



**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**

## 2. Podstawy analizy ryzyka

### 2.1. Ważniejsze definicje i pojęcia dotyczące systemów technicznych

Elementem podstawowym nazywamy dostatecznie samodzielną i wyraźnie odrębną część systemu, podsystemu lub obiektu.

System jest to skorygowany wewnętrznie i wykazujący określoną strukturę układ elementów. Rozpatrywany od zewnątrz jest całością, rozpatrywany od wewnątrz jest zbiorem, do którego przynależność warunkują związki między jego elementami. Ogół elementów systemu nazywa się zbiorem a ogół relacji między nimi, uwarunkowanych poprzez przynależność do systemu, nazywa się strukturą (Bertalanffy, 1984; Findeisen, 1985; Łunarski, 2010; Rak, 2003b).

System tworzy zespół wyróżnionych z reszty świata rzeczywistych lub abstrakcyjnych elementów, spełniających następujące warunki:

- określone są związki między elementami,
- każdy element jest wewnętrznie niepodzielny,
- w oddziaływaniu na otoczenie system występuje jako całość.

Według ogólnej teorii systemów pojawiają się następujące definicje (O'Connor, 1991):

- terminu *system* używa się do określenia zorganizowanego uporządkowanego obiektu składającego się z elementów powiązanych wzajemnie i działających jak jedna całość, zespół lub grupa elementów nieodzownych w celu wykonania złożonego zadania.
- system z matematycznego punktu widzenia, to pewna część rzeczywistości, której w dowolnej chwili czasu można przypisać konkretne wartości z danego zbioru zmiennych. System nie jest sumą elementów podlegających prawom związku przyczynowego, lecz ogółem relacji między elementami,
- systemem nazywa się każdy złożony obiekt wyróżniony z badanej rzeczywistości, tworzący całość poprzez zbiór elementów i relacji pomiędzy nimi,

- system, to wybrany celowo zbiór elementów i zjawisk powiązanych określonymi zależnościami i oddziaływaniami,
- system jest to zbiór uporządkowanych w określony sposób elementów powiązanych wzajemnie ze sobą i tworzących pewną całość,
- system, to odwzorowanie przez obserwatora zbioru elementów i ich stosunków oraz stosunków między zbiorem a środowiskiem z punktu widzenia rozwiązania określonego zadania.

Przedstawione charakterystyki pojęć i terminów związanych z systemami technicznymi opracowano na podstawie prac (Bertalanffy, 1984; Ceu Almeida, 2010; Findeisen, 1985; Łunarski, 2010; Pogorzelski, 1999; Rak, 2009a):

- analiza systemowa – zbiór technik analitycznych stosowanych do modelowania i identyfikacji systemowych sytuacji decyzyjnych,
- bezpieczeństwo systemu – cecha wyrażająca odporność systemu na zagrożenia,
- cel systemu - zamierzony efekt działania systemu poprzez jego podsystem operacyjny,
- adaptery – cechy systemu odpowiedzialne za realizację przystosowujące system,
- deskryptory – cechy opisujące system,
- indykatory – cechy sygnalizujące stan systemu (dynamiczny lub statyczny),
- predykatory – cechy prognozujące przyszły stan systemu,
- kryteria – cechy oceniające system,
- charakterystyka systemu – obejmuje istotne parametry działania w danej sytuacji systemowej; wyróżnia się charakterystykę problemową, identyfikacyjną i ocenową,
- diagnostyka systemu – ocena wyróżnionych własności systemu z wykorzystaniem kontroli jego stanu,
- decyzja – postanowienie wykonania czegoś w określony sposób, akt świadomego wyboru z co najmniej dwóch sytuacji; efektywność systemu – cecha wyróżniająca całokształt możliwości osiągnięcia celów po-

przez zaspokojenie potrzeb lub funkcjonowanie zgodne z przeznaczeniem,

- eksploatacja systemu – proces użytkowania poprzez wykorzystanie potencjału technicznego i ludzkiego wraz z renowacją, czyli odtwarzaniem potencjału systemu,
- funkcjonalność systemu – cecha wyróżniająca zdolność do wypełniania przez system przypisanych mu funkcji,
- gotowość systemu – cecha wyróżniająca zdolność do wykonywania zadań zgodnie z wymaganiami określonymi w czasie i przestrzeni,
- homeostaza - cecha wyróżniająca zdolność do samoistnego utrzymywania równowagi dynamicznej,
- inżynieria systemów – dziedzina wiedzy związana z praktyczną działalnością w zakresie tworzenia modeli wykorzystywanych w procesie projektowania realnych systemów, a także w zakresie zmian w systemach już istniejących,
- jakość systemu – cecha wyróżniająca stopień spełnienia określonych wymagań funkcjonalnych i strukturalnych,
- metodologia systemowa – dziedzina wiedzy zajmująca się opracowaniem metod i technik systemowych wraz z zasadami praktycznego ich stosowania,
- model systemu – odwzorowanie systemu dla danych potrzeb w postaci odmiennej od postaci realnej, w celach poznawczych (modele zjawiskowe, ocenowe, decyzyjne, prognostyczne),
- niepewność – cecha sytuacji (zjawiska) charakteryzująca się brakiem pełnej, aktualnej i wiarygodnej informacji,
- niezawodność systemu - cecha wyróżniająca zdolność do realizacji zadań w określonych warunkach funkcjonowania i w danym okresie lub w dowolnej chwili czasu,
- obiekt systemu – wyróżniona pod względem funkcjonalnym część systemu będąca przedmiotem badań,
- odnowa systemu – proces odtwarzania potencjału zużytego w procesie funkcjonowania, poprzez zmianę lub wymianę elementów systemu,



- optymalizacja systemu – procedura wyznaczania cech maksymalizujących lub minimalizujących funkcje przyjęte jako kryterium, przy danych ograniczeniach,
- otoczenie systemu – relacje wiążące dany system z obiektami nie należącymi do systemu, które oddziałują na system lub są przedmiotem oddziaływania danego systemu,
- podsystem – grupa elementów tworzących funkcjonalną całość i będąca integralną częścią systemu,
- prognozowanie – funkcja obejmująca zbiór procesów w celu określenia przyszłych własności systemu,
- projektowanie systemu – koncepcyjne opracowanie funkcjonowania systemu: wyróżnia się projektowanie innowacyjne – nowych systemów, i modernizacyjne – zmian w istniejących systemach,
- sterowanie – proces oddziaływania jednego obiektu na drugi w celu przeciwdziałania zmianom niepożądanym lub wywołania zmian pożądanym,
- strategia – wybór perspektywicznych celów i metod ich osiągnięcia,
- struktura systemu – zbiór relacji między elementami tworzącymi system,
- systemometria – dziedzina zajmująca się pomiarem cech systemu,
- teoria systemów – nauka o systemach, której podstawowym celem jest formułowanie praw systemowych oraz tworzenie ich modeli,
- trwałość systemu – cecha związana z czasem życia systemu będącego w stanie zdolności do spełnienia podstawowych funkcji,
- wartość systemu – cecha, której strata powoduje zanik własności systemowych,
- zarządzanie – dysponowanie określonymi zasobami systemu w celu osiągnięcia zamierzonych celów,
- zasoby – całokształt podmiotów i przedmiotów używanych w procesie działania systemu dla osiągnięcia zamierzonych celów: ludzie, materiały, energie, informacje itp.,
- system analityczny – zespół elementów do realizacji procesów analizy informacyjnej i decyzyjnej,

- system antropotechniczny – zespół elementów technicznych do realizacji określonego zadania,
- system decyzyjny – zespół elementów wykorzystywany do realizacji procesów decyzyjnych,
- system informacyjny – zespół elementów do zbierania, magazynowania i przesyłu danych,
- system socjotechniczny – zespół elementów technicznych, organizacyjnych i zespołów ludzkich,
- system techniczny – zespół elementów nieożywionych połączonych odpowiednimi zależnościami.

**Awarią** nazywa się uszkodzenie obiektu, systemu lub podsystemu uniemożliwiająca lub ograniczająca jego dalsze funkcjonowanie w pewnym odcinku czasu, np. awaria rurociągu powodująca przerwy w dostawie wody dla pojedynczych odbiorców, niewielki spadek ciśnienia w sieci. Pod tym pojęciem w odniesieniu do SZZW można wyróżnić dodatkowo:

- poważną awarię, np. awaria rurociągu powodująca przerwy w dostawie wody dla poszczególnych osiedli, dzielnic lub części miasta, spadek ciśnienia w sieci wodociągowej;
- krytyczną awarię, np. awaria rurociągu powodująca brak dostawy wody dla całego miasta, wtórne skażenie wody w sieci wodociągowej.

**Wypadek** jest zdarzeniem niekontrolowanym powodującym znaczne straty, które można opanować lub zniwelować lokalnymi środkami.

**Incydent** jest to wypadek bez następstw, np. przeciek wody, awaria rurociągu niepowodująca znaczących utrudnień w funkcjonowaniu SZZW.

**Katastrofa**, to zajście nieszczęśliwego wypadku mającego tragiczne skutki, niezależnie od tego, czy funkcjonowanie systemu jest ograniczone, czy też w ogóle przestał on działać.

Podstawowymi miarami **uszkodzenia katastroficznego** są: liczba zgonów ludzi, ciężkich chorób lub kalectw, straty materialne oraz prawdopodobieństwa ich zajścia.

**Termin klęska** jest używany zamiennie z terminem **katastrofa**, lecz katastrofa rozpatrywana jest przede wszystkim w kategoriach fizycznych. Klęska odzwierciedla stosunek emocjonalny do zachodzących zjawisk i stanowi odczucie społeczeństwa zagrożonego nieszczęściem; jest określona czasem i przestrzenią.

**Kryzys** określa się jako okres wielkich trudności lub niebezpieczeństw, zagrożenie priorytetowych wartości. Kryzys nie jest zdarzeniem, ale sytuacją - następstwem zdarzeń.

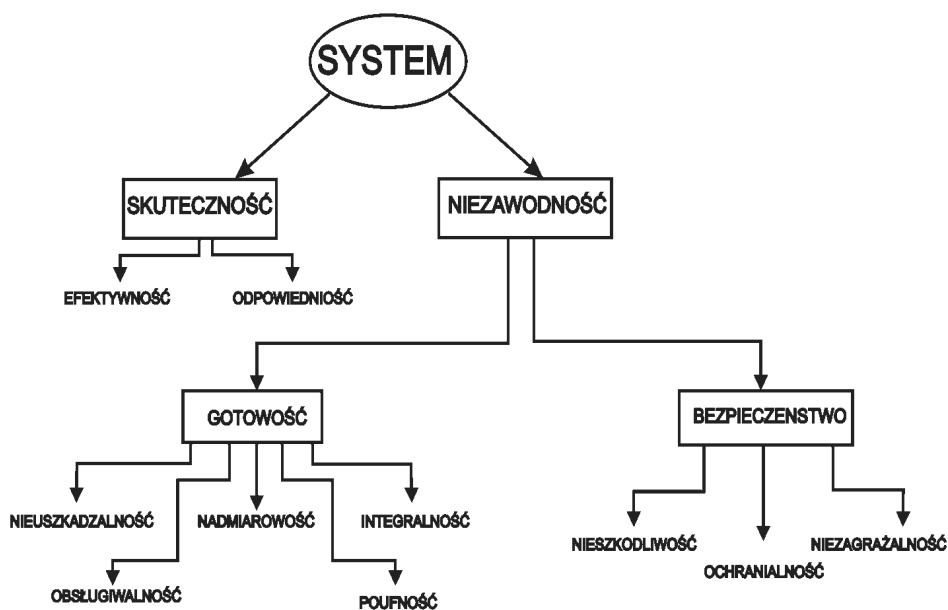
**Skuteczność** (ang. *effectiveness*), która obejmuje (Bukowski, 2006; Sienkiewicz, 1987; Tchórzewska-Cieślak, Rak, 2008a):

- efektywność ekonomiczną (ang. *efficiency*), jako zdolność do realizacji zadań przy możliwie niskich kosztach,
- odpowiedniość (ang. *adequacy*), jako zdolność do funkcjonowania zgodnie z wymaganiami takimi, jak np. wydajność (ang. *capabi-lity*), sterowalność (ang. *operability*), kompatybilność (ang. *compatibility*).

**Niezawodność** (ang. *dependability*), jako zdolność systemu do realizacji przynależnych mu funkcji zgodnie z wymaganiami pod względem funkcjonowania i bezpieczeństwa, która obejmuje:

- **gotowość** (ang. *availability*), zwana niekiedy dyspozycyjnością, definiowana jako zdolność do przebywania systemu w stanie umożliwiającym wypełnianie nałożonych na niego zadań w dowolnej chwili czasu, przy założeniu, że dostarczone będą wymagane środki zewnętrzne, lub jako dostępność w dowolnej chwili czasu do świadczenia wymaganej usługi (funkcji), którą można scharakteryzować za pomocą następujących pojęć:
  - nieuszkodzalność (ang. *reliability*), jako ciągłość w świadczeniu wymaganej usługi (funkcji),
  - nadmiarowość (ang. *redundancy*) jako rezerwowanie, które stwarza możliwość tolerancji na awarię poprzez nadmiarowość strukturalną, funkcjonalną, czasową i informacyjną,
  - obsługiwalność (ang. *maintainability*), jako podatność na uprawnione naprawy i modyfikacje; jest to zdolność systemu do utrzymania lub odtworzenia w danych warunkach eksploatacyjnych stanu, w którym system spełnia wymagane funkcje z zastosowaniem ustalonych procedur i środków; charakteryzuje ją podatność na wykrywanie zagrożeń i identyfikację stanów eksploatacyjnych,
  - integralność (ang. *integrity*), jako uniemożliwienie dokonywania nieuprawnionych zmian w systemie,
  - poufność (ang. *confidentiality*), jako niedostępność informacji dla nieuprawnionych osób.

- **bezpieczeństwo** (ang. *safety*) jest to cecha sytemu opisująca jego przysposobienie do unikania zagrożeń i narażeń. W tym sensie bezpieczeństwo określona jest przez:
  - nieszkodliwość (ang. *harmlessnes*) – polega na eliminacji uszkodzeń krytycznych, czyli działaniach aktywnych, i ewentualne na zabezpieczeniu przed negatywnymi skutkami uszkodzeń, czyli działaniach pasywnych,
  - niezagrażalność (ang. *hazardousness*) – własność systemu polegająca na przysposobieniu systemu do ograniczenia szkodliwego oddziaływania na otoczenie,
  - ochraniałość (ang. *security*) – polega na przeciwdziałaniu oddziaływaniu nieprzyjaznego otoczenia.



Rys. 2.1. Schemat pojęciowy własności systemu.

Na rys. 2.1 pokazano propozycję schematu pojęciowego związanego z systematyką własności funkcjonowania.

## 2.2. Elementy związane z definicją ryzyka

Ryzyko (ang. *risk*, niem. *Risiko*, franc. *risque*) jest pojęciem wieloznacznym, co odzwierciedlają liczne definicje i metody jego pomiaru. Z wieloaspektowej natury ryzyka wynikają różne akcenty pojawiające się w jego definicjach. Studia literaturowe pozwoliły na wyodrębnienie następujących pozycji (Aven, 1992; Haimes i inni, 2066; Hastak, Baim, 2001; Iwanejko, Wieczysty, 2001; Kaplan, Garrick, 1981; Lubowiecka, Wieczysty, 2000; Maciejewski, 2000; Opyrchał, 2005; Piechurski, 2008; Rak, 2003a; Szopa, 2009; Szymanek, 2008; Tchórzewska-Cieślak, 2006a, 2006b, 2007a), w których autorzy:

- utożsamiają ryzyko z miarami probabilistycznymi (rozkłady prawdopodobieństw),
- utożsamiają ryzyko z miarami statystycznymi (wartość oczekiwana, miary dyspersji – wariancja, semiwariancja, odchylenie standardowe),
- akcentują zmienność wartości docelowej w stosunku do wartości oczekiwanej,
- podkreślają brak pewności co do zaistnienia zdarzenia, którego prawdopodobieństwo realizacji jest znane,
- eksponują przyczyny ryzyka,
- konkretyzują ryzyko jako niebezpieczeństwo niezrealizowania celu założonego podczas podejmowania decyzji,
- wskazują na negatywne wahania pomiędzy ryzykiem a wiedzą z zakresu generowania zdarzeń niepożądanych.

W definicjach ryzyka kładzie się nacisk na (Iwanejko, 2008; Rak i inni, 2005; Rak i inni, 2012; Tchórzewska-Cieślak, 2007b, 2008b; Zimoch, 2008b):

- prawdopodobieństwo, które niektórzy autorzy utożsamiają z ryzykiem poprzez:
  - prawdopodobieństwo zdarzenia niepożądanego,
  - prawdopodobieństwo poniesienia straty,
  - prawdopodobieństwo nieuzyskania wyznaczonego celu;
- skalkulowaną niepewność,
- niebezpieczeństwo wystąpienia zdarzenia niepożądanego i strat z tym związanych,

- niebezpieczeństwo negatywnych odchyień od celu,
- niebezpieczeństwo błędnych decyzji,
- możliwość wystąpienia zagrożenia.

Wyróżnia się następujące relacje między ryzykiem a niepewnością (Rak, 2009a, 2004):

- ryzyko jest rezultatem, skutkiem, konsekwencją, funkcją niepewności,
- ryzyko jest składową niepewności,
- ryzyko dotyczy decyzji a niepewność jest cechą rzeczywistości,
- oszacowanie ryzyka jest efektem analizy niepewności,
- ryzyko jest mierzalne a niepewność jest niewymierna.

Ogólnie uważa się, że termin „ryzyko” stanowi w swojej treści zawężenie w stosunku do terminu „niepewność”. Te dwa pojęcia niewątpliwie są ze sobą związane, ale nie tożsame. Uważa się, że ryzyko jest rezultatem niepewności lub niepewność jest źródłem ryzyka (Rak, 2004).

Pomocną przy szacowaniu ryzyka jest znajomość jego przestrzeni związanej ze zdarzeniami niepożądanymi:

- ryzyko kontrolowane – rozpoznawalne, łatwe do zredukowania, możliwa jest dobrowolność ekspozycji na jego działanie,
- ryzyko niekontrolowane – zdarzenia typu poważne awarie lub katastrofy, trudne do zredukowania, skutki odkładają się na przyszłość,
- ryzyko obserwowalne – znane i dostępne badaniom naukowym, skutki możliwe do przewidzenia,
- ryzyko nieobserwowalne – nierozpoznane poprzez badania naukowe, nieznanie podmiotom narażonym na ekspozycję.

### 2.3. Szacowanie ryzyka w systemach zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW)

Ilościowe szacowanie ryzyka w SZZW w ujęciu „security” odbywa się z wykorzystaniem wzoru (Rak, 2004):

$$r = \frac{P \cdot C}{O} \quad (2.1)$$

Ilościowe szanowanie ryzyka w SZZW w ujęciu „safety” odbywa się z wykorzystaniem wzoru:

$$r = P \cdot C \cdot V \quad (2.2)$$

gdzie:

$P$  – waga punktowa związana z prawdopodobieństwem wystąpienia zdarzenia niepożądanego,

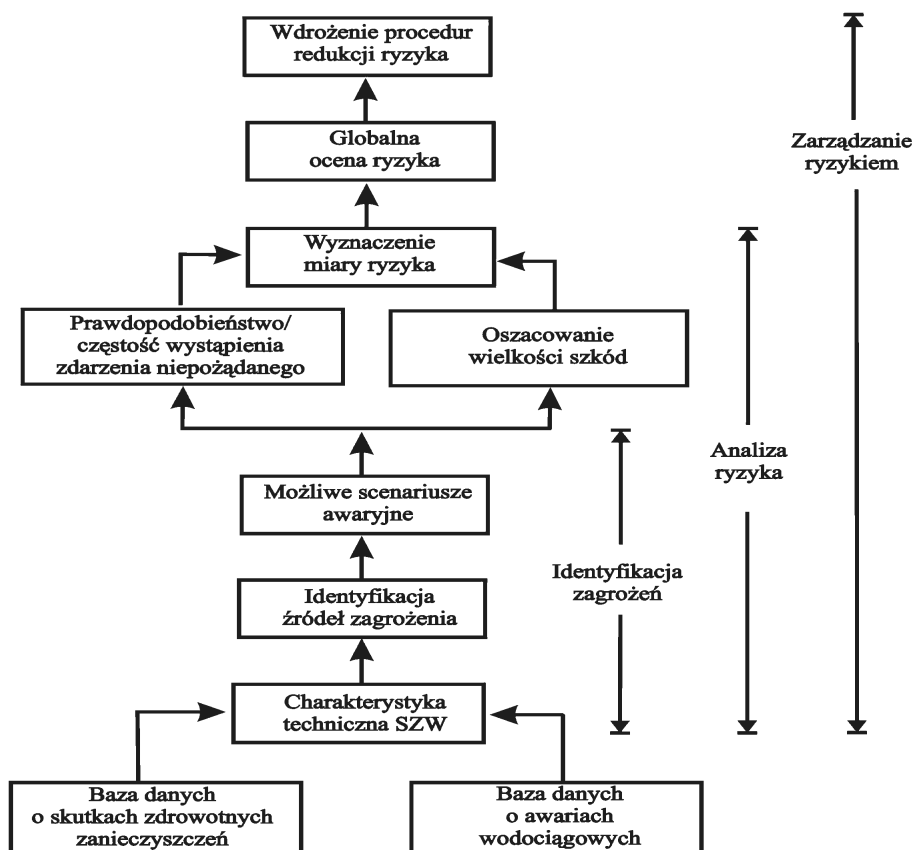
$C$  – waga punktowa związana ze stratami powstałymi w wyniku zdarzenia niepożądanego,

$O$  – waga punktowa związana z ochroną (ang. *security*) systemu przed zagrożeniami,

$V$  – waga punktowa związana z podatnością (ang. *vulnerability*) systemu na zagrożenia.

Podatność SZZW związana jest z:

- niezawodnością działania poszczególnych obiektów i urządzeń,
- efektywnością usuwania awarii,
- strukturą połączeń poszczególnych elementów sieci wodociągowej i urządzeń oraz z metodą rezerwowania,
- mobilnością technologii uzdatniania wody i z okresowym wprowadzaniem alternatywnych wariantów technologicznych,
- liczbą źródeł dostawy wody (np.: ujęcia wód powierzchniowych i podziemnych).



Rys. 2.2. Istota analizy i oceny ryzyka w SZZW.

Ochrona SZZW związana jest z:

- monitoringiem jakości wody i sposobami reagowania na złą jej jakość, np.: wczesne ostrzeżenie – stacje osłonowe ujęć wody) (Załęska-Radziwiłł, 2007; Zamorska, Zamorska, 2003; Zimoch, 2005a),
- strefami ochrony ujęć wody,
- monitorowaniem i zarządzaniem parametrami hydraulicznymi pracy sieci wodociągowych (Urbaniak, 2006),
- monitorowaniem jakości wody w sieci wodociągowej (Toczyłowska, 2003; Zimoch, 2008a, 2008b),



- dysponowaniem objętością asekuracyjną w sieciowych zbiornikach wody czystej,
- alternatywnymi sposobami zaopatrzenia w wodę do spożycia w sytuacjach kryzysowych,
- profesjonalnym zarządzaniem ryzykiem (Tomaszewski i inni, 2012; Wichrowska i inni, 2012; Wieczorek, 2008; Zio, 2006).

Na rys. 2.2 pokazano procedury analizy i oceny ryzyka związanego z funkcjonowaniem SZZW.

Mikroryzyko jest jednostką pomiaru ryzyka i odpowiada w odniesieniu do ludzi jednemu zdarzeniu niepożądanemu, które dotknęło pojedynczą osobę w stosunku do miliona mieszkańców aglomeracji miejskiej. W aspekcie zdrowotnym związanym z funkcjonowaniem SZZW może się odnosić do:

- jednego na milion zejścia śmiertelnego,
- jednego na milion powikłania zdrowotnego,
- jednej na milion dolegliwości gastrycznej.

Istnieją już wartości powszechnie akceptowalne mikroryzyka w odniesieniu do wielu czynności z życia codziennego człowieka. W USA wymaga się informować społeczeństwo o niebezpieczeństwach na poziomie 10 jednostek mikroryzyka. Ochrona obywateli przed zagrożeniami związana jest z ponoszonymi kosztami. Pewnym wskazaniem jest tutaj brytyjska zasada ALARP – ryzyko powinno być tak małe, jak to jest racjonalnie uzasadnione. Nie powinno być znaczącej dysproporcji między korzyściami wynikającymi z obniżenia ryzyka, a kosztami tego obniżenia (Environmental and Health, 1990).

W pracy (Fewtrell, Bartram, 2001) podano przykład kosztów oczyszczania wody ze szkodliwych składników. Przyjęto koszt usunięcia 90% zanieczyszczeń równy 1. Koszt redukcji kolejnych 9% zanieczyszczeń oszacowano na 100, a koszt eliminacji dalszych 0,9% zanieczyszczeń wynosi już  $10^4$ . Ponoszenie tych kosztów w odniesieniu do wartości życia ludzkiego wydaje się być uzasadnione (życie jest bezcenne). Jednak pojawia się hipoteza, że znaczący wzrost ceny wody spowoduje spadek jej zużycia, a to z kolei pociągnie za sobą spadek jakości warunków higieniczno-sanitarnych. W rezultacie można osiągnąć efekt odwrotny od zamierzonego. Udział niekorzystnych czynników społeczno-psychologiczno-politycznych prowadzi do tzw. fałszywej pętli ochrony przed ryzykiem. Polega ona na ponoszeniu zwiększonych, nieuzasadnionych kosztów na ochronę przed przesadnie wy-

obrażonym niebezpieczeństwem (2009a). Na rys. 2.3 pokazano ideę fałszywej pętli ochrony przed ryzykiem.



Rys. 2.3. Schemat blokowy „fałszywej pętli ochrony przed ryzykiem”.

## 2.3. Aspekt rynkowy w analizach i ocenach ryzyka SZZW

W gospodarce centralnie sterowanej i planowanej badaniami niezawodności i bezpieczeństwa sterowano odgórnie. Było to przyczyną nieadekwatności (zakłamaną) danych przesyłanych do centrali lub dane te były przedstawiane w sposób „wygładzony”, zgodnie z oczekiwaniami decydentów. W okresie przejściowym do gospodarki rynkowej nastąpiła decentralizacja dotycząca także badań i analiz w obszarze niezawodności i bezpieczeństwa. Zaobserwowano tendencję spadku podstawowych wskaźników, co mogło wynikać z ich urealnienia, bądź motywowane to było aspektami samofinansowania przedsiębiorstw wodociągowych zgodnie z wymaganiami wolnorynkowymi. Niestety, nie przywiązywano do tego problemu należytej wagi. Pojawiły się jednak wymagania i oczekiwania odbiorców i konsumentów wody wodociągowej, a wraz z nimi odpowiednie wskaźniki konsumenckie niezawodności i bezpieczeństwa w dostawach wody (Rak, Studziński, 2007). Przyczyną wszystkich tych zmian było urealnienie ceny dostawy  $1\text{m}^3$  wody wodociągowej. Tak więc w warunkach wolnorynkowych klasyfikacja i definicje stanów awaryjnych SZZW ulegają także pewnym przewartościowaniom. W krajach wysokorozwiniętych obserwuje się trend zastępowania kryteriów determi-

stycznych kryteriami stochastycznymi, probabilistycznymi i posybilistycznymi. Wskaźniki typowo techniczne oparte o częstość i czas trwania przerw w dostawie wody będą w dalszym ciągu wykorzystywane przy analizach techniczno-ekonomiczno-niezawodnościowych (Malina i inni, 1998). Wyzwaniem stanie się w przyszłości przejście do wyznaczenia wskaźników niezawodności i bezpieczeństwa, przydatnych do zarządzania ryzykiem przy projektowaniu i eksploatacji SZZW, z opcją uwzględnienia wszystkich stron funkcjonowania rynku produkcji, dostawy i konsumpcji wody wodociągowej. Uzyskanie określonego poziomu niezawodności i bezpieczeństwa ze strony właściciela (operatora) SZZW wymaga nakładów finansowych, a niedostarczenie wody generuje koszty głównie po stronie odbiorców. Reguły wolnego rynku pozwalają na oszacowanie kosztów po stronie podaży i popytu. Należy jednak zauważyć, że odbiorca z reguły nie może zmienić operatora dostawy wody. Tak więc wolnorynkowa reguła ceny za jakość nie funkcjonuje w pełnym wymiarze. Obserwuje się, że władze samorządowe dążą do osiągnięcia pewnego społecznego optimum. Istnieją więc pozarynkowe bariery dostosowania poziomu niezawodności i bezpieczeństwa dostawy wody do potrzeb odbiorców. Przykładowo, deficyty systemowe podaży wody dotyczą zwykle dużą liczbę odbiorców, ale już na poziomie dystrybucji wody poprzez sieć wodociągową można zindywidualizować poziom niezawodności i bezpieczeństwa.

Z perspektywy odbiorców wody funkcjonowanie SZZW powinno być zorientowane na klienta, gdzie odbiorca powinien mieć możliwość wyboru opcji dotyczącej jakości usługi i jej ceny. Można sobie wyobrazić sytuację, w której odbiorca może wybrać indywidualny poziom niezawodności i bezpieczeństwa poprzez wniesienie dodatkowej opłaty, np. opartej o systemy ubezpieczeniowe lub bazującej na oszacowaniu kosztów i efektywności. Pojawia się przy tym nowy rodzaj ryzyka – ryzyko cenowe wynikające z niepewności prognozowania popytu wrażliwego na cenę  $1\text{m}^3$  wody. Maksymalizacja zysku w gospodarce rynkowej często prowadzi do redukcji kosztów, co może stanowić pułapkę w odniesieniu do niezawodności i bezpieczeństwa. Szczególnie, gdy redukcja dotyczy dobrze rozpoznanych kosztów remontów, usuwania awarii, osprzętowania, alternatywnych sposobów dostarczania wody itp. Wykonanie analiz finansowych w aspekcie zarządzania aktywami jest stosunkowo proste, ale określenie towarzyszących temu wskaźników niezawodności i bezpieczeństwa jest o wiele trudniejsze. Kluczowym więc staje się znalezienie równowagi pomiędzy minimalizacją kosztów operacyjnych i kapitałowych, a określonym poziomem niezawodności i bezpieczeństwa (Gil, 2001; Kosmowski, 2001; Rak, Kucharski, 2006; Rak, Studziński, 2006).

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](mailto:biblioteka@ibspan.waw.pl)