

*Janusz R. Rak*

## **WYBRANE ZAGADNIENIA ZARZĄDZANIA RYZYKIEM W ZAOPATRZENIU W WODĘ**

### ***SELECTED ISSUES OF WATER SUPPLY RISK MANAGEMENT***

#### **Streszczenie**

Ryzyko jest podstawową kategorią związaną z bezpieczeństwem funkcjonowania systemów technicznych. Problematyką bezpieczeństwa funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę (SZW) należy rozpatrywać interdyscyplinarnie w zakresie wartości zdrowotnych wody do spożycia oraz ilości i jakości zasobów środowiskowych wody. System zaopatrzenia w wodę wyposażony jest w trzy bariery bezpieczeństwa: zapobiegania, ochrony i przeciwdziałania. Bariery te tworzą strukturę szeregową i powodują redukcję ryzyka towarzyszącą użytkownikom korzystającym z wodociągów publicznych. W pracy przedstawiono metodologię kompensacji i redukcji zintegrowanego ryzyka w układzie bezpieczeństwo-zdrowie-środowisko. Na tym tle sformułowano podstawowe zasady zarządzania kryzysowego, którego celem jest przygotowanie zasobów i społeczeństwa na wypadek wystąpienia zdarzenia niepożądanego, powodującego zagrożenia dla życia, mienia, środowiska i infrastruktury.

**Słowa kluczowe:** zarządzanie, ryzyko, zaopatrzenie w wodę

#### ***Summary***

*The risk is an elementary category of safety of technical systems operation. The safety of water supply system (WSS) functioning should be examined interdisciplinary in the scope of drinking water health as well as quality and quantity of natural water resources. There are three basic safety barriers of water supply system: prevention, security and counteraction. These barriers make serial structure and reduce the risk associated with public water pipe. Compensation and reduction methodology of integrated risk in the safety-health-environment system has been presented. Based on this, the basic rules of critical management have been formulated to the effect of stocks and society preparation for the case of undesirable event occurrence which caused threat to life, restore, environment and infrastructure.*

**Key words:** management, risk, water supply

## WSTĘP

W ramach Siódmego Ramowego Programu Badań Unii Europejskiej, Parlament Europejski przyjął w 2004 roku rezolucję w sprawie realizacji następnego etapu Europejskiego Programu Badań nad Bezpieczeństwem (EPBB). Podkreślono w niej potrzebę rozwoju badań nad bezpieczeństwem w celu sprostowania obecnym i przyszłym wyzwaniom oraz zagwarantowania wiarygodności i skuteczności działań. Wśród priorytetów EPBB znalazły się: walka z terroryzmem, monitoring środowiska, obrona cywilna, funkcjonowanie infrastruktury krytycznej, kontrola zewnętrznych granic UE.

System zaopatrzenia w wodę (SZW) należy do infrastruktury krytycznej funkcjonowania aglomeracji miejskich, regionów i państw. Bezpieczeństwo w zakresie zaopatrzenia w wodę rozpatruje się pod względem: wymogów unormowań krajowych, trendów i standardów międzynarodowych, zagrożeń i wyzwań wewnątrz SZW i jego otoczenia. Z kolei systemy zabezpieczeń muszą być pewne, skuteczne i efektywne, które to wartości stanowią o potencjale bezpieczeństwa [Markowski 2001; Rak 2005].

Szczegółowe analizy awarii i katastrof cywilizacyjnych paradoksalnie przyczyniają się do postępu w funkcjonowaniu systemów technicznych. Wniośki z danych historycznych wykorzystuje się do identyfikacji ryzyka związanego z zagrożeniami i tworzenia scenariuszy awaryjnych. Wymuszają także postęp w teorii i praktyce bezpieczeństwa oraz nowych regulacji prawnych w tym zakresie.

Rozważając współczesne funkcjonowanie SZW, można z powodzeniem przytoczyć słowa maksymy „wczorajsze rozwiązania są obecnymi problemami, a rozwiązania obecne stworzą zapewne problemy w przyszłości”. Dotychczasowym rozwiązaniem systemowym służącym do oceny ryzyka związanego z funkcjonowaniem SZW był model człowiek-technika-środowisko naturalne (Cz-T-Ś) [Markowski 2001; Rak 2004].

Celem pracy jest przedstawienie nowej kategorii związanej z funkcjonowaniem SZW w postaci systemu zarządzania bezpieczeństwem, zdrowiem i środowiskiem (B-Z-Ś). Koncepcja B-Z-Ś wywodzi się z norm serii ISO 1400 dotyczących zarządzania środowiskowego i ISO 1800 dotyczących zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy. Wychodząc z założeń unormowań ISO, podjęto próbę adaptacji modelu B-Z-Ś dla potrzeb SZW.

## METODYKA BADAWCZA

Nowe wyzwania cywilizacyjne związane z globalizacją produkcji i usług, która w sferze gospodarczej skierowana jest głównie na osiągnięcie dodatkowych efektów ekonomicznych, niejednokrotnie bywa w sprzeczności z celami bezpieczeństwa związanego z ochroną ludzi, mienia i środowiska. Powoduje to

rozwój różnych działań zaradczych w sferach działań organizacyjnych, legislacyjnych i naukowo-badawczych. Wytwarzanie produktów, które konsumowane są na szeroką skalę (woda do spożycia, żywność) wymaga szczególnie niezawodnych procedur bezpieczeństwa ich produkcji i dystrybucji. Z tego powodu nauka i technologia powinny być zdolne generować odpowiednią wiedzę, umiejętności i nawyki w obliczu istniejących zagrożeń bezpiecznego funkcjonowania SZW. Dodatkowo produkty o masowym stosowaniu, w szczególności woda wodociągowa, powinna podlegać specjalistycznym procedurom monitoringu dotyczącym wszystkich potencjalnych zagrożeń niosących negatywne skutki, zarówno natychmiastowych, jak i powstających w długim czasie. Nieuwzględnienie przesłanek naukowych, które formułują specjaliści o potencjalnych zagrożeniach, prowadzi często do katastroficznych skutków w wymiarze zdrowotnym, finansowym i środowiskowym. System zarządzania kryzysowego powinien obejmować zarządzanie ryzykiem i obejmować swoim zasięgiem firmy wodociągowe, władze administracyjne reprezentujące społeczność lokalną, a także sektor finansowo-ubezpieczeniowy. Środkami kontroli ryzyka są systemy bezpieczeństwa w zakresie prewencji i ochrony. Zarządzanie ryzykiem jest to proces podejmowania decyzji w sferze ryzyka, zmierzający do redukcji prawdopodobieństwa (RP) występowania niepożądanych zdarzeń awaryjnych i redukcji strat (RC) spowodowanych wystąpieniem tego rodzaju zagrożeń.

Wieloaspektowa natura ryzyka powoduje, że dopiero złożona kombinacja poszczególnych czynników prowadzi do powstania zdarzenia niepożądanego. Analizy poważnych awarii i katastrof wskazują, że często dochodzi do synergicznego ich współdziałania.

Praca każdego SZW skonfigurowana jest z mniej lub bardziej rozbudowanym podsystemem bezpieczeństwa, w którym wyróżnia się trzy główne bariery. Są to [Markowski 2001; Rak 2005]:

- bariera zapobiegania (ang. *prevention layer*), której zadaniem jest uniemożliwienie powstania warunków sprzyjających wystąpieniu zdarzenia niepożądanego,

- bariera ochrony (ang. *protection layer*), której zadaniem jest zabezpieczenie SZW przed skutkami wystąpienia zdarzenia niepożądanego,

- bariera przeciwdziałania (ang. *response layer*), której zadaniem jest minimalizacja negatywnych skutków związanych z wystąpieniem zdarzenia niepożądanego.

– Jeżeli poszczególne bariery stanowią spójny podsystem, to tworzą tzw. multibarierę. Bardzo skrótowo w opisie jakościowym obowiązuje zasada:

- jeżeli bariery bezpieczeństwa mają przewagę nad stopniem zagrożenia, to mamy do czynienia z ryzykiem tolerowanym,

- jeżeli bariery bezpieczeństwa są w równowadze ze stopniem zagrożenia, to mamy do czynienia z ryzykiem kontrolowanym,

- jeżeli bariery bezpieczeństwa nie są adekwatne do stopnia zagrożenia, to mamy do czynienia z ryzykiem nieakceptowanym.

## METODYKA BADAŃ

Metodyka badań polegała na odpowiednim określeniu możliwości ilościowej oceny stopnia redukcji ryzyka ( $R_r$ ). Stosowana procedura postępowania przedstawia się następująco:

- redukcję ryzyka przez i-tą pojedynczą barierę wyznacza się ze wzoru:

$$Rr_i = RP_i \cdot RC_i \quad (1)$$

- bariery tworzą strukturę szeregową i całkowitą redukcję ryzyka, wyznacza się ze wzoru:

$$Rr = \prod_{i=1}^n Rr_i \quad (2)$$

- ryzyko początkowe ( $r_0$ ), bez uwzględniania barier bezpieczeństwa wyznacza się ze wzoru:

$$r_0 = P_0 \cdot C_0 \quad (3)$$

- ryzyko końcowe ( $r_k$ ), uwzględniające zadziałanie barier bezpieczeństwa wyznacza się ze wzoru:

$$r_k = R_r \cdot P_0 \cdot C_0 \quad (4)$$

- redukcję ryzyka wyznacza się ze wzoru:

$$\Delta r = r_0 - r_k \quad (5)$$

Kompensacja ryzyka związanego ze skażeniem w źródle wody ma miejsce w sytuacji, gdy istnieje możliwość wzajemnego połączenia dostawy wody z różnych niezależnych od siebie źródeł. Świadome zaprojektowanie równoczesnej dostawy wody z dwóch lub więcej źródeł oznacza szansę na bezpośrednią kompensację ryzyka. W wypadku skażenia jednego ze źródeł zaopatrzenia w wodę zostaje ono wyłączone z eksploatacji, a pozostałe źródła zwiększają swoją produkcję wody. Mówi się wtedy o nadmiarowym podsystemie dostawy wody. Pośrednia kompensacja ryzyka związanego z możliwością skażenia źródeł poboru wody polega na dysponowaniu objętością asekuracyjnej wody czystej w sieciowych zbiornikach wodociągowych.

Jednym z najbardziej złożonych problemów teorii i praktyki niezawodności jest określenie uzasadnionego poziomu niezawodności SZW. Kryteria w tym zakresie można znaleźć w monografii [Wieczysty i in. 2001].

Nowym podejściem może być uwzględnienie bezpieczeństwa poprzez wyznaczenie ryzyka według klasycznej definicji [3]:

$$(r)_{\text{ryzyka}}^{\text{miara}} = Q_{\text{zawodnosci}}^{\text{miara}} \cdot (Z)_{\text{zagrozenia}}^{\text{miara}} \quad (6)$$

Operując funkcją niezawodności  $R(\Delta t)$ , po przekształceniu (6) otrzymuje się:

$$R(\Delta t) = 1 - \frac{r \cdot \Delta t}{Z} \quad (7)$$

W miejsce funkcji niezawodności, podstawiając wskaźnik gotowości ( $K$ ) dla jednostki czasu równej 1 rok, otrzymuje się:

$$K = 1 - \frac{r}{Z} \quad (8)$$

Z relacji (7), (8) wynika, że: im większe zagrożenie mogące dotknąć dany SZW i im mniejsze ryzyko dopuszczalne związane z funkcjonowaniem SZW, tym większa powinna być niezawodność jego funkcjonowania.

Miara zagrożenia  $Z(C)$  wyrażonego w jednostkach finansowych strat ( $C$ ) mogącego powstać w wyniku zajścia zdarzenia niepożądanego ( $X$ ) definiowana jest następująco:

$$Z(C) = P\{C \geq C_o / X\} \quad (9)$$

gdzie:  $C_o$  – tolerowane koszty strat.

Procedura ilościowego wyznaczania zintegrowanego ryzyka B-Z-Ś przedstawia się następująco:

- charakterystyka ryzyka:
- identyfikacja substancji powodującej nadzwyczajne skażenie wody w źródle jej poboru,
- określenie prawdopodobieństwa skażenia wody daną substancją –  $P_1$
- ocena stopnia narażenia:
- określenie stężenia substancji w źródle wody,
- określenie prawdopodobieństwa przedostania się substancji do sieci wodociągowej z uwzględnieniem procesów uzdatniania wody –  $P_2$ ,
- ocena potencjalnych skutków:
- wyznaczenie strat finansowych dla modelu B-Z-Ś

$$C_j = C_B + C_Z + C_\$ \quad (10)$$

- określenie prawdopodobieństwa wystąpienia strat finansowych –  $P_3$ ,
- obliczenie prawdopodobieństwa finalnego:

$$P_j = \prod_{i=1}^{i=3} P_i \quad (11)$$

- wyznaczenie zintegrowanego ryzyka:

$$r = P_j \cdot C_j \quad (12)$$

– ocena ryzyka B-Z-Ś na podstawie kryteriów według skali trójstopniowej (tolerowane, kontrolowane, nieakceptowane) [Rak 2005].

W wypadku rozpatrywania kilku scenariuszy awaryjnego skażenia wody, zintegrowane ryzyko oblicza się według wzoru:

$$r = \sum_{j=1}^m P_j \cdot C_j \quad (13)$$

gdzie: m – liczba rozpatrywanych scenariuszy awaryjnych.

## WYNIKI BADAŃ

W wyniku poczynionych rozważań teoretycznych na temat ryzyka należy rozpatrzeć pojęcie kryzysu i jego funkcji w aspekcie pojawienia się zdarzenia niepożądanego i możliwości zarządzania B-Z-Ś. Kryzys jest różnorodnie definiowany, co odzwierciedlają następujące jego symptomy: braki w zaopatrzeniu, zaburzenie, przesilenie, przełom, zwrot, regres, naruszenie stanu równowagi, zagrożenie priorytetów, szczególne trudności, destabilizacja, działania destrukcyjne, niepewność. Sytuacja kryzysowa jest to splot zdarzeń, powodujących wzrastający wpływ sił destabilizujących równowagę, powodujących braki w zaopatrzeniu i trudności w normalnym funkcjonowaniu społeczeństwa, wywołująca napięcie, niepewność i prowadząca do niekontrolowanego rozwoju wydarzeń.

Głównymi parametrami kryzysu są: rozmiar, nieuchronność i związana z tym gwałtowność. W tabeli 1 przedstawiono zależności między tymi parametrami.

**Tabela 1.** Ocena gwałtowności kryzysu w zależności od jego rozmiaru i nieuchronności  
**Table 1.** Evaluation of crisis rapidity depending on its extent and inevitability

Rodzaj parametru Kind of parameter		Rozmiar zagrożenia Extent of parameter		
		mały small	średni medium	wysoki high
		gwałtowność kryzysu rapidity of crisis		
nieuchronność zagrożenia inevitability of thread	bezpośrednia direct	mała small	średnia medium	wysoka high
	pośrednia indirect	mała small	średnia medium mała small	średnia medium
	odległa distant	bardzo mała very small	mała small	mała small

Elementy zarządzania kryzysowego:

- Faza zapobiegania i ograniczania zagrożeń

System zarządzania bezpieczeństwem opiera się na funkcjonowaniu zarządzania ryzykiem. Analiza i ocena ryzyka pozwala określić prawdopodobieństwo wystąpienia poważnej awarii i oszacować straty z nim związane. Ponadto można opracować scenariusz rozwoju sytuacji awaryjnej w czasie oraz zaprojektować bariery zapewniające bezpieczeństwo i ochronę, które istotnie zmniejszają do-  
tkliwość skutków wystąpienia poważnej awarii.

- Faza gotowości

Stanowi logistyczny plan działań ratowniczych w wypadku wystąpienia poważnej awarii. Finalnym efektem jest opracowanie planu operacyjno-ratowniczego. Wyróżnia się dwa aspekty w ramach reakcji na wystąpienie poważnej awarii:

- organizacyjny, odpowiadający na pytanie „co kto robi?”
- SANEPID, WIOŚ, służby medyczne, administracja rządowa i samorządowa, straż pożarna, policja,
- sprzętowy, pozwalający przeciwdziałać skutkom awarii,
- środki przeciwdziałania poważnej awarii, środki komunikowania się z ludnością, środki pomocy medycznej, alternatywne zaopatrzenie w wodę,

- Faza przeciwdziałania

Polega na uruchomieniu planu operacyjno-ratowniczego.

Głównymi elementami są:

- uruchomienie procedur awaryjnych,
  - strategia i taktyka działań ratowniczych,
  - system zarządzania, komunikacji i wsparcia logistycznego.
- Faza działań naprawczych

Następuje po zakończeniu stanu awaryjnego i polega na sprzężeniu zwrotnym prowadzącym do poprawy organizacji zarządzania systemem bezpieczeństwa. Wymaga działań związanych z leczeniem, rekonwalescencją osób poszkodowanych i przywróceniem prawidłowego funkcjonowania SZW.

## WNIOSKI

- Integralną częścią systemu zarządzania SZW staje się ocena zintegrowanego ryzyka w układzie B-Z-Ś. W pracy pokazano możliwość powiązania wskaźnika ryzyka ( $r$ ) ze wskaźnikiem niezawodności  $K$  (8), co stanowi podstawę do pogłębianych analiz niezawodność-bezpieczeństwo.

- Zdarzenia awaryjne (katastroficzne) nie pojawiają się bez przyczyny, są łańcuchem niepożądanych (krytycznych) zdarzeń. Występują też w wyniku podejmowanych decyzji brzemiennej w negatywne skutki. Metodologia zarządzania kryzysowego staje się narzędziem rozwiązywania problemów związanych z bezpieczeństwem funkcjonowania SZW.

– W celu skutecznego zarządzania B-Z-Ś istnieje potrzeba informowania wszystkich zainteresowanych stron o kryteriach akceptacji ryzyka i wynikach jego analizy. Wynika z tego, że w proces informowania powinni być włączeni pracownicy firmy wodociągowej, konsumenci wody, społeczność lokalna – opinia publiczna.

– Warunkiem racjonalizacji strategii antykryzysowej są analizy i oceny ryzyka. Utrzymanie ryzyka w akceptowalnych granicach staje się imperatywem bezpiecznego funkcjonowania SZW. W tym kontekście bezpieczeństwo definiuje się jako brak nieakceptowanego ryzyka strat (szkód). W zakresie zarządzania ryzykiem istnieje możliwość jego kompensacji i/lub dywersyfikacji.

### BIBLIOGRAFIA

- Markowski A. S. *Ochrona społeczeństwa i środowiska przed zagrożeniami technologicznymi*. Gospodarka Komunalna w miastach. Wydawnictwo PAN, Oddział w Łodzi, Komisja Ochrony Środowiska. Łódź 2001, s. 385–418.
- Rak J. *Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę*. Wydawnictwo–Drukarnia LIBER DUO KOLOR Lublin, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN. vol. 28, Lublin 2005.
- Rak J. *Istota ryzyka w funkcjonowaniu systemu zaopatrzenia w wodę*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2004.
- Wieczysty A. i in. *Podnoszenie niezawodności komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę*. Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę. Praca pod red. A. Wieczystego. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, t. 2, Kraków 2001.

Prof. dr hab. inż. Janusz R. Rak  
Politechnika Rzeszowska  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków  
35-959 Rzeszów  
Al. Powstańców Warszawy 6  
tel 017 865-14-49  
a-mail: rakjan@prz.rzeszow.pl

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Parzonka