

EWALUACJA RYZYKA W ZARZĄDZANIU KRYZYSOWYM¹

Piotr Sienkiewicz

Akademia Obrony Narodowej
Wydział Bezpieczeństwa Narodowego
adres, e-mail: p.sienkiewicz@aon.edu.pl

Nowoczesność to kultura ryzyka.
Nowoczesność zmniejsza ogólną ryzykowność
pewnych sfer i sposobów życia, ale jednocześnie
wprowadza nowe, prawie lub całkiem nieznanne
wcześniejszym epokom parametry ryzyka

Anthony Giddens, 2001

Streszczenie: W artykule przedstawiono koncepcję metodologicznych podstaw ewaluacji ryzyka w sytuacjach zagrożeń bezpieczeństwa systemu. Przedstawiono ogólny model decyzyjny w warunkach niepewności i ryzyka oraz statystyczne miary ryzyka na potrzeby zarządzania przedsięwzięciami. Omówiono proces ewaluacji ryzyka w systemie zarządzania kryzysowego. W artykule zamieszczono przykłady modeli matematycznych ewaluacji ryzyka.

Słowa kluczowe: ryzyko, ewaluacja ryzyka, analiza i ocena ryzyka, modele ryzyka, zarządzanie kryzysowe

WPROWADZENIE

O społeczeństwie przełomu XX i XXI wieku mówi się często, że rozwija się w klimacie niepewności i ryzyka. Klimat ten dostrzegany jest w różnej skali

¹ Artykuł jest uzupełnioną wersją wcześniejszej pracy autora, por. P. Sienkiewicz, *Ewaluacja ryzyka w zarządzaniu kryzysowym*, [w:] *Ryzyko w zarządzaniu kryzysowym*, P. Sienkiewicz, M. Marszałek, P. Górny (red.), Toruń 2012, s. 21–40.

i w różnych, niemal wszelkich sferach ludzkiej aktywności. „Wiek niepewności” J. Galbraith’a² ustąpił „społeczeństwu ryzyka” U. Beck’a.³ Klimat ten nie mógł nie wpłynąć na styl myślenia o przyszłości, co, z kolei, w znacznej mierze rzutowało na tematykę badań naukowych oraz edukację. Być może temu należy przypisać nie malejące zainteresowanie problematyką zarządzania kryzysowego, badaniami nad bezpieczeństwem i ryzykiem, a także powstawaniem nowych ośrodków kształcenia na kierunku bezpieczeństwo narodowe oraz inżynieria bezpieczeństwa. Biorąc pod uwagę wspomniany klimat, społeczne nastroje, kształtowane w szczególny sposób przez media, trudno uznać to za zjawisko wyjątkowe.

Jeśli coś może budzić niepokój, to brak wyraźnego postępu w dziedzinie teorii i inżynierii bezpieczeństwa systemów, podstawach metodologicznych nauki o bezpieczeństwie narodowym, ale również w obszarze teoretycznych podstaw zarządzania ryzykiem. Dostrzega się nadmierny wysiłek w zakresie „typologii i klasyfikacji bezpieczeństw (zagrożeń, ryzyk itp.)” oraz syndrom „wyważania otwartych drzwi”, bowiem literatura z dziedziny teorii ryzyka i jej zastosowań w ubezpieczeniach, bankowości, inwestycjach itp., ale również zarządzaniu i dowódzeniu jest bogata i wartościowa.⁴

Trudno uznać, że wymienione obszary analiz ryzyka spełniają warunki zupełności i rozłączności, natomiast język każdej z wyróżnionych dziedzin zawiera pojęcia: BEZPIECZEŃSTWO i RYZYKO (ryc. 1).

Badanie sytuacji charakteryzujących się niepewnością i ryzykiem, a w szczególności sytuacji kryzysowych i konfliktowych w ostatnim półwieczu odbywało się na różnych szczeblach ogólności (konkretności). W latach 40 minionego stulecia nadzieje wiązano z badaniami operacyjnymi, których rozwinięciem stała się następnie analiza systemowa (w ujęciu RAND), z ich dorobku czerpie inspiracje współczesna analiza politologiczna.

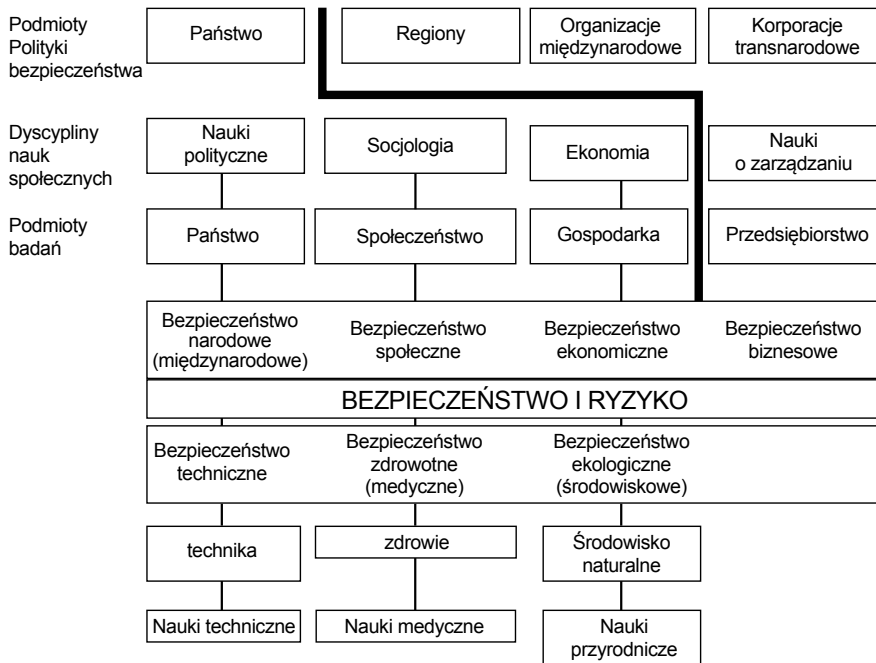
Niniejszy artykuł stanowi próbę pewnych uogólnień dotyczących sposobów ewaluacji ryzyka ze szczególnym uwzględnieniem sytuacji kryzysowych, podsumowujących przede wszystkim prace autora powstałe w okresie ostatniego ćwierćwiecza.

² J. K. Galbraith, *Wiek niepewności: historia idei ekonomicznych i ich konsekwencje*, Warszawa, 1979.

³ U. Beck *Społeczeństwo ryzyka*. Scholar, Warszawa 2002.

⁴ Szerzej: P. Sienkiewicz, *Analiza ryzyka w sytuacjach kryzysowych*, BOS IBS PAN, Warszawa, 2004.

Ryc. 1. Multidyscyplinarny aspekt badań nad bezpieczeństwem i ryzykiem



Źródło: P. Sienkiewicz, *Teoria bezpieczeństwa*, cz. II, AON, Warszawa 2006, s. 11.

SYTUACJE SYSTEMOWE

Każda sytuacja systemowa jest swoistym układem relacji (stosunków, sprzężeń) między danym systemem a jego otoczeniem (innymi obiektami). Sytuacje określamy jako normalne, gdy – przynajmniej – nie zmniejszają prawdopodobieństwa osiągnięcia przez system zamierzonych celów (realizacji właściwych funkcji i zadań), pożądanego działania (rozwoju) itp. A zatem, w tzw. sytuacjach normalnych, potrzeby systemu zaspokajane są w pożądanym stopniu, zaś pojawiające się zakłócenia, usterki bądź niedobory nie stanowią zagrożenia dla stanu owej „normalności”, co oznacza, że nie powodują konieczności sięgania do środków (metod, zasobów) szczególnych. Zagrożenie – pojęcie wieloznaczne – w prakseologii traktowane jest jako jedna z postaci potencjalizacji, zaś najczęściej tego terminu stosuje się w znaczeniu sytuacji, w której istnieje zwiększone prawdopodobieństwo utraty życia, zdrowia, wolności albo dóbr materialnych, ogólniej – wartości szczególnie przez system pożądaných. W piśmiennictwie psychologicznym pojęcie zagrożenia, najczęściej pojawia się jako sytuacja zagrożenia, czyli „sytuacja trudna”, która ma miejsce wtedy, gdy pojawia się obawa o utratę wartości wysoko cenionej przez podmiot. W takim ujęciu akcentuje się przede wszystkim niebezpieczeństwa uświadomione przez określony podmiot

działania, przy czym należy zauważyć, że istotne znaczenie mają również te, które bywają nie w pełni uświadomione.

Zagrożenie to w odniesieniu do określonego podmiotu uświadomione lub nieuświadomione przez niego niebezpieczeństwo bądź utraty określonego dobra lub wartości, bądź czasowej lub względnie trwałej utraty zdolności do działania (rozwoju). W ujęciu rzeczowym zagrożenie należy rozpatrywać jako całokształt zjawisk, zdarzeń, okoliczności lub ich kumulację bądź koincydencję, które mogą stanowić niebezpieczeństwo dla określonego obiektu (systemu). Jeśli zatem bezpieczeństwo stanowi po prostu brak zagrożenia, to może być rozpatrywane jako relacja określona w przestrzeni tworzonej przez zagrożenia (źródła niebezpieczeństw), zabezpieczenia przed zagrożeniami i obiekty zagrożeń.

Występowanie zagrożeń może prowadzić do tzw. sytuacji trudnych takich, jak: deprywacje, przeciążenia i utrudnienia. W porównaniu z „sytuacjami normalnymi” w sytuacjach trudnych zagrożenia mogą mieć wpływ np. na spadek efektywności (niezawodności, wydajności itp.) systemu. Nie wymagają jednak użycia dodatkowych zasobów lub pozyskania wsparcia z otoczenia systemu.

Do sytuacji szczególnie trudnych, które można określić jako krytyczne sytuacje systemowe lub, po prostu, jako sytuacje zagrożenia, można zaliczyć:

- a) sytuacje kryzysowe, w których wystąpienie zagrożeń może prowadzić do utraty wartości, a w szczególności do dezorganizacji działania systemu, przy czym zachodzi konieczność użycia sił i środków szczególnego przeznaczenia („antykryzysowych”);
- b) sytuacje konfliktowe, w których system znajduje się w polu działania przeciwstawnych sił, co oznacza, że istnieje taki system, który dąży do realizacji celów (interesów) sprzecznych z celami danego systemu;
- c) sytuacje katastroficzne, w których zagrożenia lub działania konfliktowe prowadzą lub mogą prowadzić do utraty wartości, sterowalności (kontroli), zdolności rozwoju itp., czyli do dezorganizacji, chaosu, a w konsekwencji upadku systemu.

Powyższe wyróżnienie sytuacji systemowych, podobnie jak większość innych znanych typologii, trudno uznać za jednoznaczne w sensie np. intencji czy motywacji sprawcy (np. trudności z odróżnieniem zagrożeń „kryzysogennych” od „konfliktogennych”).

Bezpieczeństwo oznacza stan (lub proces), w którym wystąpienia w przewidywanym czasie sytuacji krytycznych (kryzysowych, konfliktowych, katastroficznych), aczkolwiek możliwe, oceniane jest jako mało prawdopodobne.

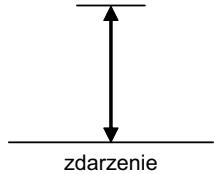
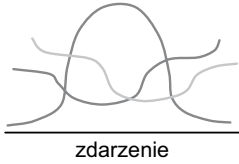
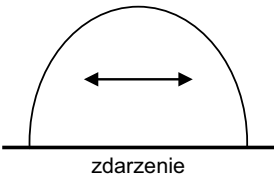
Powyższy stan (proces) może mieć miejsce w dwóch sytuacjach:

- a) rzeczywistego braku zagrożeń;
- b) dysponowania takim „potencjałem bezpieczeństwa” (zabezpieczeniem), który minimalizuje podatność obiektu (systemu) na zagrożenia.

EWALUACJA RYZYKA

Pominąwszy wieloznaczność i pochodzenie terminu „ryzyko”⁵, należy zwrócić uwagę na to, że pojęcie to przypisywane jest bądź podmiotowi (decydentowi) bądź sytuacji problemowej (decyzyjnej). Niekiedy ryzyko rozumiane jest jako zagrożenie, niekiedy zaś mówi się o „ryzyku zagrożenia” lub „ryzyku niepowodzenia” (straty, utraty, itp.). Ryzyko utożsamiane bywa z niepewnością albo podkreśla się rozróżnienie tych pojęć, wyróżniając np. sytuacje niepewne i sytuacje ryzykowne, jak to ma miejsce w teorii decyzji (tabela 1. i ryc. 2).

Tab. 1. Typologia sytuacji decyzyjnych

| lp | Sytuacja decyzyjna | Charakter sytuacji |
|----|--|--|
| 1 |  | Sytuacja pewna Prawdopodobieństwo = 1 |
| 2 |  | Sytuacja ryzykowna |
| 3 |  | Sytuacja niepewna |

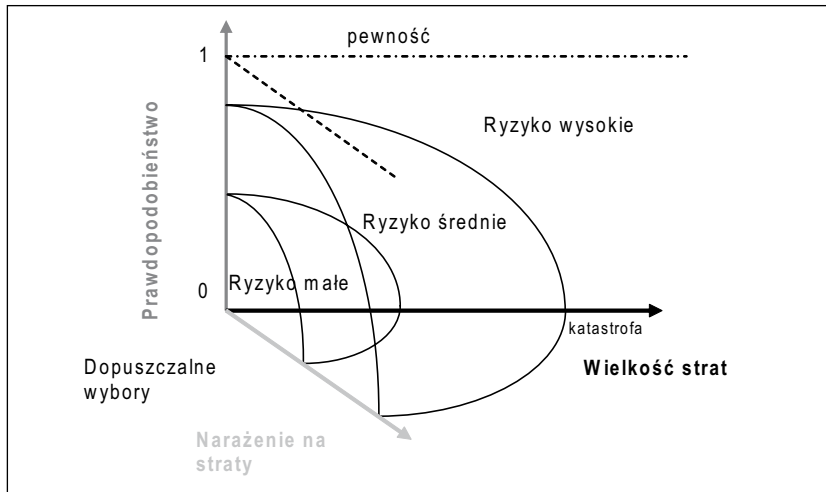
Źródło: opracowanie własne

Należy przyjąć, że ryzyko:

- rozumiane negatywnie oznacza możliwość nie osiągnięcia oczekiwanego efektu (poniesienia szkody, straty);
- rozumiane neutralnie, czyli zarazem jako zagrożenie i szansa, co oznacza możliwość uzyskania efektu różniącego się od oczekiwanego;
- rozumiane jako swoista cecha decydenta w sytuacji wyboru wyrażającą jego awersję, obojętność bądź skłonność do ryzyka;
- rozumiane jako cechę informacji sytuacyjnej niepewnej i niepełnej.

⁵ Porównaj: T. T. Kaczmarek, *Ryzyko i zarządzanie ryzykiem*, Warszawa 2006, s. 48–94.

Ryc. 2. Model ewaluacji ryzyka



Źródło: opracowanie własne

Z kolei, niepewność to sposób wyrażenia trudności w jednoznacznym określeniu stanu jakichś zjawisk (obiektów, procesów), nieoznaczoność parametrów (własności) jakichś obiektów czy nieprzewidywalność ich zachowania. Przyczynami niepewności mogą być: brak informacji, nieznaną stopień nieściśłości dostępnych informacji, brak możliwości uzyskania potrzebnych informacji, brak wykonania jakichś istotnych pomiarów itp. Niepewne sytuacje problemowe i nieunikniona omylność w podejmowaniu decyzji wynikają z tego, że przewidywalność przyszłości jest ograniczona, wobec czego w sytuacjach decyzyjnych niekiedy wykorzystuje się nie tyle prognozy, co wróżby i wieszczczenia.

Do podstawowych rodzajów niepewności zalicza się :

- niepewność probabilistyczną,
- niepewność chaotyczną (w sensie teorii chaosu),
- niepewność rozmytą (w sensie teorii zbiorów rozmytych),
- niepewność – nieoznaczoność (przez analogię do zasady nieoznaczoności Heisenberga),
- niepewność deterministyczną.

Według klasycznej pracy F. H.Knighta⁶ niepewność oznacza możliwość odchylenia od stanu oczekiwanego (pożądanego), której nie można zmierzyć, ponieważ nie istnieją podstawy do określenia prawdopodobieństw możliwych stanów systemu (lub jego otoczenia), natomiast, gdy dany jest rozkład prawdopodobieństwa stanów mamy do czynienia z ryzykiem, które można zmierzyć. Zatem, niepewność i ryzyko choć rozpatrywane są jako elementy różne, to jednak łącznie składają się na całość sytuacji systemowych, które cechuje brak absolutnej pewności.

⁶ F. H. Knight, *Risk, Uncertainty and Profit*, London 1985, s. 233.

Uważa się, że np. prawdopodobieństwo poniesienia szkody (straty) w wyniku wystąpienia zdarzeń kryzysowych, a także wartość oczekiwana użyteczności (wypłat, strat), nie są wystarczającymi miarami ryzyka. Miara bardziej ogólną jest wariancja lub odchylenie standardowe rozkładu prawdopodobieństwa interesujących zdarzeń opisujących np. sytuację kryzysową w rozpatrywanym scenariuszu. Dla wyboru strategii antykryzysowej najkorzystniejszej spośród strategii dopuszczalnych wystarczającą miarą ryzyka może być tzw. współczynnik zmienności (CV), czyli iloraz odchylenia standardowego i wartości przeciętnej.

Zarządzanie przedsięwzięciami w sytuacjach ryzykownych obejmuje następujące podstawowe funkcje:

- analityczno-ocenowe obejmujące: identyfikację (rozpoznanie) źródeł ryzyka, szacowanie ryzyka (określenie prawdopodobieństwa zagrożeń i dotkliwości ich skutków), ocenę wartości ryzyka;
- planistyczno-kontrolne, które obejmują: planowanie postępowania wobec ryzyka, kontrolę realizacji procedur redukcji ryzyka, monitorowanie zagrożeń dla bezpieczeństwa przedsięwzięcia (projektu).

Tab. 2. Procedury postępowania w ramach fazy analizy ryzyka

| Etap analizy ryzyka | Kolejne kroki | Podjęte działania |
|----------------------------|----------------------|--|
| Rozpoznanie ryzyka | krok 1 | Ustalenie właściwego kontekstu i horyzontu analizy |
| | krok 2 | Zebrać informacje dotyczące poszczególnych rodzajów ryzyka |
| | krok 3 | Klasyfikacja poszczególnych rodzajów ryzyka na podstawie przyczyn ich powstawania |
| Oszacowanie ryzyka | krok 4 | Określenia prawdopodobieństwa i potencjalnych skutków wystąpienia zidentyfikowanych rodzajów ryzyka przy uwzględnieniu czynnika czasu |
| | krok 5 | Przeprowadzenie estymacji jakościowej i/lub ilościowej z wykorzystaniem dostępnych metod |
| | krok 6 | Wstępna klasyfikacja poszczególnych rodzajów ryzyka z punktu widzenia ich znaczenia dla realizacji przedsięwzięcia |
| Ocena ryzyka | krok 7 | Ustalenie wskaźników stopnia akceptacji poszczególnych ryzyk związanych z planowanymi działaniami |
| | krok 8 | Porównanie poziomu zidentyfikowanych rodzajów ryzyka z założonymi wskaźnikami ich akceptacji |
| | krok 9 | Projektowanie ścieżek alternatywnych działania w przypadku tych ryzyk, które nie spełniają zakładanych kryteriów akceptacji |
| | krok 10 | Klasyfikacja poszczególnych rodzajów ryzyka w ostatecznym porządku oraz przypisaniu im proponowanych działań zmierzających do ich redukcji lub złagodzenia |

Źródło: P. Buła: *Zarządzanie ryzykiem w jednostkach gospodarczych. Aspekt uniwersalistyczny*. Kraków 2003 r., s.85.

Podstawą dla wyboru strategii postępowania wobec ryzyka jest analiza ryzyka, na podstawie której planowane są określone przedsięwzięcia organizacyjne i technologiczne. Są to działania zmierzające do:

- izolowania i redukcji ryzyka do poziomu akceptowanego;
- eliminowania ryzyka (jeśli jest to możliwe);
- przygotowanie alternatywnych planów działania;
- określenie rezerw czasowych i finansowych w celu zabezpieczenia się przed ryzykiem.

Analiza i ocena scenariuszy obejmuje (tabela 3):

- Określenie konsekwencji scenariuszy;
- Ocenę kategorii konsekwencji (według powagi skutków – $A < B < C < D < E$) w każdym rodzaju I, II, III, IV);
- Ocenę skuteczności stosowanych i proponowanych sposobów zmniejszenia zagrożenia;
- Oszacowanie prawdopodobnej ilości wypadków i określonych konsekwencjach w odniesieniu do czasu ekspozycji.

Ocena ryzyka w ramach przyjętego scenariusza obejmuje ciąg następujących operacji:

Utworzenie tabeli ryzyka → kategoria konsekwencji → prawdopodobieństwo konsekwencji → podjęcie decyzji dotyczącej akceptowanego poziomu bezpieczeństwa.

Tab. 3. Przykładowa ocena ryzyka w zależności od kategorii konsekwencji

| Kategoria konsekwencji | Prawdopodobieństwo | | | |
|------------------------|--------------------|----|-----|----|
| | I | II | III | IV |
| A | 1 | 1 | 2 | 3 |
| B | 1 | 2 | 3 | 3 |
| C | 3 | 3 | 3 | 4 |
| D | 3 | 4 | 4 | 4 |
| E | 4 | 4 | 4 | 4 |

1 – Nieakceptowany – ryzyko powinno być ograniczone do stopnia 3 lub niższego tak szybko, jak to możliwe.

2 – Niepożądany – ryzyko powinno być ograniczone do stopnia 3 lub niższego w rozsądnym przedziale czasu.

3 – Akceptowany pod warunkiem kontroli – wskazana weryfikacja procedur, kontroli i zabezpieczeń.

4 – Akceptowany – żadne działania nie są konieczne.

Źródło: opracowanie własne.

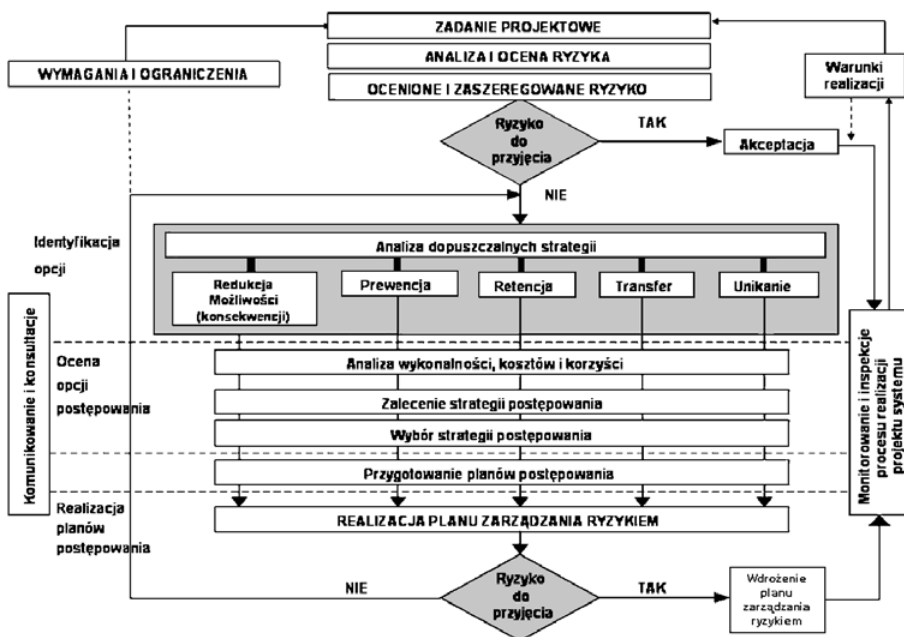
Aktualnie za podstawowe kompendium wiedzy w zakresie zarządzania projektami przyjmuje się „*A Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK*” wydany przez Projekt Management Institute w 2000 roku. Zgodnie z powyższym kompendium zarządzanie ryzykiem jest „*metodą zarządzania koncentrującą się na identyfikacji i kontroli obszarów lub zdarzeń, które mogą prowadzić do niepożądanych zmian. To po prostu integralny element zarządzania*”.⁷

⁷ Por. C. L. Pritchard, *Zarządzanie ryzykiem w projektach*, WIG-PRESS, Warszawa 2002.

ZARZĄDZANIE RYZYKIEM

W ogólnym modelu zarządzania ryzykiem (ryc. 4) kluczową pozycję zajmują zagadnienia ewaluacji zagrożeń i ryzyka, albowiem wiarygodność sformułowanych ocen przesądza często o trafności decyzji w procesie zarządzania przedsięwzięciami, zwłaszcza w sytuacji zagrożeń. Istotne znaczenie ma wybór metody oceny ryzyka. Techniką najczęściej stosowaną jest tzw. technika opisowa (jakościowa) będąca w istocie zastosowaniem metody ocen ekspertów (tabela 5 i ryc. 5). Metoda ta (np. *Delphi*, „*brainstorming*”) pozwala na sklasyfikowanie na podstawie danych historycznych (analizy przypadków, symulacji itp.) prawdopodobieństwa wystąpienia niepożądanych zdarzeń oraz stopnia ich dotkliwości. Z kolei, wśród metod ilościowych uwagę zwracają te, które wywodzą się wprost z teorii decyzji. Do nich zalicza się przede wszystkim techniki: drzewa zdarzeń (*Events Tree Analysis*) i drzewa błędów (*Faults Tree Analysis*).

Ryc. 3. Model zarządzania ryzykiem projektowym



Źródło: Sienkiewicz P., *Analiza zarządzania ryzykiem projektów*, Materiały konferencyjne Rynia 2005.

Metoda drzewa zdarzeń polega na traktowaniu danego skutku niepożądanego jako wyniku ciągu zdarzeń. Drzewo zdarzeń rozpoczyna się zdarzeniami inicjującymi i przedstawia wszystkie możliwe i prawdopodobne ciągi zdarzeń będące następstwami zdarzenia inicjującego. W różnych miejscach drzewa znajdują się punkty rozgałęzień. Prawdopodobieństwo określonego skutku otrzymuje się w postaci iloczynu prawdopodobieństw wszystkich zdarzeń tworzonych w drzewie, po

której dochodzi się do rozpatrywanego skutku. Natomiast drzewo błędów budowane jest w przeciwnym kierunku. Rozpoczyna się od określenia skutku niepożądanego i rozwija się w kierunku zdarzeń poprzedzających dając kombinacje zdarzeń niepożądanych, które mogą doprowadzić do analizowanego skutku (ryc. 4).

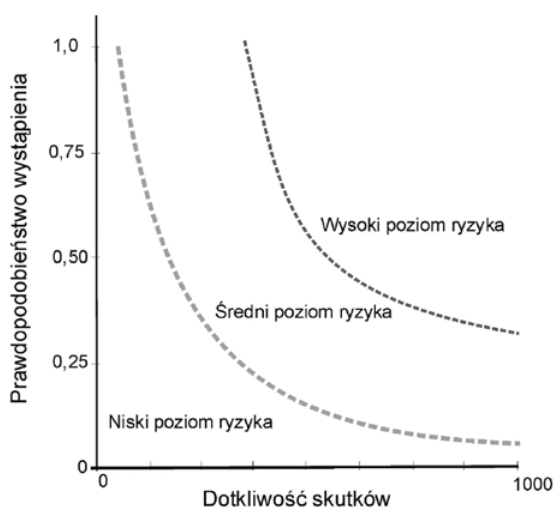
U podstaw powyższych technik ocenowych leży przekonanie, że jeśli niepomyślnemu skutkowi nie można przypisać prawdopodobieństwa w sposób bezpośredni, to skutek ten da się „rozłożyć” na zbiór zdarzeń „cząstkowych”, których prawdopodobieństwa są znane na podstawie doświadczenia lub oszacowań ekspertów (tabela 3).

Tab. 3. Kategorie ryzyka w metodzie opisowej (eksperskiej).

| SKUTKI | PRAWDOPODOBIENSTWO | | |
|--------------------|--------------------|----------------|----------------|
| | Niskie | Umiarkowane | Wysokie |
| Łagodne skutki | Niskie ryzyko | Niskie ryzyko | Średnie ryzyko |
| Umiarkowane skutki | Niskie ryzyko | Średnie ryzyko | Wysokie ryzyko |
| Dotkliwe skutki | Średnie ryzyko | Wysokie ryzyko | Wysokie ryzyko |

Źródło: Sienkiewicz P., *Analiza zarządzania ryzykiem projektów*, Materiały konferencyjne Rynia 2005.

Ryc. 4. Podstawowe obszary ryzyka w metodzie ilościowej



Źródło: Sienkiewicz P., *Analiza zarządzania ryzykiem projektów*, Materiały konferencyjne Rynia 2005.

Ponadto, stosowane są w zarządzaniu kryzysowym techniki szacowania ryzyka bez dekompozycji zdarzeń, jak np. „HAZOP” (*Hazard and Operability Reliability*), „*Checklist Analysis*”, „*Human Reliability Analysis*” itp.⁸

⁸ P. Sienkiewicz, *Zarządzanie ryzykiem w sytuacjach kryzysowych*. AON, Warszawa 2006.

Jednakże W. Findeisen stwierdza, że większość stosowanych metod analizy i oceny ryzyka odznacza się znacznymi słabościami, takimi jak:

- niepełność kategorii ryzyka;
- brak wystarczających i dokładnych danych;
- niezdolność do analizy awarii o wspólnej przyczynie;
- nieuwzględnianie ryzyka wtórnego;
- nieuwzględnianie zagrożenia spowodowanego rozmyślnie;
- trudność jednoznacznej interpretacji wyników analizy.⁹

Z powyższych powodów istotne znaczenie w zarządzaniu przedsięwzięciami mają aspekty komunikacyjne, a w szczególności konkretyzacja wyników analizy ryzyka w postaci zaleceń.

RYZYKOWNE SYTUACJE DECYZYJNE

Analiza ryzyka skłania do przypomnienia modelu sytuacji decyzyjnej należącego do „klasycznej” teorii decyzji (rys 5):

$$\langle A, S, u \rangle$$

Gdzie: A – zbiór dopuszczalnych wariantów działania (strategii):

$$A = \{a_i; i=1,2,\dots,m\}$$

S – zbiór możliwych i prawdopodobnych stanów rzeczy (scenariusz):

$$S = \{s_j; j=1,2,\dots,n\}$$

u – funkcja użyteczności:

$$u: A \times S \rightarrow R, u(a_i, s_j) = u_{ij} \in R$$

Ryc. 5. Model klasycznej sytuacji decyzyjnej

| Warianty decyzji | Stany rzeczy | | | | | Użyteczność warianty |
|------------------|--------------|-----|----------|-----|----------|----------------------|
| | S_1 | ... | S_j | ... | S_n | |
| a_1 | u_{11} | ... | u_{1j} | ... | u_{1n} | u_1 |
| \vdots | \vdots | ... | \vdots | ... | \vdots | \vdots |
| a_i | u_{i1} | ... | u_{ij} | ... | u_{in} | u_i |
| \vdots | \vdots | ... | \vdots | ... | \vdots | \vdots |
| a_m | u_{m1} | ... | u_{mj} | ... | u_{mn} | u_m |

Źródło: opracowanie własne.

⁹ W. Findeisen, (red.), *Analiza systemowa – podstawa i metodologia*, Warszawa 1985, s. 621.

Wyróżnia się następujące grupy problemów decyzyjnych:

- 1) Podejmowanie decyzji w warunkach pewności: decydent posiada pełną i pewną wiedzę co do tego, który stan rzeczy wystąpi ($n = 1$) oraz dokonuje wyboru tego wariantu, dla którego wartość użyteczności jest największa ($a^* : \max u_i$);
- 2) Podejmowanie decyzji w warunkach niepewności: decydent wie, że mogą wystąpić różne stany rzeczy, lecz nie zna prawdopodobieństwa ich wystąpienia

$$p_1 = \dots = p_n = \frac{1}{n}; \quad a^* : \max_i \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_j ;$$

- 3) Podejmowanie decyzji w warunkach ryzyka: decydent wie, że mogą wystąpić różne stany rzeczy oraz zna prawdopodobieństwo ich występowania;
- 4) Podejmowanie decyzji w warunkach konfliktu¹⁰: decydent wie, że stany rzeczy reprezentują konkurencyjne strategie racjonalnego kontr-decydenta. Ryzykowną sytuacją decyzyjną określa się następujące sytuacje (ryc. 6):

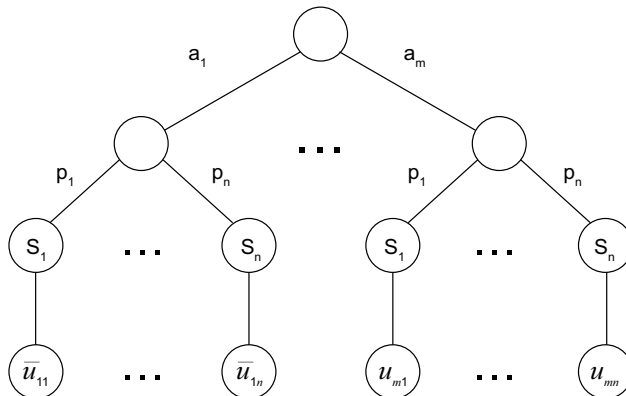
$$\langle A, S, u, p \rangle$$

gdzie: p – rozkład prawdopodobieństwa stanów rzeczy (natury, otoczenia)

$$p = \langle p_1, \dots, p_j, \dots, p_n \rangle$$

$$p_j = P_r(S_j) \geq 0, \quad \sum_{j=1}^n p_j = 1$$

Ryc. 6. Drzewo decyzji ryzykownych



Źródło: Opracowanie własne

W warunkach ryzyka decydent może stosować następujące kryteria podejmowania decyzji:

¹⁰ Tego typu sytuacje rozpatrywane są od ponad półwiecza w teorii gier.

- 1) reguła maksymalnego prawdopodobieństwa: decydent rozważa tylko użyteczność takiego stanu, który cechuje najwyższa wartość prawdopodobieństwa występowania stanu, i wybiera wariant, który wykazuje się najwyższą użytecznością w tym stanie;
- 2) reguła maksymalnej wartości oczekiwanej: decydent wybiera wariant, dla którego wartość oczekiwana użyteczność przyjmuje wartość największą:

$$\max_i E(u) = \max_i \sum_{j=1}^n p_j u_{ij}$$

- 3) reguły przewagi: wyników (*outcome dominance*) lub przewagi zdarzeń (*event dominance*);¹¹
- 4) reguły uwzględniające postawy decydena wobec ryzyka: awersję do ryzyka (*risk aversion*), neutralność wobec ryzyka (*risk neutrality*), skłonność do ryzyka (*risk seeking*), co wyraża się za pomocą określonej funkcji użyteczności; typowe funkcje decyzyjne mogą przybierać różną postać¹², na przykład:

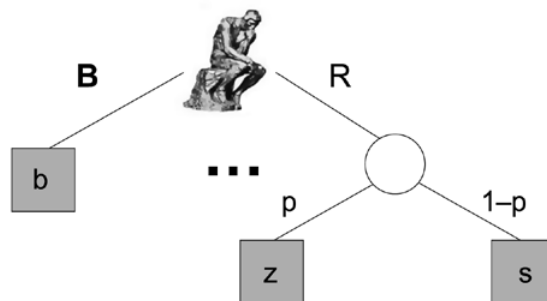
$$\psi_1(\mu, \delta) = \mu + a\sigma \text{ lub } \psi_2(\mu, \delta) = \mu + a\delta^2$$

gdzie stała a wyraża awersję ($a < 0$) lub skłonność ($a > 0$) do ryzyka.

Decydent po ustaleniu wartości a oraz obliczeniu wartości oczekiwanej użyteczności (μ) i odchylenia standardowego (δ) wybiera wariant, dla którego funkcja decyzyjna (ψ) przyjmuje wartość maksymalną.

Założmy, że decydent znajduje się w tzw. binarnej sytuacji decyzyjnej (ryc. 7), w której dokonuje wyboru między wariantem ryzykownym R a wariantem „nierzykownym” (bezpiecznym) B.

Ryc. 7. Ryzykujący decydent w binarnej sytuacji.



Źródło: opracowanie własne

¹¹ Szerzej na ten temat np. w pracy: H. Bierman, C. Bonini, W. Hausman, *Quantitative for Business Decisions*, Irwin, Illinois 1986.

¹² Założmy, że dana jest funkcja użyteczności $u(x)$ o własnościach ($\frac{d^2u}{dx^2} \leq 0$), zaś decydent – ryzykant funkcją wypukłą ($\frac{d^2u}{dx^2} \geq 0$), a decydent – neutralny funkcją liniową ($\frac{d^2u}{dx^2} = 0$).

Decyzja bezpieczna B prowadzi zawsze do znanych rezultatów o wartości $b > 0$, natomiast decydent, jeżeli podejmie decyzję ryzykowną, to albo z prawdopodobieństwem p odniesie sukces wyrażony wartością $z > 0$ lub z prawdopodobieństwem $1-p$ poniesie porażkę wyrażoną wartością straty $s < 0$. Najprostszą regułą decyzyjną można przedstawić następująco: decyzję bezpieczną należy podjąć, gdy spełniony jest warunek:

$$u(b) \geq p^* u(z) + (1-p)u(-s),$$

$u(\cdot)$ – funkcja użyteczności określająca stosunek decydentą do ryzyka; natomiast, gdy

$$u(b) < p^* u(z) + (1-p)u(-s),$$

to należy podjąć decyzję ryzykowną.

M. Nowakowska¹³ do powyższego modelu wprowadziła komponenty motywacyjne, a mianowicie: siłę motywu osiągnięcia sukcesu (M), siłę motywu uniknięcia niepowodzenia (F) oraz wartość pobudkową sukcesu i wartość pobudkową uniknięcia niepowodzenia, a ponadto koszt decyzji ryzykownej ponoszony niezależnie od tego, czy osiągnięty będzie sukces, czy nie. Nowakowska podała twierdzenia określające warunki wyboru decyzji R jako lepszej od decyzji B zarówno dla decydentą zorientowanego na sukces ($M > F$), jak również dla decydentą zorientowanego na uniknięcie niepowodzenia ($M < F$).

Teza klasycznego twierdzenia o ryzyku¹⁴ orzeka, że funkcja ryzyka może mieć postać:

$$R(p) = qV(p) - (1-p)E(p)$$

gdzie: $V(p)$ i $E(p)$ oznaczają odpowiednio wariancję i wartość oczekiwaną loterii p ¹⁵, a q jest pewną stałą spełniającą warunek $0 < q \leq 1$. Dla zerowej wartości oczekiwanej, ryzyko jest proporcjonalne do wariancji, natomiast przy stałej wariancji maleje ono liniowo wraz ze wzrostem wartości oczekiwanej.

MIARY RYZYKA PRZEDSIĘWZIĘĆ

Załóżmy, że dana jest ryzykowna sytuacja decyzyjna, dla której decydent dokonuje wyboru wariantu najmniej ryzykownego. W tym celu posługuje się miarami statystycznymi ryzyka, czyli dla każdego wariantu $a_i \in A$ wyznacza się wartości następujących wielkości:

¹³ M. Nowakowska, *Nowe idee w warunkach społecznych*. Ossolineum, Wrocław 1980.

¹⁴ J. Koziński, *Psychologiczna teoria decyzji*, PWN, Warszawa 1975.

¹⁵ Loterię przedstawia się jako zmienną losową $X = \{x_1, \dots, x_j, \dots, x_n\}$ o rozkładzie $p = (p_1, \dots, p_j, \dots, p_n)$ gdzie $\sum_{j=1}^n p_j = 1$, p_j – prawdopodobieństwo otrzymania obiektu x_j , $p_j \geq 0$.

- wartość oczekiwaną wyników

$$E(u_i) = \sum_{j=1}^n p_j u_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

- wariancję

$$V(u_i) = \sum_{j=1}^n p_j (u_j - E(u_i))^2$$

- odchylenie standardowe

$$\delta_i = \sqrt{V(u_i)}$$

- współczynnik zmienności

$$CV_i = \frac{\delta_i}{E(u_i)} * 100\%$$

Stosując regułę najmniejszego ryzyka, decyzją racjonalną jest wybór wariantu, dla którego wartość współczynnika zmienności jest najmniejsza, czyli:

$$\min\{CV_1, CV_2, \dots, CV_i, \dots, CV_n\}$$

W przypadku przedsięwzięć o charakterze inwestycji (rzeczowych lub finansowych) na szczególną uwagę zasługują metody dynamiczne oceny efektywności przedsięwzięć, korzystające z procentu składanego i dyskonta pozwalającego uaktualnić wartość dokonywanych (planowanych) rocznych dochodów na wybrany moment czasowy. Konieczna jest więc znajomość, wielkości stopy dyskontowej, wartości strumieni nadwyżki pieniężnej generowanej przez inwestycję oraz długości przyjętego okresu wtedy jako podstawowe wskaźniki oceny przyjmuje się następujące¹⁶:

- czas zwrotu nakładów inwestycyjnych;
- rentowność przedsięwzięcia (inwestycji);
- zaktualizowaną wartość netto NPV (*Net Present Value*), czyli sumę zdyskontowanych dla każdego roku przepływów pieniężnych netto, zrealizowanych w całym analizowanym okresie, przy stałym poziomie stopy dyskontowej:

$$NPV = \sum_{t=0}^n NCF_t (1+r)^{-t}$$

gdzie: NCF_t - przepływy pieniężne netto w roku t

r - stopa dyskontowa

n - okres realizacji projektu

- wewnętrzna stopa zwrotu IRR (*Internal Rate of Return*), tj. stopa procentowa, przy której $NPV=0$.

¹⁶ H. Dudycz, M. Dyczkowski, *Efektywność przedsięwzięć informatycznych*. Wrocław 2006.

Projekt należy przyjąć do realizacji, gdy $NPV > 0$ oraz $IRR > r$, przy pożądanej wartości czasu realizacji projektu i rentowności przedsięwzięcia.

Załóżmy, projekt rozpatrywany jest w kontekście scenariuszy rozwoju sytuacji w określonej przyszłości, przy czym najczęściej są antycypowane trzy scenariusze wraz z określonymi wartościami NPV i prawdopodobieństwem realizacji odpowiedniego scenariusza:

- scenariusz najbardziej prawdopodobny: NPV_B, p_B ;
- scenariusz optymistyczny: NPV_o, p_o ;
- scenariusz pesymistyczny: NPV_p, p_p .

Wtedy dla projektu określa się wartości podstawowych wskaźników statystycznych:

- $E(NPV) = p_B NPV_B + p_o NPV_o + p_p NPV_p$
- $V(NPV) = p_B NPV_B^2 - E(NPV)^2 + p_o (NPV_o - E(NPV))^2 + p_p (NPV_p - E(NPV))^2$
- $\delta(NPV) = \sqrt{V(NPV)}$
- $CV(NPV) = \frac{\delta(NPV)}{E(NPV)} \times 100\%$

Miarą ryzyka przedsięwzięć (projektu) jest wartość $V(NPV)$, $\delta(NPV)$ lub $CV(NPV)$.

MODELOWNIE SYSTEMOWYCH SYTUACJI KRYZYSOWYCH

Rozpatruje się **sytuację** systemową

$$\Sigma = \langle S, O, R \rangle$$

gdzie: S – system będący **obiektem** zagrożeń;

O – otoczenie, które tworzą obiekty będące **źródłem** zagrożeń;

$R \subset S \times O$ – zbiór relacji.

Obiekt zagrożeń charakteryzuje jego potencjał obronny (zabezpieczający):

$$P(s) \geq 0, s \in S.$$

Źródło zagrożeń charakteryzuje jego potencjał destruktywny: $P(o) \geq 0, o \in O$.

Na zbiorze R określono **relację zagrożenia** $R_z = R_z(o, s)$, taką że:

$$\wedge o R_z s \Leftrightarrow P(o) \geq P(s)$$

o, s

czyli obiekt $s \in S$ jest zagrożony przez $o \in O$.

Analiza systemowa sytuacji zagrożenia może być „skalowana” według dwóch **kryteriów oceny**:

- a) kryterium prawdopodobieństwa zaistnienia stanu zagrożenia (lub innej miary charakteryzującej możliwość wystąpienia zagrożenia, np. miary rozmytej),

b) kryterium powagi (*severity*) stanu zagrożenia (np. **ryzyko** oraz **wartość** zabezpieczanego systemu lub wartość dysponowanych przez niego zasobów).

Rozpatrzmy, jak poprzednio, pewną sytuację systemową Σ oraz założmy, że dane są wielkości:

- zagrożenia zewnętrzne $A(t)$ pochodzące z otoczenia (O) systemu (S),
- odporność systemu (S) na zagrożenia zewnętrzne $B(t)$, która odpowiada funkcji potencjału obronnego (zabezpieczającego).

Powyższe charakterystyki sytuacji są funkcjami losowymi o znanych rozkładach prawdopodobieństwa:

$$F(a,t) = Pr \{ A(t) < a \}, a \geq 0,$$

$$G(b,t) = Pr \{ B(t) < b \} b \geq 0, t \in T.$$

Uogólnionym wskaźnikiem bezpieczeństwa systemu może być prawdopodobieństwo, że zagrożenia nie przekroczą pewnego krytycznego (dopuszczalnego) poziomu $a_o \geq 0$, zaś odporność systemu będzie większa od pewnej wartości granicznej b_o , czyli $\beta(t) \equiv \beta(a_o, b_o) = Pr \{ A(t) \leq a_o, B(t) > b_o \}$ co przy założeniu statystycznej niezależności rozpatrywanych wielkości prowadzi do wskaźnika oceny bezpieczeństwa systemu: $\beta(t) = F(a_o, t)[1 - G(b_o, t)]$

Przyjmując pożądany poziom bezpieczeństwa systemu jako $\beta_o > 0$ powiemy, że w czasie T system jest bezpieczny, jeżeli w każdej chwili $t \in T$ spełniony jest warunek:

$$\beta(t) \geq \beta_o.$$

Jeżeli przyjmiemy, że niebezpieczną (kryzysową) sytuacją systemową jest sytuacja określona następująco: $(A(t) > a_o, B(t) \leq b_o)$, to możemy przyjąć, że wskaźnikiem bezpieczeństwa systemu jest prawdopodobieństwo tego, że w określonym czasie nie powstaną sytuacje niebezpieczne dla systemu.

Założmy, że możliwe i prawdopodobne zagrożenia zewnętrzne dla systemu $Z = \{z_i: i=1, 2, \dots, N\}$ mogą przynosić w czasie T straty wartości systemu (lub jego zasobów) odpowiednio: $W_i = w(Z)$, $i=1, 2, \dots, N$, przy czym dane są prawdopodobieństwa ich wystąpienia w czasie T : $p_i \equiv Pr\{z_i\}$, $p_i \geq 0$, $\sum_{i=1}^N p_i = 1$.

Na podstawie powyższych danych określa się następujące charakterystyki skutków zagrożeń zakładając niezależność skutków wystąpienia zagrożeń oraz, że i – te zagrożenie dotyczy obiektu i -tego o wartości V_p , przy czym $V_i - W_i \geq 0$:

- wartość oczekiwana: $\bar{W} = \sum_{i=1}^N p_i W_i$

- wariancja: $\text{var}(w) = \sum_{i=1}^N p_i (W_i - \bar{W})^2$

- odchylenie standardowe: $\Delta(w) = \sqrt{\text{var}(w)}$

- współczynnik zmienności: $r = \frac{\Delta(w)}{\bar{w}}$

wtedy, jako wskaźnik (miarę) ryzyka związanego z zagrożeniami (destrukcyjnym oddziaływaniem otoczenia systemu) przyjmuje się wartość współczynnika zmienności r . Model ten dotyczy przypadku rozpatrywania systemu jako pasywnego obiektu zagrożeń.

Ryzykowną sytuację decyzyjną przedstawiono w postaci sformalizowanego scenariusza, zakładając racjonalność decyzyjną otoczenia systemu, czyli zagrożeń.

Załóżmy, że w chwili $t=0$ wartość systemu wynosi $v_o > 0$ i równa się sumie

wartości poszczególnych elementów (podsystemów), czyli: $v_o = \sum_{j=1}^M v_{jo}$

Znany jest zatem rozkład wartości w strukturze systemu S:

$$\langle v_{10}, v_{20}, \dots, v_{j0}, \dots, v_{m0} \rangle \text{ gdzie } v_{j0} = \frac{v_{jo}}{v_o}.$$

Otoczenie generuje zagrożenia skierowane na system $Z \rightarrow S$, przy czym wartość oczekiwana strat w obiekcie $S_j \in S$ w wyniku wystąpienia zagrożenia $Z_i \in Z$ wynosi W_{ij} , $0 \leq W_{ij} \leq v_{ij}$. Jeżeli założymy, że do chwili t wystąpiło N zagrożeń oraz, że teoretycznie na każdy obiekt mogą być skierowane wszystkie możliwe i prawdopodobne zagrożenia, to w chwili t wartość obiektu S_j wyniesie $v_{jt} = v_{jo} - \sum_{i=1}^N W_{ij} \geq 0$, zaś wartość systemu po „zmasowanym” zagrożeniu

$$\text{wyniesie } v_t = \sum_{j=1}^M v_{jt} = \sum_{j=1}^M \left(v_{jo} - \sum_{i=1}^N W_{ij} \right)$$

przy czym straty systemu wyniosą: $v_o - v_t \geq 0$.

W scenariuszu zagrożeń zakłada się zachowanie otoczenia określone zmienną:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{jeśli zagrożenie } Z_i \text{ skierowane zostało na obiekt } S_j, \\ 0, & \text{w przeciwnym wypadku} \end{cases}$$

czyli określa się „przydział” poszczególnych zagrożeń do poszczególnych obiektów, przy czym spełnione muszą być warunki:

$$\sum_{j=1}^M x_{ij} = 1, i = 1, \dots, N$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1, j = 1, \dots, M$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M x_{ij} \leq M \leq N$$

Wtedy funkcja wartości systemu w chwili t ma postać:

$$v_t(x) = \sum_{j=1}^M \left(v_{j,p} - \sum_{i=1}^N W_j X_j \right)$$

Następnie zakłada się, że otoczenie dokonuje wyboru takiego „przydziału” zagrożeń na elementy systemu, który minimalizuje wartość systemu w chwili t , czyli:

$$\min v_t(x) = v_t(x^*) \\ x \in X$$

gdzie X – zbiór dopuszczalnych decyzji otoczenia x^* – optymalna strategia ataku na pasywny system, tj. nie dysponujący środkami obrony (ochrony).

Założmy obecnie, że system dysponuje środkami przeciwdziałania zagrożeniom (środkami obrony i ochrony) określonymi zbiorem $B = \{B_k: k=1, 2, \dots, K\}$, zmniejszając jego podatność na zagrożenia.

Użycie środka B_k przeciw zagrożeniu powoduje zmniejszenie jego skutków (strat obiektu) o wartość określoną pewną funkcją:

$f_{ijk} = f(W_{ij}, b_{ijk}) \geq 0$, gdzie b_{ijk} – wielkość „osłabienia” oddziaływania zagrożenia Z_i na obiekt S_j zabezpieczony przez B_k . Wtedy wartość systemu aktywnego (zabezpieczanego) wynosi w chwili t : $0 \leq v_t \leq v_o$.

Niech decyzję systemu określa zmienna:

$$Y_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{jeśli } B_k \text{ zabezpiecza obiekt } S_j \text{ przed zagrożeniem } Z_i, \\ 0, & \text{w przeciwnym wypadku} \end{cases}$$

czyli określa się „potencjał” poszczególnych środków zabezpieczenia do poszczególnych obiektów przed możliwymi i dopuszczalnymi zagrożeniami, przy czym:

$$\sum_{k=1}^K Y_{ijk} \leq M$$

czyli każdy obiekt jest zabezpieczany (w szczególności za wyjątkiem tych obiektów, których ochrona jest nieopłacalna). Wtedy funkcja wartości w chwili t ma postać:

$$v_t(x, y) = \sum_{j=1}^M \left(v_{j,p} - \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K f_{ijk} x_j y_{ijk} \right)$$

przy czym zakładamy, że decyzja otoczenia $x = \langle x_{ij} : i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, M \rangle$ jest systemowi znana.

Natomiast system dokonuje takiego „przydziału” środków zabezpieczenia do ochrony poszczególnych elementów przed przewidywanymi zagrożeniami, który maksymalizuje wartość systemu w chwili t , czyli: $\max_{y \in Y} V_t(\hat{x}, y) = V_t(\hat{x}, y^*)$, gdzie Y – zbiór dopuszczalnych decyzji systemu, y^* – optymalna strategia obrony systemu aktywnego przed zagrożeniami ze strony otoczenia.

Załóżmy, że dana jest uogólniona funkcja wartości systemu taka, że sytuacja zagrożenia może być sprawdzona do **modelu sytuacji konfliktowej** w postaci gry **dwuosobowej**: $\Gamma = \langle S, O; Y, X, F(x, y) \rangle$ gdzie $F(x, y)$ jest funkcją „wplaty”, czyli:

$$\max_{y \in Y} \min_{x \in X} F(x, y)$$

System maksymalizuje swoją wartość (wartość zasobów), otoczenie zaś minimalizuje ją, czyli maksymalizuje straty systemu.

Sytuację konfliktową określa zatem następująca struktura: $SYT \equiv \langle S, O, R; Z, B \rangle$ oraz model gry: $\Gamma = \langle S, O; X, Y; F(x, y), x \in X, y \in Y \rangle$.

ZAKOŃCZENIE

Zamiast podsumowania warto być może posłużyć się wnioskami płynącymi z analizy dość szczególnego przypadku, a mianowicie katastrofy promu kosmicznego Challenger w 1986 r. W składzie Komisji Prezydenckiej badającej przyczyny katastrofy znaleźli się m.in. astronauta N. Armstrong, gen. dyw. D. Kutyna i słynny fizyk-noblista R. Feynmann.

Zgodnie z zaleceniami NASA stosowano jakościową ocenę ryzyka, zaś decyzję o misji podejmowano, gdy zagregowany poziom ryzyka pozostawał na akceptowanym poziomie.¹⁷ Feynmann zauważył, że podejmowanie decyzji w NASA: „... przypominało rosyjską ruletkę ... prom latał przy erozji pierścieni i nic się nie działo. To sugerowało, że ryzyko nie jest już tak wysokie dla następnych lotów. Można było obniżyć nieco standardy, ponieważ ostatnim razem jakoś się udało... Udało się, ale nie należy tego procesu eksploatować”.¹⁸

Na podstawie analizy wielu przypadków stwierdza się, że w zarządzaniu projektami najistotniejszą umiejętnością, jaką może osiąść menadżer projektu, jest zarządzanie ryzykiem. Skuteczne zarządzanie ryzykiem wymaga od menadżera aktywnej postawy i gotowości do opracowania planów awaryjnych, aktywnego monitorowania projektu i szybkiego reagowania w sytuacjach zagrożeń dla powodzenia przedsięwzięcia. Efektywne zarządzanie ryzykiem wymaga poświęcenia czasu i pieniędzy.

¹⁷ C. L. Pritchard, *Zarządzanie ryzykiem w projektach*, WIG-PRESS, Warszawa 2002.

¹⁸ *Ibidem*, s. 237

RISK EVALUATION MODELS IN A CRISIS MANAGEMENT

Abstract. Investigations of the situation characterized by uncertainty and risk in the last century, particularly in situations of crisis and conflict, were carried out at different levels of generality and specificity. In this article, the methodological foundations of risk evaluation models in situations of threats to system security are described. The general decision model in circumstances of risk and uncertainty and statistical risk measurement methods for crisis management are depicted. The examples of the mathematical models of the risk evaluations are also presented.

Key words: risk, risk evaluation, risk management, analysis and assessment of the risk models, crisis management