

Mateusz ZAJĄC<sup>1</sup>

## **PRZYKŁAD OCENY RYZYKA W MIĘDZYNARODOWYM SYSTEMIE TRANSPORTU KONTENEROWEGO**

*Po wydarzeniach z 11 września, zamknięciu portów na Zachodnim Wybrzeżu USA w 2002r. czy epidemii SARS w 2003r. rządy państw wsłuchując się w głos opinii publicznej oraz przedsiębiorców zwróciły uwagę na potrzebę przygotowania efektywnego i skutecznego sposobu pozwalającego na oszacowanie i zarządzanie ryzykiem. W dzisiejszych czasach to zagadnienie ma swoje szczególne odbicie w globalnych łańcuchach dostaw, którego przykładem jest z pewnością kontenerowy system transportu ładunków. Jednak najpopularniejsze metody ilościowe (np. QRA, FMEA) są kłopotliwe do zastosowania w przypadku tego szczególnego sposobu transportowania rzeczy. W artykule przedstawiono metodę wyznaczania ryzyka w oparciu o metody rozmyte oraz z zastosowaniem techniki evidential reasoning (ER), które pozwalają na dokonywanie ocen subiektywnych, tworzących w rezultacie jedną spójną ocenę ryzyka.*

## **AN EXAMPLE OF RISK ASSESMENT IN CASE OF INTERNATIONAL CONTAINER TRANSPORT**

*After the 9/11 terrorism attacks, the lock-out of the American West Ports in 2002 and the breakout of SARS disease in 2003 have further focused mind of both the public and industrialists to take effective measures for assessing and controlling the risks related to container supply chains. However, due to the complexity of the risks in the chains, conventional quantitative risk assessment (QRA) methods may not be sufficient. Combing the fuzzy set theory and an evidential reasoning (ER) approach, the paper presents a subjective method to deal with the vulnerability-based risks.*

### **1. WSTĘP**

Kontenerowy system transportowy dynamicznie się rozwija. Dzięki jego istnieniu kreowana jest możliwość rozwoju przedsiębiorstw prowadzącym działalność w skali globalnej. Jednocześnie jest on również wyjątkowo narażony na różnego rodzaju zagrożenia. W ostatnich latach poczucie tego zagrożenia wzrastało, co spowodowane było niewątpliwie niechlubnymi wydarzeniami ostatniej dekady i poprzednich lat. Można tu wyróżnić m.in. atak na WTC, zamach na metro w Madrycie, zamknięcie portów na

---

<sup>1</sup>Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn  
Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, mateusz.zajac@pwr.wroc.pl

Zachodnim Wybrzeżu USA spowodowane groźbami zamachu, wojny w Iraku i Afganistanie, epidemia SARS, czy wreszcie kryzys ekonomiczny w Azji w 1997 roku i globalny z lat 2007-09 [1,2]. Te wydarzenia pokazały, że definicja ryzyka zmieniła się, a określenie jego poziomu stało się niezwykle ważne. Prowadzone prace naukowe skupiły się na poszukaniu odpowiedzi jak można je zdefiniować, zidentyfikować i wyznaczyć wartość, także dla kontenerowego systemu transportowego (KST).

Metoda obliczania niezawodności łańcuchów dostaw opiera się klasycznych zasadach przedmiotu. Wprowadzając koncepcje SixSigma do zastosowań obliczeniowych związanych z logistycznymi łańcuchami dostaw w publikacji [4] przeprowadzono próbe rozwinięcia i wdrożenia nowego podejścia służącego do klasyfikowania niezawodności łańcuchów dostaw. W pracy [5] zostały przedstawione podstawy służą z zarządzania niepewnością w łańcuchach dostaw biorąc pod uwagę czynniki wpływające na poziom ryzyka (niepewności) oraz konsekwencje z tego wynikające. W najważniejszych pracach z obszaru systemu transportu kontenerowego zwrócono uwagę, że [3], [4], [5], [10]:

a) ryzyko w kontenerowym łańcuchu dostaw bierze się z podatności tego łańcucha na różnego rodzaju zagrożenia;

b) efektywna praca prewencyjna znacząco redukuje częstotliwość i powstawanie negatywnych efektów wynikających z ryzyka.

Niektórzy autorzy określają słabość systemu kontenerowego jako związek niebezpieczeństw realnych i potencjalnych prowadzących do realizacji skrajnie niekorzystnych scenariuszy.

Wiele typowych założeń dotyczących bezpieczeństwa (np. *Qualitative Risk Assessment* (QRA)), miało wielokrotne zastosowanie. Ta dedukcyjna metoda szacowania ryzyka ma swoje oparcie w danych historycznych. Jednak informacje z przeszłości nie zawsze są dostępne, a ich zbieranie wymaga zwykle długiego czasu badań. W związku z tym zastosowanie tych metod nie zawsze może mieć zastosowanie, także w kontekście KST.

Innym rozwiązaniem jest jakościowe oszacowanie ryzyka. W tym przypadku najczęściej stosuje się metody dyskretne, które mogą nie przystawać do dynamicznych zmian w łańcuchu dostaw.

Z punktu widzenia analizy ryzyka, kontenerowy łańcuch dostaw można traktować jako złożony system techniczny, który składa się z kolejnych podsystemów (np. port, terminal lądowy) wieloelementowych (sawnica, wóz przeładunkowy). W tej strukturze hierarchicznej zazwyczaj występuje przypadek, w którym analiza bezpieczeństwa wyższego poziomu czerpie z danych dostępnych na niższym poziomie. Stąd wyznaczenie ryzyka wymaga poznania zagrożeń występujących na wszystkich poziomach dla poszczególnych składników systemu (nawet elementarnych) lub podjęcia decyzji o dokonaniu oceny syntetycznej.

W odróżnieniu od metody QRA zastosowaniu tradycyjnego aparatu matematycznego przy wyznaczaniu ryzyka korzystając z metod rozmytych jest trudne. Pomocnym narzędziem może tu być metoda *Evidential Reasoning* (ER), która znajduje swoje zastosowanie przy obliczaniu modeli bazujących na wnioskowaniu subiektywnym poprzez wnioskowanie cząstkowe.

Sedno metody ER rozwiniętej na teorii Dempstera-Shafera (D-S) polega na modelowaniu w zestawie zawężających się hipotez z założeniem o kumulacji wnioskowanych części. [6].

Połączenie działań na zbiorach rozmytych oraz metody ER daje możliwość rozwiązania problemu oszacowania niepewności w KST. Realizacja tych zamierzeń nastąpi poprzez zaproponowanie czterech parametrów przy oszacowaniu poziomu zagrożeń, zastosowanie drzewa uszkodzeń przy budowanie struktury hierarchicznej KST oraz drzewo to umożliwi zastosowanie metody ER.

## 2. GŁÓWNE PROBLEMY PRZY ANALIZIE RYZYKA KST

### 2.1. Złożoność KST

Współczesne systemy transportu kontenerowego są bardzo długie i złożone. Typowy transport w relacji drzwi-drzwi z udziałem transportu morskiego angażuje około 25 przedsiębiorstw, powoduje powstanie około 30-40 dokumentów oraz wykorzystuje 2-3 gałęzie transportowe i około 12-15 pojazdów. W odróżnieniu od innych systemów logistycznych KST ma bardzo ważną cechę charakterystyczną: strumienie ładunków i informacji mają ten sam kierunek, jednak informacja powinna wyprzedzać przepływ fizyczny.

Biorąc pod uwagę złożoność tego łańcucha transportowego, efektywna analiza ryzyka powinna prowadzić do powstania opisu funkcji, charakteru i charakterystyk związanych z KST. Ten typ transportu nie powinien być rozpatrywany w pewnym odizolowaniu, lecz jako splot łańcuchów systemu, z umieszczonym w centrum przepływem fizycznym, oraz łańcuchem informacji oraz niepewności. Każdy z tych systemów reaguje dynamicznie na zmiany pozostałych.

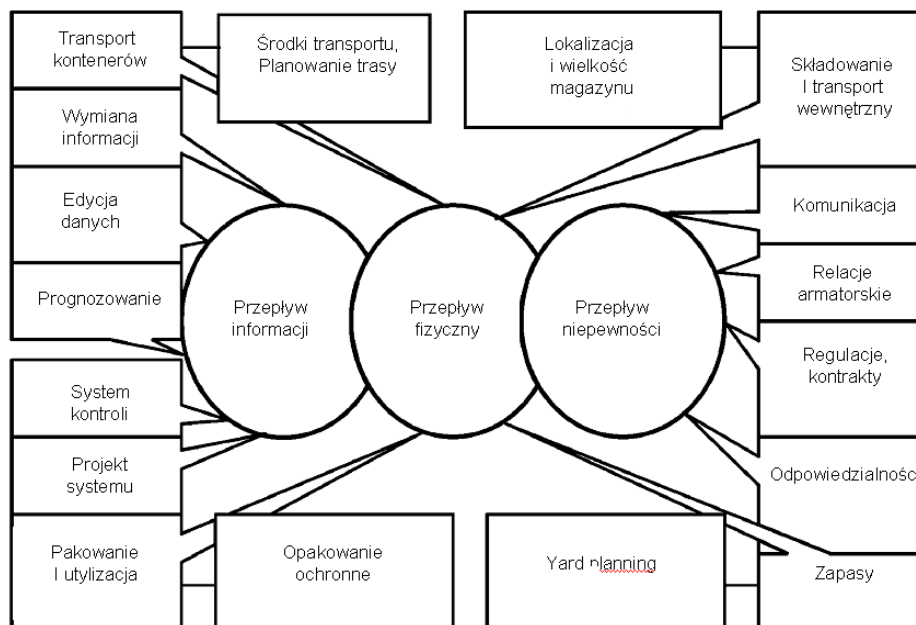
### 2.2 Określenie podatności

Pomimo, że określenie „słabość/podatność” jest używane od ponad 20 lat, obecnie nadal koncepcja rozumienia tego słowa nie jest jednoznaczna, jest to pojęcie rozmyte [10].

W łańcuchach dostaw „podatność” jest rozumiana jako „narażenie na znaczne zakłócenia pracy, wynikające z ryzyk zewnętrznych jak również z zawartych w procesach zachodzących w samym łańcuchu”[1]. Jednak aktualne prace wskazały, że zarówno wewnętrzne i zewnętrzne zagrożenia biorą się z wielkości zagrożeń. Stąd należy spojrzeć na rozumienie „niepewności” w inny sposób, jako „narażenie na zakłócenia pracy wynikające z wielkości zagrożeń”. Zwraca się uwagę na poznanie przyczyn powstawania zagrożeń, zgłębienie ich natury, co zdecydowanie pozytywnie wpływa na możliwość efektywnego przeprowadzenia analizy ryzyka.

Należy również odpowiednio zdefiniować określenia „zagrożenie (*threat*)” i „ryzyka (*hazard*)”. Zagrożenie można określić potencjalne zdarzenie, którego z określonym prawdopodobieństwem może zakończyć się powstaniem szkody lub uszczerbku na zdrowiu, utratę życia [7]. Z kolei ryzyko (*hazard*) jest bardziej utożsamiane z realnym zagrożeniem.

Ryzyko potencjalne jest znacznie szerszym zagadnieniem. Wzięcie pod uwagę zdarzeń potencjalnych powoduje w wielu wypadkach brak możliwości oszacowania charakteru funkcji prawdopodobieństwa. Określanie ryzyka dla systemu kontenerowego jest sięganiem w oszacowaniach właśnie do zagrożeń potencjalnych.



Rys.1 Ogólny model KST, Opracowanie własne na podstawie [10]

### 2.3 Zastosowanie drzewa uszkodzeń

Analiza drzewa uszkodzeń (*Fault Tree Analysis* FTA) jest metodą diagramową służącą do wyznaczania prawdopodobieństw występowania zdarzeń wynikających z sekwencji zdarzeń [8]. Ze względu na swoje zalety, zwłaszcza w kombinacji analiz jakościowej i ilościowej, analiza drzew uszkodzeń jest szeroko stosowana w określaniu ryzyka w różnego rodzaju instytucjach, włączając w to łańcuchy logistyczne.

## 3 SUBIEKTYWNE OSZACOWANIE RYZYKA W KST

### 3.1 Analiza ryzyka z zastosowaniem metod rozmytych

W metodzie FMECA najważniejszą rolę spełniają 3 parametry: prawdopodobieństwo uszkodzenia, wielkość konsekwencji oraz prawdopodobieństwo wcześniejszego wykrycia uszkodzenia, które są używane do oszacowania poziomu bezpieczeństwa związanego z uszkodzaniem poszczególnych elementów. Poziom bezpieczeństwa jest określany wielkością uzyskanych punktów wynikających ze składowych. [9].

W związku z tym, że wielkość konsekwencji wynika z możliwości samouszkodzenia lub w wyniku działania czynników zewnętrznych, można zaproponować 4 nowe parametry, które posłużą do oszacowania ryzyka.

Są nimi: „wola”, „podatność na uszkodzenia”, „prawdopodobieństwa uszkodzenia”, „trudność przywołania (*recall difficulty*)” [10].

„Wola” mówi o prawdopodobieństwie uszkodzenia przy określonym potencjalnym zagrożeniu. Kombinacja „podatności na uszkodzenia” oraz „trudności przywołania”

odpowiada wielkości konsekwencji wynikających z potencjalnych zagrożeń. Prawdopodobieństwo uszkodzenia określane jest prawdopodobieństwem wynikającym z uszkodzenia spowodowanym wystąpieniem danego ryzyka.

W metodzie rozmytej używa się skali jakościowej do określania prawdopodobieństw wymienionych parametrów z gradacją od wartości niskiej do wysokiej. Typową skalę oraz wpisujące się w nią funkcje składowe czterech parametrów zagrożeń przedstawiono w tabelach 1-4. Dopuszczalna jest elastyczność w definiowaniu funkcji składowych.

Tabela 1. Skala poziomów gradacji parametru „wola”

Intensywność	Kategorie						
	1	2	3	4	5	6	7
Ekstrm. silny	0	0	0	0	0	0,75	1
Silny	0	0	0	0	0,75	1	0,25
Dość mocny	0	0	0	0,75	1	0,25	0
Średni	0	0	0,5	1	0,5	0	0
Dość słaby	0	0,25	1	0,75	0	0	0
Słaby	0,25	1	0,75	0	0	0	0
Bardzo słaby	1	0,75	0	0	0	0	0

Tabela 2. Skala poziomów gradacji parametru „podatność na uszkodzenia”

Intensywność	Kategorie						
	1	2	3	4	5	6	7
Ekstrm. Duży	0	0	0	0	0	0,75	1
duży	0	0	0	0	0,75	1	0,25
Umiarkowanie duży	0	0	0	0,75	1	0,25	0
średni	0	0	0,5	1	0,5	0	0
umiarkowanie mały	0	0,25	1	0,75	0	0	0
Mały	0,25	1	0,75	0	0	0	0
Bardzo mały	1	0,75	0	0	0	0	0

Tabela 3. Poziomy gradacji parametru „prawdopodobieństwo uszkodzenia”

Intensywność	Kategorie						
	1	2	3	4	5	6	7
Pewny	0	0	0	0	0	0,75	1
Wysoko prawdopodobny	0	0	0	0	0,75	1	0,25
Umiarkowanie prawdopodobny	0	0	0	0,75	1	0,25	0
przeciętny	0	0	0,5	1	0,5	0	0
Umiarkowanie nieprawdopodobny	0	0,25	1	0,75	0	0	0
Mało prawdopodobny	0,25	1	0,75	0	0	0	0
Całkowicie nieprawdopodobny	1	0,75	0	0	0	0	0

Tabela 4. Skala poziomów gradacji parametru „trudność przywołania”

Intensywność	Kategorie						
	1	2	3	4	5	6	7
Bardzo trudny	0	0	0	0	0	0,75	1
Trudny	0	0	0	0	0,75	1	0,25
Umiarkowanie trudny	0	0	0	0,75	1	0,25	0
Przeciętny	0	0	0,5	1	0,5	0	0
umiarkowanie prosty	0	0,25	1	0,75	0	0	0
Prosty	0,25	1	0,75	0	0	0	0
Bardzo prosty	1	0,75	0	0	0	0	0

Jeżeli W, D, R, P reprezentują odpowiednio “wolę”, “podatność na uszkodzenia”, “trudność przywołania” oraz “prawdopodobieństwo uszkodzenia”, rozmyta wartość bezpieczeństwa S może być określona z wykorzystaniem następującego wzoru [9, 10]:

$$S = (R \times D) \circ (P \times W) \quad (1)$$

Funkcje składowe S są opisane w następujący sposób:

$$\mu_S = \mu_{(R \times D) \circ (P \times W)} \quad (2)$$

Z powyższego wzoru wynika, że funkcje składowe S są oznaczone przez odpowiednie wartości parametrów (R, D, P i W). Załóżmy, że wartości funkcji składowych dla elementu w S, R, D, P oraz W:

$$\begin{aligned} \mu_S &= (\mu_S^1, \mu_S^2, \dots, \mu_S^7) \\ \mu_R &= (\mu_R^1, \mu_R^2, \dots, \mu_R^7) \\ \mu_D &= (\mu_D^1, \mu_D^2, \dots, \mu_D^7) \\ \mu_P &= (\mu_P^1, \mu_P^2, \dots, \mu_P^7) \\ \mu_W &= (\mu_W^1, \mu_W^2, \dots, \mu_W^7) \end{aligned} \quad (3)$$

Wówczas, te równania będą przyjmować następującą postać:

a) Wynik dwóch iloczynów kartezjańskich:

$$\begin{aligned} \mu_{R \times D} &= (\mu_{R \times D}^{ij})_{7 \times 7} \\ \mu_{P \times W} &= (\mu_{P \times W}^{ij})_{7 \times 7} \end{aligned} \quad (4)$$

gdzie  $\mu_{R \times D}^{ij} = \min(\mu_R^i, \mu_D^j)$ ,  $\mu_{P \times W}^{ij} = \min(\mu_P^i, \mu_W^j)$ ,  
gdzie  $i, j = 1, 2, \dots, 7$ .

b) kompozycja działań:

$$\mu_S = \mu_{(R \times D) \circ (P \times W)} = (\mu_S^j)_{1 \times 7} \quad (5)$$

gdzie

$$\mu_S^j = \max(\max(\min(\mu_{R \times D}^{1i}, \mu_{P \times W}^{1j}), \max(\min(\mu_{R \times D}^{2i}, \mu_{P \times W}^{2j}), \dots, \max(\min(\mu_{R \times D}^{7i}, \mu_{P \times W}^{7j}))))$$

natomiast  $i, j = 1, 2, \dots, 7$ .

Jednak, otrzymana wartość  $\mu_S$  oznacza jedynie względny poziom bezpieczeństwa, którego miarą może być skala używana w teoriach rozmytych (np. niski, dopuszczalny, średni, wysoki). Innymi słowy wymaga się, by ryzyko wynikające z zagrożenia było wyrażone w zaproponowanej skali.

Określenia poziomu bezpieczeństwa zawarte w tabelach 1–4 zostało przedstawione w tabeli 5 przy spełnieniu następujących warunków:

- wyrażenie są wyłączone dla każdej kategorii przez normalizowanie składowych wartości.
- $S_{\text{Niski}} = (R_{\text{Bardzo trudny}} \times D_{\text{Ekstremalnie duży}}) \circ (P_{\text{Pewny}} \times W_{\text{Ekstremalnie silny}})$ .
- $S_{\text{Zadawalający}} = (R_{\text{Umiarkowanie trudny}} \times D_{\text{Umiarkowanie duży}}) \circ (P_{\text{Dość prawdopodobny}} \times W_{\text{Umiarkowanie silny}})$ .
- $S_{\text{Średni}} = (R_{\text{Umiarkowanie prosty}} \times D_{\text{Umiarkowanie mały}}) \circ (P_{\text{Dość nieprawdopodobny}} \times W_{\text{Umiarkowanie słaby}})$ .
- $S_{\text{Dobry}} = (R_{\text{Bardzo prosty}} \times D_{\text{Ekstremalnie mały}}) \circ (P_{\text{Całkowicie nieprawdopodobny}} \times W_{\text{Ekstremalnie słaby}})$ .

Tabela 5. Wyrażenia poziomów bezpieczeństwa

Poziom	Kategorie						
	1	2	3	4	5	6	7
Niski	0	0	0	0	0	0,75	1
Zadawal.	0	0	0	0,5	1	0,25	0
Średni	0	0,25	1	0,5	0	0	0
Dobry	1	0,75	0	0	0	0	0

W ten sposób można uzyskać rozmyte wyniki bezpieczeństwa opisane przez  $S_i$ , które są oceną pochodzącą od jednego obserwatora. Wielkości te można następnie usytuować w uprzednio przygotowanej skali bezpieczeństwa. W metodzie tej  $S_i$  jest formą znacznika, określa odległości pomiędzy kolejnymi poziomami bezpieczeństwa. Np, odległość pomiędzy  $S_i$  a określeniem bezpieczeństwa "niski" może być przedstawione w następujący sposób [10]:

$$d_{i1}(S_i, \text{niski}) = \left[ \sum_{k=1}^7 (\mu_{S_i}^k - \mu_{\text{niski}}^k)^2 \right]^{1/2}. \quad (6)$$

Analiza innych odległości pomiędzy  $S_i$  a oraz innymi określeniami bezpieczeństwa może być przeprowadzona w podobny sposób. Mniejszy dystans powoduje lepsze dopasowanie  $S_i$  do określenia bezpieczeństwa. Kiedy odległość pomiędzy  $d_{ij}$  ( $j = 1, 2, 3$  lub  $4$ ) jest równa 0,  $S_i$  jest tożsamy z  $j$ -tym określeniem bezpieczeństwa.

Ze względu na fakt, że odległości pomiędzy  $d_{ij}$  nie mają skali odniesienia, ze względu na potrzebę dokonania lepszego określenia bezpieczeństwa  $S_i$ , obustronna odległość pomiędzy  $S_i$  oraz każdym określeniem  $d_{ij}$  są określone nowym indeksem  $\alpha_{ij}$ , ( $j = 1, 2, 3, 4$ ). Jeżeli  $d_{ij} = 0$  to oznacza, że  $\alpha_{ij}$  jest równa 1, a inne równają się 0. Parametr  $\alpha_{ij}$  może być zdefiniowany w innej sytuacji [10]:

$$\alpha_{ij} = \frac{1/d_{ij}}{\sum_{j=1}^4 1/d_{ij}}, j = 1, 2, 3, 4. \quad (7)$$

Każdy indeks  $\alpha_{ij}$ , ( $j = 1, 2, 3, 4$ ) reprezentuje obszar,  $j$ -ty poziom bezpieczeństwa, do którego należy  $S_i$ . Poziom bezpieczeństwa wynikającego z potencjalnych zagrożeń może być wtedy określony przy zastosowaniu technik rozmytych w następujący sposób:

$$S(S_i) = \{(\alpha_{i1}, \text{“Niski”}), (\alpha_{i2}, \text{“Zadowolający”}), (\alpha_{i3}, \text{“Średni”}), (\alpha_{i4}, \text{“Dobry”})\}.$$

Aby wygenerować skalę ryzyka wynikającego z zagrożenia należy opisać wartościami cztery funkcje bezpieczeństwa. Wartości liczbowe są związane z definicją bezpieczeństwa i mogą zostać obliczone z wykorzystaniem tabeli 5.

Załóżmy, że  $W'_p, W'_f, W'_a, W'_g$  oznaczają odpowiednio nieoszacowaną wartość związaną z określeniami “Niski”, “Zadowolający”, “Średni” i “Dobry”. Wówczas można te wartości uzyskać w następujący sposób:

$$\begin{aligned} W'_p &= [0,75/(0,75 + 1)] \cdot 0,83 + [1/(0,75 + 1)] \cdot 1 = 0,927 \\ W'_f &= [0,5/(0,5 + 1 + 0,25)] \cdot 0,5 + [1/(0,5 + 1 + 0,25)] \cdot 0,67 + \\ & [0,25/(0,5 + 1 + 0,25)] \cdot 0,83 = 0,644 \\ W'_a &= [0,25/(0,25 + 1 + 0,5)] \cdot 0,17 + [1/(0,25 + 1 + 0,5)] \cdot 0,33 + \\ & [0,5/(0,25 + 1 + 0,5)] \cdot 0,5 = 0,356 \\ W'_g &= [1/(1 + 0,75)] \cdot 0 + [0,75/(1 + 0,75)] \cdot 0,17 = 0,073. \end{aligned} \quad (8)$$

Powyższe wartości dają relacje liczbowe pomiędzy określeniami bezpieczeństwa tworząc wektor poziomów, w którym „dobry” przyjmuje największą wartość 1 (np.  $w_g = 1$ ):

$[w_p, w_f, w_a, w_g] = [0,079; 0,384; 0,695; 1]$ . Liczbowa skala zagrożenia może zostać obliczona poprzez obliczenia:



$$P_{S(S_i)} = \alpha_{i1} \times 0,079 + \alpha_{i2} \times 0,384 + \alpha_{i3} \times 0,695 + \alpha_{i4} \times 1. \quad (9)$$

### 3.2. Synteza wyników z zastosowaniem metody ER

Parametr  $S(S_i)$  reprezentuje wyłącznie fragment oceny. Kiedy więcej takich estymacji będzie dokonanych przez wielu obserwatorów, wówczas należy je zebrać w całość. Mogą być one połączone poprzez zastosowanie metody ER. W dalszej części przedstawiono algorytm postępowania [10].

Niech  $A$  reprezentuje zbiór czterech określeń bezpieczeństwa uzyskanych z syntezy podzbiorów  $A_1$  i  $A_2$  pochodzących od różnych oceniających. Wówczas  $A$ ,  $A_1$  i  $A_2$  mogą być oddzielnie wyrażone:

$$A = \{\alpha_1 \text{ "Niski", } \alpha_2 \text{ "Zadowolający", } \alpha_3 \text{ "Średni", } \alpha_4 \text{ "Dobry"}\}$$

$$A_1 = \{\alpha_1^1 \text{ "Niski", } \alpha_1^2 \text{ "Zadowolający", } \alpha_1^3 \text{ "Średni", } \alpha_1^4 \text{ "Dobry"}\}$$

$$A_2 = \{\alpha_2^1 \text{ "Niski", } \alpha_2^2 \text{ "Zadowolający", } \alpha_2^3 \text{ "Średni", } \alpha_2^4 \text{ "Dobry"}\}.$$

Założmy, że znormalizowana względna waga dwóch oceniających bezpieczeństwo jest oznaczona przez  $\omega_1$  i  $\omega_2$ , ( $\omega_1 + \omega_2 = 1$ ). Wielkości  $\omega_1$  i  $\omega_2$  mogą zostać oszacowane poprzez tradycyjną metody *simple rating methods* lub bardziej pracochłonną metodą opartą na porównywaniu par.

Założmy, że  $M_1^m$  oraz  $M_2^m$  ( $m = 1, 2, 3$  or  $4$ ) są indywidualnymi skalami, do których odnoszą się oceny  $A_1$  i  $A_2$ . Wtedy  $M_1^m$  oraz  $M_2^m$  można obliczyć w następujący sposób:

$$M_1^m = \omega_1 \alpha_1^m, M_2^m = \omega_2 \alpha_2^m \quad (10)$$

gdzie  $m = 1, 2, 3, 4$ .

Stąd :

$$\begin{aligned} M_1^1 &= \omega_1 \alpha_1^1, M_2^1 = \omega_2 \alpha_2^1 \\ M_1^2 &= \omega_1 \alpha_1^2, M_2^2 = \omega_2 \alpha_2^2 \\ M_1^3 &= \omega_1 \alpha_1^3, M_2^3 = \omega_2 \alpha_2^3 \\ M_1^4 &= \omega_1 \alpha_1^4, M_2^4 = \omega_2 \alpha_2^4. \end{aligned} \quad (11)$$

Założmy, że  $H_1$  i  $H_2$  są indywidualną oceną obserwatorów nieokreśloną dla  $M_1^m$  oraz  $M_2^m$  ( $m = 1, 2, 3, 4$ ). Wtedy  $H_1$  i  $H_2$  można wyrazić[8]:

$$H_1 = \bar{H}_1 + \tilde{H}_1, H_2 = \bar{H}_2 + \tilde{H}_2 \quad (12)$$

gdzie  $\bar{H}_n$  ( $n = 1$  lub  $2$ ) reprezentuje skalę, do której może się odnosić inny oceniający, oraz  $\tilde{H}_n$  ( $n = 1$  lub  $2$ ) jest wielkością możliwych rozbieżności zawartości podzbiorów  $A_1$  i  $A_2$ . Elementy te można określić następująco:

$$\bar{H}_1 = 1 - \omega_1 = \omega_2, \quad \bar{H}_2 = 1 - \omega_2 = \omega_1 \quad (13).$$

$$\tilde{H}_1 = \omega_1 \left(1 - \sum_{m=1}^4 a_1^m\right) = \omega_1 [1 - (\alpha_1^1 + \alpha_1^2 + \alpha_1^3 + \alpha_1^4)]$$

$$\tilde{H}_2 = \omega_2 \left(1 - \sum_{m=1}^4 a_2^m\right) = \omega_2 [1 - (\alpha_2^1 + \alpha_2^2 + \alpha_2^3 + \alpha_2^4)].$$

Założmy, że  $\alpha^{m'}$  ( $m = 1, 2, 3, 4$ ) jest ujednoliconą skalą, do której będzie odnoszony poziom bezpieczeństwa złożonego z zestawienia czterech poziomów funkcji składowych przez dwóch oceniających.

Założmy, że  $H'_U$  oznacza nieoznaczoną się w tej skali subiektywną ocenę obserwatorów, realizowaną na podstawie uzgodnionych czterech parametrów bezpieczeństwa wynikających z uzgodnienia oceniającego 1 i 2. Wówczas metodę ER można zastosować w następujący sposób:

$$\begin{aligned} \alpha^{m'} &= K(M_1^m M_2^m + M_1^m H_2 + H_1 M_2^m) \\ \bar{H}'_U &= K(\bar{H}_1 \bar{H}_2) \\ \tilde{H}'_U &= K(\tilde{H}_1 \tilde{H}_2 + \tilde{H}_1 H_2 + H_1 \tilde{H}_2) \\ K &= \left[ 1 - \sum_{T=1}^4 \sum_{\substack{R=1 \\ R \neq T}}^4 M_1^T M_2^R \right]^{-1}. \end{aligned} \quad (14)$$

Po powyższym sumowaniu złożone poziomy ocen  $H'_U$  są odnoszone do skali czterech funkcji bezpieczeństwa używając procesu normalizującego:

$$a^m = \alpha^{m'} / 1 - \bar{H}'_U, \quad (m = 1, 2, 3, 4), \quad (15)$$

gdzie:  $H_U$  jest poziomem możliwych rozbieżności obu ocen.

Zaprezentowana wyżej metoda służy do łączenia dwóch zbiorów rozmytych. Jeżeli jednak dokonano np. trzech ocen, wówczas powinno nastąpić połączenie trzech takich zbiorów. Wynik jest rezultatem podobnych operacji wybranych dwóch zbiorów, które następnie są syntezowane z trzecim według tego samego algorytmu.

#### 4 ANALIZA RYZYKA ATAKU TERRORYSTYCZNEGO NA PORT

W październiku 2002 roku porty kontenerowe na zachodnim wybrzeżu USA przeżyły 11 godzinne zamknięcie (*lock-out*), które było spowodowane pogroźkami o zamachu. Wyróżniono dwa sposoby narażenia portu: może zostać zaatakowany od strony morza (atak na kanał portowy) lub od lądu (uszkodzenie nabrzeża i innych instalacji terminalowych). Schemat drzewa uszkodzeń zamieszczono na rysunku 2.

Zgodnie z rysunkiem 2, korzystając z rysunku 2 podstawowe zdarzenia można ułożyć w listę ich poziomów ryzyka korzystając z opisanych zbiorów rozmytych. Ryzyko na najwyższym poziomie drzewa może być obliczone korzystając z założeń metody ER. Oszacowanie i obliczenia ryzyka mogą zostać przeprowadzone w kolejnych krokach:

Krok 1. oszacowanie relatywnych wag zdarzeń opisanych na rysunku 2 zgodnie z zasadami zamieszczonymi w podrozdziale 2.3, gdzie najwyższy poziom jest oznaczony wartością wagi równą 1. Wynik oszacowania został zamieszczony w tabeli 6.

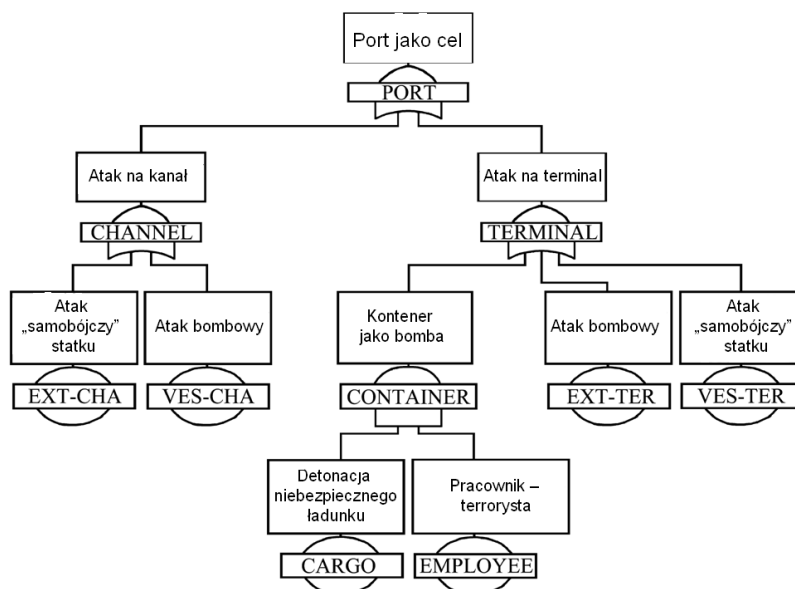
Krok 2. Obliczenia wartości bezpieczeństwa poszczególnych zdarzeń na podstawie rozmytej estymacji czterech parametrów z tabel 1–4. Wyniki obliczeń bezpieczeństwa są wynikiem działania na wzorze (5) i metody dopasania z podrozdziału 3.1. Listę wyników ryzyk podstawowych zdarzeń zamieszczono w tabeli 7.

Krok 3. Zastosowanie metody ER oraz oprogramowania umożliwiającego zastosowanie metody IDS (Intelligent Decision System via Evidential Reasoning)[8] do obliczeń poziomu bezpieczeństwa dla umieszczonego najwyższego w drzewie zdarzenia. Obliczone wyniki zamieszczono na rysunku 3.

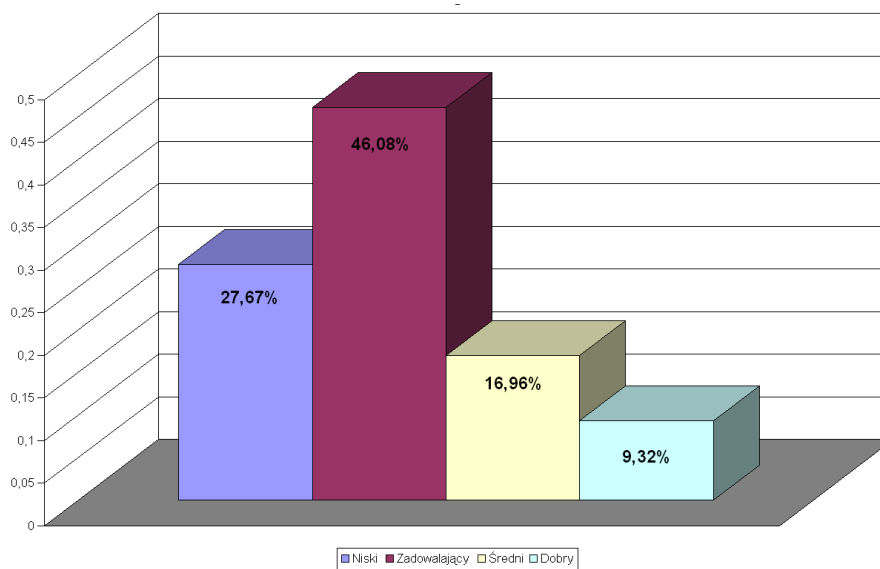
$S_{\text{ATAK}} = \{0,276 \text{ "Niski"}; 0,461 \text{ "Zadawalający"}; 0,17 \text{ "Średni"}; 0,093 \text{ "Dobry"}\}$ .

Tabela 6. Oszacowanie wag zdarzeń. Opracowanie własne na podstawie [10]

Zdarzenie	Waga	Zdarzenie	Waga
Port	1	Kontener	1
Kanał	1	EXT-TER	1
Terminal	1	VES-TER	1
EXT-CHA	1	Ładunek	0,5
VES-CHA	1	Pracownik	0,5



Rys.2 Drzewo uszkodzeń ataku na port, opracowanie własne na podstawie [10]



Rys. 3. Wyniki dla poziomów bezpieczeństwa. Opracowanie własne na podstawie [10]

Tabela 7. Wyniki estymacji ryzyka dla każdego ze zdarzeń. Opracowanie własne na podstawie [10]

	W - D	R - P	Wyniki bezpieczeństwa	Ran ga
EXT- CHA	W={0, 0,25, 1, 0,75, 0, 0,0}	D={0, 0, 0,5, 1, 0,5, 0,0}	S={0,139, 0,361, 0,361 0,139}	0,44 4
	R={0, 0, 0,5, 0, 1, 0,5, 0, 0}	P={0, 0, 0, 0,75, 1, 0,25, 0}		
VES- CHA	W={0, 0, 0, 0, 0,75, 1, 0,25}	D={0, 0, 0, 0, 0,75, 1}	S={0,021, 0,934, 0,027, 0,018}	0,31 1
	R={0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,75, 1}	P={0, 0, 0, 0,75, 1, 0,25, 0}		
Ładune k	W={0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,75, 1}	D={0, 0, 0, 0, 0,75, 1, 0,25}	S={0,444, 0,199, 0,184, 0,173}	0,41 1
	R={0, 0, 0,5, 1, 0,5, 0, 0}	P={0, 0, 0,5, 1, 0,5, 0, 0}		
Pracow nik	W={0, 0, 0,5, 1, 0,5, 0, 0}	D={0, 0,25, 1, 0,75, 0, 0, 0}	S={0,139, 0,361, 0,361, 0,139}	0,44
	R={0, 0,25, 1, 0,75, 0, 0, 0}	P={0, 0, 0, 0,75, 1, 0,25, 0}		
EXT- TER	W={0, 0,25, 1, 0,75, 0, 0,0}	D={0, 0, 0,5, 1, 0,5, 0, 0}	S={0,139, 0,361, 0,361, 0,139}	0,44 4
	R={0, 0, 0,5, 1, 0,5, 0, 0}	P={0, 0, 0, 0,75, 1, 0,25, 0}		
VES- TER	W={0, 0, 0, 0, 0,75, 1, 0,25}	D={0, 0, 0, 0, 0,75, 1, 0,25}	S={0,686, 0,119, 0,101, 0,094}	0,32
	R={0, 0, 0,5, 1, 0,5, 0, 0}	P={0, 0, 0, 0, 0,75, 1, 0,25}		

Z powyższych wyników można wywnioskować, że w sześciu podstawowych zdarzeniach poziom 'dobry' nie występuje często w poszczególnych zdarzeniach ( np. dla EXT-CHA i VES-CHA). Na przykład zdarzenie EXT-CHA zostało ocenione na poziomie 'dobrym' na poziomie 13,9 %; zdarzenie VES-CHA zostało ocenione na poziomie 'dobrym' zdecydowanie niżej, zaledwie 1,8%. Ze względu, że na poziom bezpieczeństwa na najwyższym poziomie składają się oceny z niższych poziomów, trudno jest uzyskać wysokie wartości oceny „dobry”. Wyniki „dobre” uzyskane dla najwyższego poziomu drzewa to zaledwie 9,3%.

Wynik bezpieczeństwa określający jego poziom uzyskany dla zdarzenia z góry drzewa uszkodzeń może być brany pod uwagę przy rzeczywistym kształtowaniu i zarządzaniu poziomem ryzyka w terminalu.

## 5. WNIOSKI

Świadomość potrzeby dokonywania analizy ryzyka w łańcuchach dostaw, instalacjach przemysłowych itp, wzrosła w ciągu ostatnich lat. W artykule przedstawiono metodę subiektywnego oszacowania ryzyka dla kontenerowego systemu transportowego umożliwiając oszacowanie podatności łańcucha na konkretne zagrożenia. Związek zbiorów rozmytych z analizą ER daje możliwość praktycznego zastosowania wyników w praktyce, gdzie częściej ryzyko wynika z potencjalnych zagrożeń niż rzeczywistego stanu.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] P. Chapman, M. Christopher, U. Juttner, H. Peck, R. Wilding, Identifying and managing supply-chain vulnerability, *Logistics & Transport Focus*, 2002.
- [2] Z. L. Yang, S. Bonsall, W. Alan, J. Wang, Reliable container line supply chains - a new risk assessment framework for improving safety performance, *WMU Journal of Maritime Affairs*, 2005.
- [3] M. U. Thomas, Supply chain reliability for contingency operations, *Annual Reliability and Maintainability Symposium, USA*, 2002.
- [4] D. Garg, Y. Narahari, N. Viswanadham, Design of Six Sigma supply chains, *Proceedings – IEEE International Conference on Robotics and Automation, Taipei*, 2003.
- [5] G. Svensson, A conceptual framework of vulnerability in firms' inbound and outbound logistics flows, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 2002.
- [6] J. Wang, J. B. Yang, P. Sen, Multi-person and multiattribute design evaluations using evidential reasoning based on subjective safety and cost analyses, *Reliability Engineering and System Safety*, 1996.
- [7] J. B. Yang, D. L. Xu, On the evidential reasoning algorithm for multiple attribute decision analysis under uncertainty, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, 2002.
- [8] H. T. Burns, P. Cordire, T. Eriksson, *Security Risk Assessment and Control*, Perpetuity Press Ltd., Leicester, UK, 2003.
- [9] A. Pillay, J. Wang, *Technology and Safety of Marine Systems*, Elsevier Science Ltd., Oxford, UK, 2003.
- [10] Z.L. Yang, J.Wang, S. Bonsall, J. Yang, Q. Fang: A Subjective Risk Analysis Approach of Container Supply Chain. *International Journal of Automation and Computing*, 2005.