



POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

BADANIA SYSTEMOWE

Inżynieria Środowiska

**BEZPIECZEŃSTWO SYSTEMÓW
ZBIOROWEGO ZAOPATRZENIA
W WODĘ**

Janusz Rak

Barbara Tchórzewska-Cieślak

Jan Studziński

Warszawa 2013



**POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH**

Seria: BADANIA SYSTEMOWE

Tom 72

**Redaktor naukowy:
Prof. dr hab. inż. Jakub Gutenbaum**

Warszawa 2013

Rada redakcyjna serii: **BADANIA SYSTEMOWE**
Inżynieria Środowiska

Prof. Olgierd Hryniewicz - przewodniczący

Prof. Jakub Gutenbaum – redaktor naczelny

Prof. Janusz Kacprzyk

Prof. Tadeusz Kaczorek

Prof. Roman Kulikowski

Prof. Marek Libura

Prof. Krzysztof Malinowski

Prof. Zbigniew Nahorski

Prof. Marek Niezgódka

Prof. Roman Słowiński

Prof. Jan Studziński

Prof. Stanisław Walukiewicz

Prof. Andrzej Weryński

Prof. Antoni Żochowski



**POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH**

Janusz Rak

Barbara Tchórzewska-Cieślak

Jan Studziński

**BEZPIECZEŃSTWO SYSTEMÓW
ZBIOROWEGO ZAOPATRZENIA
W WODĘ**

Warszawa 2013

Copyright © by Instytut Badań Systemowych PAN
Warszawa 2013

Autorzy:

Prof. dr hab. inż. Janusz R. Rak

Politechnika Rzeszowska
rakjan@prz.edu.pl

Dr hab. inż. Barbara Tchórzewska-Cieślak

Politechnika Rzeszowska
cbarbara@prz.edu.pl

Dr hab. inż. Jan Studziński

IBS PAN Warszawa
studzins@ibspan.waw.pl

Recenzenci:

Prof. dr hab. inż. Janusz Łomotowski

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Dr hab. inż. Izabela Zimoch

Politechnika Śląska w Gliwicach

Skład: Aneta M. Pielak

Wydawca:

Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk
Newelska 6, 01-447 Warszawa
www.ibspan.waw.pl

*Publikacja wydana ze środków projektów rozwojowych
Narodowego Centrum Badań i Rozwoju
nr NR 14-0006-10/2010 oraz NR 14-0011-10/2010*

ISSN 0208-8029

ISBN 83-894-7549-9

7. Zasady postępowania w obliczu ryzyka

7.1. Mechanizmy powstawania zdarzeń niepożądanych

- ***Zmiana stanu równowagi***

W okresie normalnej eksploatacji system znajduje się w stanie równowagi trwałej. W czasie eksploatacji pojawiają się zaburzenia, które skutkują przejściem do stanów chwiejnych systemu. System z tego rodzaju stanów stara się przejść do stanu równowagi stabilnej. Jeżeli tym nowym stanem równowagi jest stan niepożądany (destrukcyjny), to efektem tego przejścia są straty wewnątrz systemu lub w jego otoczeniu. Przebywanie systemu w stanie chwiejnym należy interpretować ze stanem zagrożenia. Ujemne zaburzenie stanu chwiejnego powoduje w sposób nieunikniony przejście do stanu niepożądanego (awaryjnego). Ten sposób rozumowania wykorzystuje matematyczna teoria katastrof. Przemiany nieliniowe zmieniające się w sposób skokowy zmieniają właściwości analizowanego systemu. Warunkiem korzystania z aparatu matematycznego teorii katastrof jest wymóg opisanego stanów systemu formułami różniczkowymi. Katastroficznemu (skokowemu) zmianie stanu systemu odpowiada zmiana typu różniczkowej funkcji modelującej. Trudnością w tym zakresie jest adekwatność zapisu różniczkowego stanów systemu (Rak, 2009a; Rak, Tchórzewska-Cieślak, 2007a).

- ***Koincydencja niezależnych czynników***

Rekonstrukcje wielu awarii technicznych wskazują, że nałożenie się w czasie i przestrzeni określonych niezależnych czynników jest przyczyną ich występowania. Mechanizm koincydencji wykorzystywany jest w analizach systemowych zdarzeń niepożądanych. Metody możliwe do zastosowań, to: analiza błędów (ETA), analiza drzewa zdarzeń (FTA) oraz analiza przyczyn i skutków (CCA). Zarządzanie ryzykiem ma za zadanie unikanie stanów koincydencji poprzez separację czasowo-przestrzenną czynników kolizyjnych (Rak, Tchórzewska-Cieślak, 2007a).

- ***Niewłaściwe współdziałanie obiektów***

Zakłada się, że sygnał dowolnej natury ma znaczenie diagnostyczne dla bezpieczeństwa systemu. Takie przyjęcie prowadzi do rozpatrywania detekcji sygnału. Możliwe jest popełnienie błędów I i II rodzaju (Rak, 2009a). Brak detekcji sygnału związany jest z błędem I rodzaju. Fałszywa detekcja sygnału, który w rzeczywistości nie wystąpił, związana jest z błędem II rodzaju. Oba rodzaje błędów prowadzą do niewłaściwego współdziałania obiektów systemu, a w rezultacie prowadzi to do utraty bezpieczeństwa. Tego rodzaju mechanizmy powstawanie zdarzeń niepożądanych mają przede wszystkim miejsce w sytuacjach, gdy napływ informacji ma charakter ciągły, a proces decyzyjny jest dyskretny w czasie. Sygnałami diagnostycznymi mogą być:

- parametry kontrolne prowadzonego procesu uzdatniania wody,
- ostrzegawcze sygnały o niesprawności urządzeń,
- błędy decyzyjne operatora.

Podstawowym mechanizmem przeciwdziałania jest ciągły monitoring. Towarzyszą mu stany zawodnościowe związane z brakiem alarmów lub alarmami fałszywymi (Rak, 2009a).

- ***Przemieszczanie zagrożenia***

Jeżeli pomiędzy źródłem zagrożenia a obiektem zagrożonym istnieje dodatnia różnica potencjału (ciśnienia, temperatury, stężenia), to możliwy jest przepływ nośnika zagrożenia ze źródła do obiektu. Natężenie przepływu zagrożenia jest wprost proporcjonalne do różnicy potencjałów, a odwrotnie proporcjonalne do zdolności obronnych (oporu przepływu). Mechanizm taki nadaje się do opisu i analizy zagrożeń pochodzących od sił natury i zagrożeń emisji przemysłowych. Przeciwdziałania ochronne polegają na neutralizacji nośnika zagrożenia poprzez różnego rodzaju bariery, ekrany, filtry itp., które powinny spowalniać (odbijać) przemieszczające się zagrożenie (Rak, 2009a, b, c).

- ***Strategia konfliktu***

Istnieje kategoria zdarzeń niepożądanych, których istota wynika ze strategii działania i podejmowania decyzji. Działania ryzykowne związane są z realizacją celu sprzecznego z celem strony przeciwnej. Za przeciwnika uznaje się obiekty, urządzenia, siły natury itp. Sytuacja sprzeczności celów prowadzi do konfliktu,

a poszukiwanie rozwiązania konfliktu jest swego rodzaju grą (teoria gier). Parametrami gry są (Rak, 2009a):

- strategie graczy,
- poziom akceptowanego ryzyka, który jest proporcjonalny do stopnia niewiedzy o strategiach przeciwnika,
- poziom przegranej, która w badaniach nad bezpieczeństwem identyfikowana jest z poziomem ciężkości awarii.

W literaturze tematu powszechnie znane są gry ze stanami natury. Możliwość uwzględnienia czynnika strat finansowych powoduje, że schemat ten znajduje zastosowanie w analizach ryzyka (Rak, 2009a).

- ***Emergencja destruktywnych cech***

Wzrost złożoności systemów technicznych generuje nowe, nieznanе dotąd cechy i właściwości. Fenomen ten nosi nazwę emergencji i może dawać efekt pozytywny i negatywny. Przykłady niebezpiecznych emergencji związane są ze współczesną cywilizacją informatyczną (przestępczość komputerowa), zjawiskami społecznymi (terroryzm), czy mutacjami mikroorganizmów chorobotwórczych. Bezpieczność systemu technicznego można zdefiniować jako cechę emergentną utożsamianą z odpornością systemu na zakłócenia. Emergencja objawia się przede wszystkim w systemach miękkich (*soft*) o dużej rozmytości struktury, celów działania i oddziaływań zewnętrznych. Ochrona polega na predykcji przekroczeń progów emergencji w celu uzyskania możliwości przeciwdziałania tego typu zdarzeniem niepożądanym (Rak, 2009a).

7.2. Jakościowe rozważania nad percepcją ryzyka

Wyniki badań w ramach psychologicznej teorii decyzji stwierdzają, że percepcja ryzyka przez człowieka jest wypadkową czynników poznawczych, osobowościowych i emocjonalnych. Ocena ryzyka zależy także od rodzaju ryzyka, z jakim człowiek ma do czynienia. Stwierdzono, że angażowanie się w działania na rynku finansowym wywołują odmienne doznania emocjonalne, niż podejmowanie działań związanych z zagrożeniem zdrowia lub życia. Badania jakościowe percepcji ryzyka pozwoliły na ustalenie pewnych reguł z tego zakresu (Rak, 2009a, 2012a):

- na ocenę ryzyka wpływa stopień obycia człowieka z danym zdarzeniem niepożądanym. Czynności, których człowiek nigdy nie wykonywał, są dla niego znacznie trudniejsze niż procedury, w których nabrał już wprawy a nawet rutyny;
- posiadana wiedza człowieka o negatywnych skutkach zdarzeń niepożądanych ma wpływ na ocenę ryzyka. Posiadanie stosownych informacji wpływa na aktywne poszukiwanie oraz wyczulenie na symptomy sytuacji niebezpiecznej w celu uniknięcia błędu i sprokrowanie zdarzenia niepożądanego;
- na ocenę ryzykownych działań ma wpływ wielkość negatywnych konsekwencji. Im są one większe, tym większe ryzyko przypisywane działaniom potencjalnie z nim związanymi. Człowiek identyfikuje się z najbardziej niekorzystnymi scenariuszami. Z tego powodu w analizach i ocenach ryzyka przez ekspertów podaje się liczbę osób poszkodowanych (utrata zdrowia, zejścia śmiertelne), obniżenie średniego czasu życia człowieka itp.;
- człowiek w znacznym stopniu przecenia ryzyko działań narzuconych, a nie dowartościowuje ryzyko działań dobrowolnych;
- człowiek w mniejszym stopniu docenia zagrożenia, których negatywne skutki mogą pojawić się w odległej, trudnej do przewidzenia przyszłości;
- ryzyko ma charakter katastroficznego lub chronicznego. Człowiek uwrażliwiony jest na przestrzeganie ryzyka katastroficznego ale w długim okresie czasu, jak wykazują badania, większe jest ryzyko chroniczne, co nie jest należycie doceniane;
- możliwość wprowadzenia działań korygujących obniża poziom subiektywnego odbierania ryzyka;
- poziom lęku ma istotne znaczenie na wielkość postrzeganego ryzyka.

Ogólnie w ujęciu jakościowym percepcji ryzyka wyróżnia się trzy podstawowe grupy czynników. Są to: czynnik ryzyka nieznanego, czynnik liczby osób narażonych na niebezpieczeństwo, czynnik ryzyka wzbudzającego lęk (Rak, 2009a, 2012a).

Metody ilościowe analizy i oceny ryzyka opierają się na danych statystycznych ze zdarzeń niepożądanych i pozwalają na względne oszacowanie poziomu ryzyka. Metody jakościowe pozwalają uwzględnić subiektywną ocenę ryzyka

i mogą uwzględnić psychologiczną przyczynowość zdarzeń niepożądanych. Współcześnie panuje pogląd o obiektywnej i subiektywnej naturze bezpieczeństwa i niepewności z nim związanej. W tab. 7.1 zaprezentowano obiektywny i subiektywny wymiar bezpieczeństwa (Rak, 2009a).

Tabela 7.1. Wymiary i błędy w przestrzeganiu bezpieczeństwa.

Ryzyko subiektywne	Ryzyko obiektywne	
	Duże	Małe
Duże	brak bezpieczeństwa realnego	niebezpieczeństwo fałszywe (obsesja)
Małe	bezpieczeństwo fałszywe	bezpieczeństwo realne

Zaprezentowany model bezpieczeństwa obejmuje stany:

- brak bezpieczeństwa – gdy występuje duże rzeczywiste zagrożenie a postrzeganie tego zagrożenia jest adekwatne (prawidłowe),
- fałszywego niebezpieczeństwa (obsesji) – gdy niewielkie zagrożenie jest postrzegane jako duże,
- fałszywego bezpieczeństwa – gdy zagrożenie rzeczywiste jest duże (poważne) a postrzeganie jego jest małe (niewielkie),
- bezpieczeństwa – gdy zagrożenie rzeczywiste jest małe (nieznaczne) a jego postrzeganie adekwatne (prawidłowe).

Bezpieczeństwo w takim rozumieniu ma związek ze stanem percepcji społecznej. W tab. 7.2. przedstawiono uogólnione postawy badanych wobec ryzyka (Rak, 2009a, 2012a).

Awersję do ryzyka wykazuje konsument, który preferuje uzyskanie pewnego zysku, zamiast dokonania wyboru pomiędzy wariantami, których wartość oczekiwana jest równa ww. pewnemu zyskowi (Rak, Tułacz, 2007).

Obojętność względem ryzyka wykazuje konsument, który jest obojętny wobec pewnego zysku oraz wyboru pomiędzy wariantami, których wartość oczekiwana jest równa ww. pewnemu zyskowi.

Skłonność do ryzyka wykazuje konsument, który preferuje wybór pomiędzy wariantami, zamiast pewnego zysku, ignorując fakt, że wartość oczekiwana zysku na skutek wyboru wariantu jest równa ww. pewnemu zyskowi.

Tabela 7.2. Postawy wobec ryzyka w obliczu potencjalnych wzrostów i spadków komfortu z uwzględnieniem prawdopodobieństwa zaistnienia zdarzenia.

Wartości prawdopodobieństw	Wzrost komfortu	Spadek komfortu
Wysokie i bardzo wysokie prawdopodobieństwa	Awersja do ryzyka	Skłonność do ryzyka
Niskie i bardzo niskie prawdopodobieństwa	Skłonność do ryzyka	Awersja do ryzyka

7.3. Relacja zagrożenie techniczne – bezpieczeństwo techniczne

Zagrożenie techniczne (ZT) jest funkcją rosnącą negatywnego oddziaływania (NO) obiektu technicznego (OT) na otoczenie:

$$ZT = f_{ZT}(NO) \quad (7.1)$$

Bezpieczeństwo techniczne (BT) jest funkcją malejącą szkód (Sz) powstałych wskutek negatywnego oddziaływania OT na otoczenie:

$$BT = f_{BT}(Sz) \quad (7.2)$$

Z tak zdefiniowanych wielkości wynikają następujące współzależności (Markowski, 2008):

właściwości funkcji f_{ZT}

jeżeli $NO_i < NO_j$, to $ZT_i < ZT_j$.

jeżeli $NO_i = NO_j$, to $ZT_i = ZT_j$.

jeżeli $NO_i > NO_j$, to $ZT_i > ZT_j$.

właściwości funkcji f_{BT}

jeżeli $Sz_i < Sz_j$, to $BT_i > BT_j$

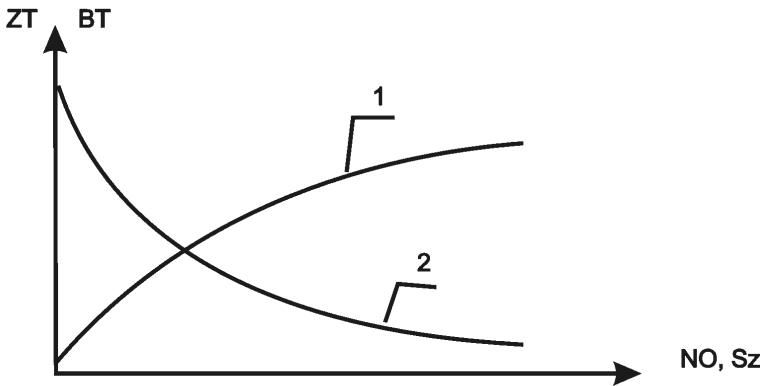
jeżeli $Sz_i = Sz_j$, to $BT_i = BT_j$

jeżeli $Sz_i > Sz_j$, to $BT_i < BT_j$

Z teoretycznego punktu widzenia obowiązuje:

$$0 \leq NO < \infty \text{ i } 0 \leq Sz < \infty$$

Na rys. 7.1 pokazano przykładowe przebiegi funkcji zagrożenia technicznego „1” i bezpieczeństwa technicznego „2”.



Rys. 7.1. Przebiegi funkcji $ZT = f_{ZT}(NO)$ i $BT = f_{BT}(Sz)$.

Z praktyki eksploatacyjnej i danych historycznych innych tożsamyh OT wynika, że oba prawostronnie otwarte przedziały posiadają kresy górne, co można zapisać:

$$0 \leq NO \leq NO_{\max} \text{ i } 0 \leq Sz \leq Sz_{\max} \tag{7.3}$$

Wartość $NO = 0$ oznacza minimalną wartość zagrożenia technicznego $ZT = ZT_{\min}$, co często jest identyfikowane z praktycznie zerowym zagrożeniem, a $NO = NO_{\max}$ oznacza maksymalne możliwe $ZT = ZT_{\max}$.

W wypadku $Sz = 0$ uzyskuje się maksymalną praktycznie możliwą wartość $BT = BT_{\max}$, często identyfikowaną z absolutnym bezpieczeństwem, a $Sz = Sz_{\max}$ oznacza minimalną wartość $BT = BT_{\min}$.

Przedstawione rozważania prowadzą do wniosku, że wielkość NO jest miarą zagrożenia technicznego, a wielkość Sz stanowi miarę bezpieczeństwa techniczne-

go. Na drodze statystycznej można określić probabilistyczne miary zagrożenia technicznego (ZT_p) i bezpieczeństwa technicznego (BT_p). Miary te można identyfikować z ryzykiem powstania szkód i ryzykiem negatywnego oddziaływania (Rak, 2009a).

IBS PAN *Serw*

47323

Bibl. podręczna

ISSN 0208-8029
ISBN 83-894-7549-9

**INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

tel.: (+48) 22 3810246 / 22 3810277 / 22 3810241 / 22 3810273

e-mail: biblioteka@ibspan.waw.pl