Management, 2004/15, pp. 1-14.
- [11] Szymanek A, *Bezpieczeństwo i ryzyko w technice*. Radom 2006, s. 91-130.
- [12] George A. Zsidisin, *A grounded definition of supply risk*. Journal of Purchasing and Supply Management, Volume 9, Issues 5-6, September-November 2003, Pages 217-224.
- [13] Peck H, *Drivers of supply chain vulnerability: an integrated framework*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 35, No. 4, 2005, p. 218.
- [14] Szymanek A, *Vector model of danger*. Reliability Engineering and System Safety, 37 (1992), pp. 65-71.
- [15] Szymanek A., *Niezawodność a ryzyko: logiczno – probabilistyczny model współzależności*. The 6<sup>th</sup> International Conference on Safety and Reliability KON-BIN 2010. Szczecin-Świnoujście, May 24 – 28, 2010 [w druku].
- [16] Lisiński M, *Metody planowania strategicznego*. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2004; ISBN 83-208-1525-8.
- [17] Twaróg J, *Logistyczne wskaźniki oceny transportu w przedsiębiorstwie produkcyjnym*, Logistyka 2/2004, s. 27-30.
- [18] Rodawski B, *Zastosowanie teorii ograniczeń w zarządzaniu łańcuchem dostaw (cz. 2)*. Logistyka 1/2006, s. 22.