

Barbara Tchórzewska-Cieślak

## Szacowanie akceptacji ponoszenia kosztów ryzyka związanego z funkcjonowaniem systemu zaopatrzenia w wodę

Zgodnie ze współczesnymi standardami, każdy człowiek ma prawo do dostępu do wody o odpowiedniej jakości i w wystarczającej ilości. Problemem globalnym jest nie tylko brak wody w wielu biednych regionach świata, ale również degradacja zasobów wodnych w krajach rozwiniętych. Innym znaczącym problemem jest eksploatacja systemów zaopatrzenia w wodę, która powinna uwzględniać minimalizację strat wody, niezawodność funkcjonowania oraz bezpieczeństwo. Bezpieczeństwo funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę – zgodnie ze standardami światowymi – powinno być wyrazem dobrej praktyki inżynierskiej na etapie projektowania, wykonawstwa i eksploatacji całego systemu.

Zalecenia Unii Europejskiej nakładają na przedsiębiorców świadczących wszelkie usługi, w tym zaopatrzenie ludności w wodę do spożycia, obowiązek zapewnienia bezpieczeństwa konsumentów i użytkowników, w tym ochronę przed możliwymi zagrożeniami. Ponadto bezpieczeństwo świadczenia usług, a zwłaszcza bezpieczeństwo dostaw, stanowi zasadniczy wymóg, który należy uwzględnić podczas definiowania misji usług. Jakość i bezpieczeństwo dostaw (np. przesył wody wodociągowej do odbiorców) pociągają za sobą pewne koszty ekonomiczne ponoszone przez społeczeństwo, które należy odpowiednio i w sposób przejrzysty rozważyć w odniesieniu do spodziewanych korzyści [1]. Standardy wymagają, aby ryzyko awarii związane z funkcjonowaniem systemu zaopatrzenia w wodę było możliwie małe, jednak problemem jest zdefiniowanie kryterialnych wartości liczbowych poszczególnych poziomów skali ryzyka (np. w skali trójstopniowej – ryzyko akceptowane, tolerowane i nieakceptowane).

### Elementy zarządzania ryzykiem związanym z funkcjonowaniem systemu zaopatrzenia w wodę

Ryzyko związane z funkcjonowaniem systemu zaopatrzenia w wodę powinno być kontrolowane na poziomie przedsiębiorstwa wodociągowego, w celu zapewnienia konsumentom wody odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa. Standardem powinno być poczucie komfortu konsumentów, że użytkowana przez nich woda nie stanowi zagrożenia ich zdrowia. Wiąże się to również z zaufaniem do przedsiębiorstw wodociągowych oraz służb kontrolujących (stacje sanitarno-epidemiologiczne). Niestety funkcjonowanie systemu zaopatrzenia w wodę jest zawsze obciążone ryzykiem związanym z możliwością zaistnienia różnego rodzaju zdarzeń niepożądanych, których skutkiem może być pogorszenie jakości wody lub jej

brak. Zarządzanie ryzykiem związanym z funkcjonowaniem systemu zaopatrzenia w wodę można zdefiniować jako proces koordynowania pracy elementów systemu zaopatrzenia w wodę i jego operatorów z wykorzystaniem dostępnych środków w celu osiągnięcia poziomu ryzyka tolerowanego poprzez odpowiedni system kontroli, który powinien pozwolić na identyfikację czynników ryzyka istotnych pod względem funkcjonowania i bezpieczeństwa systemu. Proces ten powinien składać się z następujących elementów [2–4]:

- sterowanie ryzykiem: analiza ryzyka (identyfikacja zagrożeń, określenie prawdopodobieństwa niebezpiecznych zdarzeń, określenie negatywnych skutków, oszacowanie ryzyka, ocena ryzyka), podejmowanie decyzji (reakcja na ryzyko – akceptacja, eliminacja czy ograniczenie ryzyka),

- administrowanie ryzykiem: dokumentacja awarii i wszystkich negatywnych zdarzeń w systemie zaopatrzenia w wodę, opracowanie planu reagowania w sytuacjach awaryjnych, opracowanie harmonogramu konserwacji i modernizacji elementów systemu zaopatrzenia w wodę itp.,

- monitorowanie ryzyka: korekta oraz aktualizacja metod analizy ryzyka oraz wszelkich danych potrzebnych do takiej analizy, uwzględniająca dynamikę rozwoju systemu zaopatrzenia w wodę i zmieniające się czynniki zewnętrzne; audyt ryzyka.

- finansowanie ryzyka: zapewnienie środków finansowych w budżecie przedsiębiorstwa wodociągowego na koszty związane z realizacją ww. procesów oraz finansowanie systemu ubezpieczeń.

W przypadku przedsiębiorstw wodociągowych, bardzo ważna jest prawidłowa identyfikacja ryzyka oraz jego podział na ryzyko konsumenta i ryzyko producenta wody. Pozwala to na prawidłowy dobór metod obliczeniowych uwzględniających różne rodzaje ryzyka [5,6].

Proces zarządzania ryzykiem związanym z funkcjonowaniem systemu zaopatrzenia w wodę powinien zapewnić:

- świadomość istnienia ryzyka,
- informacje o zależnościach pomiędzy poszczególnymi czynnikami ryzyka oraz ich wpływie na funkcjonowanie systemu zaopatrzenia w wodę,
- szczegółową analizę poszczególnych rodzajów ryzyka,
- zdolność zarządzania ryzykiem w poszczególnych pionach przedsiębiorstwa wodociągowego,
- zdolność kompleksowego i zintegrowanego zarządzania ryzykiem w całym przedsiębiorstwie wodociągowym,
- świadomość istnienia czynników ryzyka i bezpośrednio z nimi związanymi kosztami zapobiegania ich skutkom,
- określenie strategii podejmowania decyzji w sprawie ryzyka,
- wdrożenie procedur kontrolnych.

Istotnym problemem jest określenie tolerowanego poziomu ryzyka – tzw. ryzyka ALARP (as low as is reasonably practicable), który oznacza, że poziom ryzyka powinien być tak niski, jak tylko jest to racjonalnie uzasadnione. Zasadę ALARP wprowadzono po raz pierwszy w Wielkiej Brytanii, gdzie określono nieakceptowaną (nie dopuszczalną) wartość indywidualnego ryzyka śmierci pracowników ( $r=0,001$ ) i ludności ( $r=0,0001$ ) [7,8]. W zależności od różnicy pomiędzy ryzykiem ALARP i ryzykiem niedopuszczalnym, można sformułować następujące zasady wyboru metody szacowania ryzyka [7]:

- im mniejsza różnica pomiędzy ryzykiem niedopuszczalnym a ryzykiem ALARP, tym wybrana metoda powinna być dokładniejsza,

- w przypadku dużego ryzyka zaleca się stosowanie metod ilościowych,

- przy znacznej różnicy pomiędzy ryzykiem ALARP a ryzykiem niedopuszczalnym, zaleca się stosowanie metod merytorycznych,

- w przypadku niewielkiego zagrożenia zaleca się stosowanie metod jakościowych.

Proces zmniejszania ryzyka powinien uwzględniać analizę zysków i kosztów. Należy określić taki poziom ryzyka, przy którym koszty jego dalszego zmniejszania są nieproporcjonalnie duże. Wytyczne HSE (Health and Safety Executive) [8] wprowadziły pojęcie statystycznego kosztu uniknięcia ofiary śmiertelnej, który został oszacowany wg tych wytycznych na ok. 1 mln funtów brytyjskich.

Technika obsługi ukierunkowanej na nieuszkodzalność (RCM – reliability centred maintenance) [9] jest metodą służącą do opracowania programu zarządzania (obsługi) produkcji wyrobów, procesem funkcjonowania lub eksploatacji systemu w celu osiągnięcia wymaganej niezawodności i bezpieczeństwa. Metoda RCM rozwinęła się w latach 70. ubiegłego wieku, początkowo w przemyśle lotniczym, a później m.in. w energetyce, transporcie lądowym i morskim, przemyśle ciężkim, motoryzacyjnym, naftowym i gazowym. Podstawowe założenia metody RCM są następujące [10]:

- priorytetowym zadaniem operatora systemu jest utrzymanie funkcjonowania systemu na wymaganym poziomie,

- należy zdefiniować uszkodzenia systemu (istotne pod względem funkcjonalnym) oraz przyczyny tych uszkodzeń, które uniemożliwiają realizację wymaganych funkcji,

- należy ustalić poziom ryzyka i możliwości zaistnienia przyczyny uszkodzeń,

- należy dobrać odpowiednie i najbardziej skuteczne procedury zapobiegawcze do przyczyny uszkodzeń o niedopuszczalnym poziomie ryzyka wystąpienia,

- należy wdrożyć programy obsługi początkowej i końcowej.

Program obsługi jest zbiorem zadań, które wynikają z analizy RCM. Najczęściej obejmuje on program obsługi początkowej (przed eksploatacją) i program obsługi końcowej – tzw. program rozwijający się (w trakcie lub po eksploatacji).

Program obsługi początkowej powinien być opracowany na etapie projektowania systemu i jest programem profilaktycznym. Program powinien zawierać dane dotyczące funkcji, warunków eksploatacyjnych, warunków środowiskowych, a także cel nieuszkodzalności oraz dane o uszkodzeniach, metodach obsługi, narzędziach obsługi, planach szkoleń itp.

Program obsługi końcowej jest rozszerzeniem obsługi początkowej. Rozpoczyna się w trakcie eksploatacji systemu i jest oparty na danych rzeczywistych. Program powinien zawierać dane rzeczywiste obsługi, dane rzeczywiste z eksploatacji, dane rzeczywiste o uszkodzeniach oraz nowe techniki zarządzania, nowe materiały, nowe narzędzia i techniki obsługi. Podstawowe procedury metody RCM na potrzeby zarządzania ryzykiem związanym z funkcjonowaniem systemu zaopatrzenia w wodę są następujące [10]:

- ♦ Identyfikacja systemu zaopatrzenia w wodę i jego funkcji obejmująca:

- funkcje podstawowe systemu (tzw. regularne); operator systemu ma bieżące informacje (on-line) dotyczące elementów systemu oraz o stanie realizacji przez nich wymaganych funkcji (np. dane dotyczące bieżącego rozbioru wody, poziomu wody w zbiornikach, wydajności pompowni, ciśnienia w poszczególnych punktach sieci itp.),

- funkcje nieregularne (ponadstandardowe), które nie są stale monitorowane, w związku z czym możliwe jest wystąpienie tzw. uszkodzeń ukrytych.

- ♦ Identyfikacja istotnych funkcjonalnie elementów systemu zaopatrzenia w wodę – należy opracować schemat funkcyjny (struktura blokowa) systemu oraz blokowy schemat niezawodnościowy, który pokazuje wzajemne powiązania poszczególnych elementów (podsystemów) systemu zaopatrzenia w wodę pod względem prawidłowego funkcjonowania całego systemu. W ten sposób należy wyróżnić elementy krytyczne (istotne funkcjonalnie).

- ♦ Identyfikacja uszkodzeń i zagrożeń, czyli określenie, w jaki sposób system zaopatrzenia w wodę lub jego poszczególne elementy (stacja oczyszczania wody, zbiorniki wodociągowe) może utracić zdolność do wykonywania przynależnych mu funkcji (w określonym lub dowolnym przedziale czasu). Analiza powinna obejmować określenie uszkodzeń, które już wystąpiły w systemie na podstawie danych historycznych oraz uszkodzeń, które są prawdopodobne, pomimo że jeszcze nie wystąpiły w systemie, ale mogą spowodować poważne skutki, np. zagrożenie zdrowia konsumentów wody lub poważne straty finansowe wynikające z przerw w dostawie wody. Zakłada się, aby wszystkie stany awaryjne związane z daną funkcją systemu zaopatrzenia w wodę zostały zidentyfikowane.

- ♦ Identyfikacja przyczyn uszkodzeń – wszystkie możliwe przyczyny powinny być zidentyfikowane.

- ♦ Analiza rodzajów i skutków uszkodzeń (FMEA) wg PN-IEC 812, która pozwala na identyfikację uszkodzeń, które wywierają znaczący wpływ na skuteczność funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę, a także na przewidywanie skutków i prawdopodobieństwa (częstości) uszkodzeń.

- ♦ Analiza konsekwencji uszkodzeń – każda przyczyna uszkodzenia systemu lub jego elementów podlega przypisaniu do odpowiedniego miejsca w strukturze drzewa logicznego, a następnie klasyfikacji pod względem krytyczności (priorytetów funkcjonalnych i bezpieczeństwa). W ten sposób każda przyczyna ma przypisaną odpowiednią kategorię:

- A: przyczyny uszkodzeń, które mogą spowodować bezpośrednie zagrożenie bezpieczeństwa ludzi,

- B: przyczyny uszkodzeń, które spowodują jedynie konsekwencje ekonomiczne, straty związane z przerwą w dostawie wody do odbiorców itp.,

– C: przyczyny uszkodzeń, które mogą spowodować tzw. efekt domina (eskalacja zdarzeń niepożądanych do zdarzenia katastroficznego),

– D: przyczyny uszkodzeń o nieznaczących konsekwencjach ekonomicznych,

– E: przyczyny uszkodzeń ukrytych.

Określenie poziomu ryzyka związanego z możliwością wystąpienia określonego typu przyczyny uszkodzeń oraz na tej podstawie ich klasyfikacja do programu działań obsługi początkowej lub dynamicznej.

Określenie skutecznych zadań obsługi systemu zaopatrzenia w wodę (opracowanie programu obsługi).

### Akceptacja ponoszenia kosztów ochrony systemu zaopatrzenia w wodę

System zaopatrzenia w wodę, należąc do infrastruktury krytycznej miast, wymaga stałej kontroli, systemu monitoringu oraz zabezpieczeń przed możliwością pojawienia się różnego rodzaju zdarzeń niepożądanych, co jest związane z ryzykiem utraty zdrowia konsumentów wody [6]. Proces ten wymaga pewnych nakładów finansowych, które w konsekwencji mają wpływ na cenę wody, która powinna być akceptowana przez jej konsumentów. Stopień akceptacji wydatków związanych z ochroną systemu zaopatrzenia w wodę zależy od różnych czynników, m.in. takich jak wskaźnik jakości życia, świadomość konsumentów wody o zagrożeniach związanych z brakiem ochrony systemu zaopatrzenia w wodę, stopień zaufania do przedsiębiorstwa wodociągowego.

W celu odzwierciedlenia poziomu życia i satysfakcji życiowej w poszczególnych państwach, brytyjski tygodnik *The Economist* opracował tzw. wskaźnik jakości życia (QLI – quality of life index) [11]. Problemem w wyznaczeniu wartości tego wskaźnika jest prawidłowy wybór kryteriów oceny. Poziom jakości życia można analizować badając wskaźniki ekonomiczne, np. produkt narodowy brutto, dochód na jednego mieszkańca, jak również wskaźniki społeczne, jak również wiele innych cech subiektywnych. Najczęściej w analizach jakości życia podawane są takie czynniki, jak ochrona zdrowia, bezpieczeństwo, stan środowiska naturalnego itp. Wskaźnik jakości życia może być przyjmowany wg danych ankietowych (przeprowadzanych przez urzędy miast) lub wg danych GUS. Najczęściej przyjmowane wartości QLI mieszczą się w zakresie 1÷5, liczone jako średnie arytmetyczne ocen wyznaczonych wg wzorów:

$$QLI = \frac{\sum_{j=1}^N W_j^{sr}}{N} \quad (1)$$

$$W_j^{sr} = \frac{\sum_{i=1}^M W_i}{M} \quad (2)$$

w których:

$W_i$  – wartość liczbowa oceny podana przez j-tego konsumenta wody z zakresu 1÷5, uwzględniająca podane wskaźniki jakości życia ( $i=1, 2, 3, \dots, M$ ; 1 – ochrona zdrowia, 2 – bezpieczeństwo, 3 – stan środowiska naturalnego, itp.)

$W_j^{sr}$  – średnia arytmetyczna ocen podanych przez j-tego konsumenta

$M$  – liczba wskaźników branych do oceny QLI

$N$  – liczba ankietowanych konsumentów wody ( $j=1, 2, 3, \dots, N$ )

Jednym z elementów jakości życia jest niewątpliwie jakość usług związanych z korzystaniem z wodociągów publicznych, a w szczególności niezawodny i bezpieczny dostęp do wody zdatnej do spożycia (zgodnie z obowiązującymi przepisami). Ważnym elementem w tym zakresie jest również subiektywna ocena konsumentów wody, poczucie ich bezpieczeństwa, ich zaufanie do przedsiębiorstwa wodociągowego co do jakości świadczonych usług, co przekłada się bezpośrednio na akceptację działań (w tym akceptację ceny wody) podejmowanych przez przedsiębiorstwo wodociągowe (np. prace modernizacyjne, remonty itp.).

Wartość wskaźnika jakości usług wodociągowych (WJUW) można wyznaczyć z zależności:

$$WJUW = C \cdot J \cdot Z \quad (3)$$

w której:

$C$  – parametr związany z akceptacją ceny wody przez konsumentów

$J$  – parametr związany z oceną jakości wody przez konsumentów

$Z$  – parametr związany z zaufaniem konsumentów wody do działalności prowadzonej przez przedsiębiorstwo wodociągowe (w tym zaufanie, aby woda wodociągowa była bezpieczna dla zdrowia)

Poszczególnym parametrom przypisuje się wagi punktowe w zależności od stopnia akceptacji (tab. 1). Wyznaczony w ten sposób wskaźnik WJUW przyjmuje wartości z zakresu 1÷27.

Tabela 1. Wagi punktowe parametrów wskaźnika jakości usług wodociągowych (WJUW)

Parametr	Opis cechy	Waga punktowa
C (cena wody)	akceptowana	3
	tolerowana	2
	nieakceptowana	1
J (jakość wody)	bardzo dobra	3
	dobra	2
	zła	1
Z (zaufanie do wodociągów)	wysokie	3
	średnie	2
	niskie	1

Biorąc pod uwagę wartości QLI oraz WJUW można wyznaczyć wartość wskaźnika akceptacji konsumentów wody kosztów ponoszonych przez przedsiębiorstwo wodociągowe na ochronę systemu zaopatrzenia w wodę przed zdarzeniami niepożądanymi ( $U$ ), wg formuły:

$$U = QLI \cdot WJUW \quad (4)$$

w której:

$U$  – wskaźnik określający akceptację przez konsumentów wody kosztów ochrony systemu zaopatrzenia w wodę

Wyznaczony w ten sposób wskaźnik  $U$  przyjmuje wartości z przedziału 1÷135. Akceptację ponoszonych kosztów można przyjmować wg skali podanej w tabeli 2.

Jeśli wartość  $U$  odpowiada poziomowi akceptowanemu oznacza to, że koszty ponoszone przez przedsiębiorstwo wodociągowe w celu ochrony systemu zaopatrzenia w wodę są

Tabela 2. Wartość wskaźnika akceptacji kosztów ochrony systemu zaopatrzenia w wodę (U)

Skala akceptacji	U
Akceptowany	135+50
Tolerowany	50+25
Nieakceptowany	25+1

akceptowane przez konsumentów. Jeśli wartość U odpowiada poziomowi tolerowanemu oznacza to, że koszty ponoszone przez przedsiębiorstwo wodociągowe w tym celu są tolerowane przez konsumentów, przedsiębiorstwo powinno jednak przeprowadzić akcję informacyjną w celu przekonania konsumentów, co do konieczności przeprowadzanych przedsięwzięć. Jeżeli natomiast wartość U odpowiada poziomowi nieakceptowanemu oznacza to, że koszty ponoszone przez przedsiębiorstwo wodociągowe w celu ochrony systemu zaopatrzenia w wodę nie są akceptowane przez konsumentów, a przedsiębiorstwo powinno zweryfikować plan swoich działań.

### Podsumowanie

Dyrektywa 98/83/EC nakłada na państwa członkowskie obowiązek zapewnienia, że jakość wody do spożycia gwarantuje brak ryzyka dla zdrowia konsumentów wody, a dyrektywa 2000/60/EC uwzględnia aspekty oceny ryzyka w strategii ochrony wód. Społeczeństwo polskie oczekuje wysokich standardów w sferze życia społecznego i ekonomicznego. Jakość życia jest kategorią subiektywną i trudno mierzalną, niewątpliwie jednym ze standardów tej jakości powinien być niezawodny i bezpieczny dostęp do czystej wody. Wymaga to ponoszenia niejednokrotnie wysokich kosztów przez przedsiębiorstwa wodociągowe, w celu minimalizacji ryzyka związanego z możliwością pojawienia się w systemie zaopatrzenia w wodę różnych zdarzeń niepożądanych, które mogą mieć charakter incydentalny lub mogą wywołać skutki zagrażające zdrowiu, a nawet życiu konsumentów wody. Ponieważ koszty te wpływają na cenę wody, dlatego powinny być akceptowane przez społeczeństwo. Stopień akceptacji zależy przede wszystkim od świadomości zagrożeń, ale także od wartości wskaźnika jakości życia.

Przedstawiona metoda wyznaczenia wskaźnika akceptacji kosztów na podstawie wskaźnika jakości życia oraz wskaźnika jakości usług jest propozycją, którą można wykonać w kompleksowym programie zarządzania ryzykiem w systemie zaopatrzenia w wodę, z uwzględnieniem opinii konsumentów. Metoda opiera się na wskaźnikach, których ocena jest często bardzo trudna i wymaga interdyscyplinarnej współpracy wielu specjalistów, niemniej jednak daje możliwość poznania opinii konsumentów wody co do akceptacji decyzji podejmowanych przez przedsiębiorstwo wodociągowe.

### LITERATURA

1. Opinia Komisji Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego oraz Komitetu Regionów – biała księga nt. usług użyteczności publicznej. COM, 2004, p. 374.
2. J. RAK, B. TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK: Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005.
3. J. RAK, B. TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK: Uwarunkowania podejmowania ryzyka na przykładzie systemu zaopatrzenia w wodę. Ochrona Środowiska, 2006, nr 2, ss. 57–60.
4. J. RAK: Metoda szacowania ryzyka zagrożenia systemu zaopatrzenia w wodę. Ochrona Środowiska, 2003, nr 2, ss. 33–36.
5. L.W. MAYS: The role of risk analysis in water resources engineering. Department of Civil and Environmental Engineering, Arizona State University, 2005, www.public.asu.edu/lwmays, pp. 8–12.
6. J. RAK: Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Komitet Inżynierii Środowiska PAN, 2005, t. 28.
7. W. GŁODEK: Ryzyko awarii przemysłowych. Branżowy Magazyn Przemysłowy – Chemia przemysłowa, 2002, nr 3.
8. Reducing risk – decision making process. HSE-book, 2001, www.hse.gov.uk
9. PN-IEC 60300-3-1. Analiza RCM, 2005.
10. B. TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK: Use of maintenance technique directed to reliability to manage risk connected with water supply system operation. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę jakość i ochrona wód”, PZITS, Poznań–Zakopane 2006, t. 2, ss. 631–638.
11. D. DIAMANTIDIS: Risk acceptance criteria for long tunnels. Proc. of PSAM 6 International Conference, Puerto Rico 2002.

**Tchórzewska-Cieślak, B. Estimating the Acceptance of Bearing the Cost of the Risks Associated with the Management of Water Supply System. Ochrona Środowiska 2007, Vol. 29, No. 3, pp. 69–72.**

**Abstract:** An inherent feature of any water supply system is the probability that a variety of undesired events will occur in the course of operation, e.g. pipe failure or water recontamination in the water-pipe network. The risks associated with such occurrences mean a real loss of safety to the users. In this context, it is advisable that the management of the risks inherent in the functioning of the water supply system should be listed by water producers among priority cases. The present paper addresses

two major issues: the problems to be faced in the management of a water supply system, and the acceptance of the costs that are to be borne to reduce the risks associated with the functioning of the system. A method has been proposed, where two quality indices are made subject to analysis: the one pertaining to the water supply services and the quality of life index (QLI). On this basis an index has been proposed concerning the acceptance by the water users of the costs that are to be borne by the water producers in order to protect the water supply system against undesired events. The method proposed can be used in a joint risk management project executed in waterworks.

**Keywords:** Water supply system, risk, risk management.