

Janusz Rak

Metoda szacowania ryzyka zagrożenia systemu zaopatrzenia w wodę

Ryzyko jest ważną miarą, charakteryzującą jakość systemu zaopatrzenia w wodę, a także podstawowym wskaźnikiem bezpieczeństwa. Wywodzi się z teorii niezawodności i bezpieczeństwa systemów [1–3]. Należy liczyć się z tym, że w nieodległej przyszłości przedsiębiorstwa wodociągowe będą ubiegać się o certyfikaty, w dużej mierze oparte na ocenie ryzyka. Oferta przedsiębiorstw wodociągowych pod względem niezawodności funkcjonowania i niezawodności bezpieczeństwa systemów wodociągowych powinna być stale udoskonalana, pomimo zmieniających się warunków ekonomicznych i prawnych, przy nasilającej się presji ze strony środowiska ekologów i zaostrzania norm jakości wody przeznaczonej do spożycia. Powstawanie strat wywołanych przerwami w dostawie wody, czy też dostarczaniem wody o obniżonych parametrach jakościowych, będzie rodzić protesty. Straty obejmują zarówno brak wpływów finansowych za niedostarczoną wodę, jak i za ewentualne odszkodowania na rzecz odbiorców. Pojawia się zatem problem wymiernego oszacowania strat, które niejednokrotnie mają charakter losowy. Z podstawowej formuły ekonomicznej, że zysk stanowi różnicę pomiędzy dochodem i wydatkami, wynika rola strat, które obciążając wydatki, wpływają na obniżenie zysku [4].

W praktyce eksploatacyjnej sprawdza się zasada, że małe straty pojawiają się z względnie dużym prawdopodobieństwem, a duże – z małym prawdopodobieństwem [1,5]. Specyfiką systemów zaopatrzenia w wodę jest możliwość oszacowania strat niedużych, do usunięcia których firma wodociągowa ma środki finansowe w swoim budżecie (np. koszty funkcjonowania brygad remontowych usuwających awarie sieci wodociągowej). Dlatego też, przy określaniu ryzyka, w systemie zaopatrzenia w wodę należy rozpatrywać zdarzenia szczególnie niekorzystne, występujące w sposób incydentalny i losowy.

W pracy [5] przyjęto następującą definicję ryzyka: jest co najmniej dwuwymiarowym, złożonym pojęciem obejmującym możliwość niekorzystnego wyniku, bądź niepewność co do zdarzenia niekorzystnego, tj. momentu zajścia, zdarzenia, czasu jego trwania, wielkości niekorzystnego wyniku. Z kolei w pracach [6,7] ryzyko określa się jako kombinację częstości (lub prawdopodobieństwa) wystąpienia określonego zdarzenia niebezpiecznego i konsekwencji z nim związanych.

Obok terminu „ryzyko” używany jest termin „zagrożenie”. Jakkolwiek terminy te jako bliskoznaczne i bywają niekiedy

stosowane zamiennie, to zagrożenie bardziej niż ryzyko wiąże się z poczuciem niebezpieczeństwa. Pojęcie ryzyka z kolei bardziej kojarzy się z oszacowaniem niepewności i możliwych strat z tym związanych.

Dopuszczalny poziom ryzyka jest trudny do określenia. Wydaje się, że przydatny w tym względzie mógłby być model o nazwie „proces postępowania klienta”, który składa się z trzech etapów:

- uświadomienie potrzeby,
- identyfikacja sposobów zaspokojenia potrzeb,
- opinia konsumenta o produkcie/usłudze.

Na rynku dostawy wody najczęściej stosowaną metodą w identyfikacji cech przedmiotu popytu (jakość, ilość, niezawodność, bezpieczeństwo, cena, ciągłość dostawy i serwis) powinny być opinie konsumentów wyrażane w ankietach na temat komfortu zaopatrzenia w wodę przeznaczoną do spożycia [8]. Na rysunku 1 pokazano przykłady możliwych poziomów ryzyka.



Rys. 1. Rozkład ryzyka

Miary ryzyka (r), przydatne w systemach wodociągowych, są następujące [3,4]:

- prawdopodobieństwo zajścia niepożądanych zdarzeń (P) powodujących straty,
- bezwzględna wartość strat (C) wyrażona w kosztach finansowych,
- prawdopodobieństwo przekroczenia określonej wartości strat finansowanych $P(C > C_{gr})$,
- wartość oczekiwana strat $E(C)$:

$$r = \frac{E(C)}{E(Z)} \quad (1)$$

gdzie:

$$E(C) = \sum_i P_i C_i \quad (2)$$

$E(Z)$ – oczekiwany zysk finansowy,–

P_i – Prawdopodobieństwo zajścia i-tego zdarzenia niepożądanego,–

C_i – wartość strat związanych z i-tym zdarzeniem niepożądanym,–

Wiedza związana z analizowaniem i modelowaniem ryzyka oraz interpretacją wyników i wyciąganiem wniosków ma często charakter związany z indywidualnymi odczuciami, ponieważ nie można przeprowadzić badań eksperymentalnych. Dlatego też głównym źródłem wiedzy z tego zakresu są specjaliści/eksperti, którzy różnymi metodami dokonują tzw. oszacowań eksperckich. Wymagany stopień obiektywizmu spełniony jest w dwojaki sposób [9]:

- praca ekspertów w zespołach,
- przestrzeganie zasad i procedur związanych z oszacowaniem ryzyka.

Wśród metod oceny ryzyka o standardach międzynarodowych wyróżnia się podział na metody jakościowe i ilościowe [6,7]. Metody ilościowe polegają na opisie zdarzeń za pomocą funkcji gęstości prawdopodobieństwa, mogą być wykorzystywane do badania analitycznego modelu ryzyka i jego symulacji komputerowej. Ich zastosowanie ogranicza możliwość pozyskania użytecznych danych empirycznych, dlatego we wstępnych analizach można posłużyć się metodami jakościowymi oceny ryzyka. Przy analizach ryzyka z matematycznego punktu widzenia obowiązuje formuła, że miarą ryzyka jest iloczyn miary konsekwencji i prawdopodobieństwa wystąpienia szkody (miara zawodności). Świadomość tego związku stała się podstawą do opracowania jakościowej metody eksperckiej szacowania ryzyka zagrożenia systemu zaopatrzenia w wodę.

Opis metody

Zaproponowana metoda jakościowa szacowania ryzyka związana jest z potencjalnymi sytuacjami emisji awaryjnych w systemie zaopatrzenia w wodę aglomeracji miejskiej. Pierwszym krokiem jest identyfikacja zagrożeń dla wody surowej i uzdatnionej oraz zagrożeń mogących powstać w sytuacji awaryjnej [10]. Następnie należy zidentyfikować możliwe sytuacje awaryjne związane z określonymi zagrożeniami. Scenariusze sytuacji awaryjnych (zdarzenia niepożądane) mogą być następujące:

- powódź, susza,
- zanieczyszczenie źródła wody związane z rozległymi katastroficznymi stratami w ekosystemie,
- incydentalne zanieczyszczenie źródła wody, które proces technologiczny uzdatniania wody nie jest w stanie usunąć,
- incydentalne zanieczyszczenie źródła wody, które wymaga korekt w konwencjonalnym procesie uzdatniania wody [11],
- incydentalne zanieczyszczenie źródła wody, które może być usunięte po uruchomieniu procesu alternatywnego uzdatniania wody,
- globalny zanik dostawy energii elektrycznej,
- uszkodzenia strategicznych rurociągów magistralnych bądź tranzytowych,
- sytuacje związane z wandalizmem bądź działaniem psychopaty,
- sytuacje związane z aktami terrorystycznymi,

– reagowanie na sytuacje awaryjne (np. możliwość dostawy wody ze źródeł awaryjnych beczkowozami) [12],

– zawodność funkcjonowania elementów i podsystemów systemu zaopatrzenia w wodę,

– możliwość skażenia wody w sieci wodociągowej [13–15],

– możliwość skażenia wody w sieciowych zbiornikach wody czystej.

Dla każdego scenariusza sytuacji awaryjnej można określić prawdopodobieństwo wystąpienia w skali 6-stopniowej, stosując kategorie prawdopodobieństw zawarte w tabeli 1.

Tabela 1. Kategorie prawdopodobieństwa (częstość występowania)

Kategoria	Częstość zdarzenia	Waga (W_i)
Ekstremalnie nieprawdopodobne	Raz na 500 lat	1
Bardzo nieprawdopodobne	Raz na 100 lat	2
Nieprawdopodobne	Raz na 20÷100 lat	3
Mało prawdopodobne	Raz na 5÷20 lat	4
Dość prawdopodobne	Raz na 1÷5 lat	5
Prawdopodobne	1÷10-krotnie w ciągu roku (bądź więcej)	6

Należy zwrócić uwagę, że kategorie prawdopodobieństw odnoszą się do sytuacji awaryjnych występujących losowo, a nie mających charakter zdeterminowany, np. planowany (remonty). Ponieważ proces oceny jest do pewnego stopnia subiektywny, dlatego aby uzyskać rozsądne przybliżenie możliwej częstości zdarzeń zaleca się, żeby wynik oceny stanowił konsensus opinii kilku ekspertów. Kolejnym krokiem jest ocena możliwych konsekwencji powstałych w wyniku sytuacji awaryjnych.

Stosując opisy zawarte w tabeli 2 można oszacować wagi możliwych konsekwencji, przypisując daną sytuację awaryjną do odpowiedniej kategorii.

Ocena ryzyka

Dla każdego ze scenariuszy związanych z sytuacjami awaryjnymi można obliczyć ogólne ryzyko danego zdarzenia (r) poprzez przemnożenie wagi prawdopodobieństwa (W_1) przez wagę konsekwencji (W_2):

$$r = W_1 \cdot W_2 \quad (3)$$

W tabeli 3 zestawiono wartości ryzyka wynikające z zastosowanej metody obliczeniowej.

Końcowa ocena ryzyka polega na jego przyporządkowaniu według skali zaprezentowanej w tabeli 4.

Zarządzanie ryzykiem

Otrzymane w ten sposób trzy listy dla trzech kategorii ryzyka analizuje się pod względem utworzenia rankingowej listy problemowej. W wypadkach wystąpienia ryzyka nieakceptowanego należy podjąć działania na bazie teorii zarządzania ryzykiem celem jego zmniejszenia. W ten sposób dochodzi się do kolejnej fazy analizy ryzyka, którą jest określenie priorytetów. Lista priorytetów wskazuje, jaki rodzaj

Tabela 2. Kategorie konsekwencji spowodowanych przez sytuacje awaryjne

Kategoria	Definicja	Waga (W ₂)
Małe	– uciążliwość nie zagrażająca zdrowiu – brak skarg konsumentów – strata finansowa do 1000 euro	1
Zauważalne	– dostrzegalne zmiany organoleptyczne – niewielkie przekroczenie normatywu jakości wody do spożycia – incydentalne skargi konsumentów – strata finansowa 1000+5 000 euro	2
Znaczące	– znacząca ciągła uciążliwość, np. odór – znaczące przekroczenie normatywu jakości wody do spożycia – niedyspozycje zdrowotne konsumentów – liczne skargi i powiadomienie w mediach publicznych – strata finansowa 5 000+20 000 euro	3
Poważne	– wymagane leczenie szpitalne osób narażonych – powiadomienie mieszkańców o zagrożeniu – zaangażowanie profesjonalnych służb ratowniczych – szerokie informowanie w mediach lokalnych i ogólne w ogólnokrajowych – zamknięcie dostawy wody do sieci wodociągowej – strata finansowa 20 000+50 000 euro	4
Duże	– masowa hospitalizacja osób narażonych – zagrożenie zdrowia lub życia konsumentów – poważne efekty toksyczne wśród organizmów wskaźnikowych – zaopatrywanie ludności w konfekcjonowaną wodę do spożycia – czołówki wiadomości ogólnokrajowych – strata finansowa 5·10 ⁴ +10 ⁶ euro	5
Katastrofalne	– przypadki śmiertelne i masowe powikłania zdrowotne wśród osób narażonych – konieczna pomoc zewnętrznych służb ratowniczych – masowe dostarczanie z zewnątrz wody do spożycia dla mieszkańców – nagłówki wiadomości międzynarodowych – strata finansowa powyżej 10 ⁶ euro	6

Tabela 3. Wartości liczbowe ryzyka wystąpienia danego scenariusza sytuacji awaryjnej

Prawdopodobieństwo	Konsekwencje					
	małe	zauważalne	znaczące	poważne	duże	katastrofalne
Ekstremalnie nieprawdopodobne	1	2	3	4	5	6
Bardzo nieprawdopodobne	2	4	6	8	10	12
Nieprawdopodobne	3	6	9	12	15	18
Mało prawdopodobne	4	8	12	16	20	24
Dość prawdopodobne	5	10	15	20	25	30
Prawdopodobne	6	12	18	24	30	36

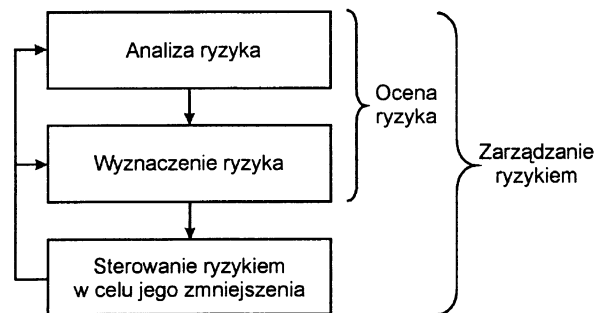
Tabela 4. Kategorie i wartości liczbowe ryzyka

Kategoria ryzyka	Wartość liczbową ryzyka (r)
Tolerowane	≤6
Kontrolowane	8+12
Nieakceptowane	≥15

ryzyka należy zmniejszyć, bądź wyeliminować w pierwszej kolejności. Konkretnie rozwiązanie techniczne powinno być każdorazowo optymalne pod względem oczekiwanych efektów, jak i zainwestowanych środków finansowych. Faza zarządzania ryzykiem składa się z następujących elementów [16]:

- ustalenie kryteriów wyboru metody rozwiązania problemu,
- ustalenie celów do realizacji,
- przedstawienie i analiza różnych metodycznie sposobów rozwiązania problemu, wraz z analizą efektywności ekonomicznej,
- wdrożenie wybranej metody i kontrola jej skuteczności poprzez diagnozowanie i monitorowanie.

Na rysunku 2 przedstawiono uproszczony schemat procesów wchodzących w skład modelowania ryzyka.



Rys. 2. Uproszczony schemat zależności w procesie modelowania ryzyka

Sposobów zmniejszenia ryzyka należy poszukiwać w następujących obszarach [9]:

- zapobieganie zdarzeniom niepożądanym (kontrola, diagnostyka, profilaktyka, odnowa systemu, ogólnie prewencja),
- przeciwdziałanie awariom (zmniejszenie negatywnych skutków po ich wystąpieniu, ograniczenie potencjału niebezpieczeństwa),
- ratownictwo (zapewnienie skuteczności i niezawodności działania w czasie trwania awarii oraz utrzymywanie stanu gotowości w okresie poprzedzającym).

Wiąże się to z następującymi kierunkami działań w tym względzie:

- poprawa niezawodności systemu człowiek–obiekt techniczny–środowisko,
- zapobieganie stratom poprzez zmniejszenie zagrożeń,
- minimalizacja tzw. strat wtórnych, wyznaczonych za pomocą ciągnionego rachunku ekonomicznego.

Podsumowanie

Przedstawiona metoda jakościowa przewidywania ryzyka pozwala dla każdego scenariusza sytuacji awaryjnej na wyznaczenie wartości liczbowej ryzyka, co uzyskuje się poprzez przemnożenie wagi prawdopodobieństwa (zawodność) przez

wagę konsekwencji. Dla scenariuszy sytuacji awaryjnych o stopniu oceny ryzyka równym lub większym od 15 należy wdrożyć procedury związane z zarządzaniem ryzykiem celem jego zmniejszenia. W wypadku systemu zaopatrzenia w wodę może to polegać na zastosowaniu elementów systemu multibariera (np. stacja osłonowa ujęcia wody, ozonowanie pośrednie i filtracja przez węgiel aktywny, technologia alternatywna, np. węgiel pylisty, dublowanie strategicznych rurociągów tranzytowych, zwiększenie rezerwowych agregatów pompowych w pompowniach, zwiększenie objętości wody w zbiornikach sieciowych, monitoring jakości wody surowej, uzdatnionej i w sieci wodociągowej, systemy wczesnego, opóźnionego i późnego ostrzegania, sporządzenie bilansu zaopatrzenia w wodę ze źródeł alternatywnych itp.).

Omówiona metoda szacowania ryzyka nie uwzględnia obliczeniowo możliwości kumulowania się scenariuszy awaryjnych. Dalsze prace nad doskonaleniem metody muszą uwzględnić ogólne ryzyko zagrożenia systemu zaopatrzenia w wodę. W tym celu należałoby określić liczbę rozpatrywanych scenariuszy awaryjnych i podjąć próbę określenia górnych wartości liczbowych dla pojedynczych zdarzeń (tab. 4).

Dalsze kierunki badań powinny wprowadzić rozgraniczenie ryzyka indywidualnego i grupowego dla konsumentów wody. Szeroki zakres możliwości metody może być wykorzystywany przy analizach rozmaitych sytuacji kryzysowych związanych z funkcjonowaniem systemów zaopatrzenia w wodę w ramach tzw. systemu analizy sytuacji kryzysowych (SASK).

LITERATURA

1. E. S. KEMPA: Analiza ryzyka w systemach oczyszczania wód. *Ochrona Środowiska*, 1993, nr 3, ss. 5–10.
2. E. S. KEMPA: Ryzyko w procesach i obiektach inżynierii sanitarnej. *Ochrona Środowiska*, 1995, nr 2, ss. 43–48.
3. R. IWANEJKO, A. WIECZYSTY: O konieczności i sposobach określania ryzyka producenta i odbiorcy wody w systemie wodociągowym. *Mat. konf. „Bezpieczeństwo, niezawodność, diagnostyka urządzeń i systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych, grzewczych”*, PZITS, Kraków–Zakopane 2001, ss. 163–172.

4. T. LUBOWIECKA, A. WIECZYSTY: Ryzyko w systemach zaopatrzenia w wodę. Monografia Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk Ryzyko w gospodarce wodnej, zeszyt nr 17, Warszawa 2000, ss. 113–141.
5. T. ŁOZOWICKA-STUPNICKA: Ocena ryzyka i zagrożeń w złożonych systemach człowiek–obiekt techniczny–środowisko. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Seria Inżynieria Sanitarna i Wodna, Monografia nr 270, Kraków 2000.
6. PN-EN-1050 Zasady oceny ryzyka. 1999.
7. PN-IEC 60300-3-9 Analiza ryzyka w systemach technicznych. 1999.
8. A. WIECZYSTY, P. KRAWCZYK: Ocena uciążliwości przerw w dostawie wody przez jej odbiorców. *Mat. konf. „Bezpieczeństwo, niezawodność, diagnostyka urządzeń i systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych, grzewczych”*, PZITS, Kraków–Zakopane 2001, ss. 409–417.
9. T. SZOPA: Problematyka bezpieczeństwa. Materiały pomocnicze dla studentów specjalności Inżynieria Bezpieczeństwa. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001.
10. S. A. RYBICKI: System multibariera – sposób zmniejszenia ryzyka dostarczania wody o niewłaściwej jakości. *Ochrona Środowiska*, 2001, nr 3, ss. 7–12.
11. J. RAK, A. WIECZYSTY: Określenie ryzyka oczyszczania wody na przykładzie ZUW Kobiernice–Soła 1. *Ochrona środowiska*, 1993, nr 4, ss. 9–10.
12. A. WIECZYSTY, J. RAK: Zaopatrzenie w wodę do picia w sytuacjach nadzwyczajnych. *Prace naukowe GIG, Seria Konferencje* nr 18, Katowice 1997, ss. 85–92.
13. B. WICHROWSKA, J. KOZŁOWSKI, D. JANKOWSKA: Ocena ryzyka zdrowotnego w świetle przepisów polskich i Unii Europejskiej dotyczących jakości wody do picia. *Ochrona Środowiska*, 2001, nr 4, ss. 19–22.
14. J. RAK, A. STUDZIŃSKI: Problematyka ryzyka zdrowotnego związanego z zanieczyszczeniem wody do picia. *Mat. konf. „Aktualne problemy budownictwa i inżynierii środowiska”*, cz. 2 – Inżynieria Środowiska, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej* nr 180, Rzeszów 2000, ss. 345–351.
15. Praca zbiorowa: Szacowanie ryzyka zdrowotnego związanego z zanieczyszczeniem środowiska. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 1995.
16. R. IWANEJKO, T. LUBOWIECKA: Ryzyko w podejmowaniu decyzji w systemach zaopatrzenia w wodę. *Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę i jakość wód”*, PZITS, Gdańsk–Poznań 2002, ss. 1043–1054.

Rak, J. Risk Estimates for Water Supply Systems. *Ochrona Środowiska* 2003, Vol. 25, No. 2, pp. 33–36.

Abstract: Risk is a measure of safety for a water supply system (WSS). By definition, 'risk' denotes the possibility of something disadvantageous happening at sometime in the future, or a situation that might be dangerous or have a disadvantageous result. It is conventional to distinguish three levels of risk: tolerable, controllable and inadmissible. With a WSS there are the following measures of risk: the probability that an undesirable event will occur, the absolute value of losses expressed in financial terms, and the expected value of losses. In this paper, a method of establishing a qualitative risk estimate for a WSS is presented. The hazards to the WSS are identified and the scenarios of emergency situations (undesirable events) are

described. For each emergency situation, the frequency of occurrence is determined in a 6-stage scale with weights from 1 to 6. Thereafter the weights of the consequences of the undesirable events are given for 6 categories (from 1 to 6). The overall risk (r) of a given emergency situation in the WSS is calculated, multiplying the weight of probability by the weight of consequence. Thus, when $r \leq 6$, the risk is tolerable; when $8 \leq r \leq 12$, there is controllable risk, and when $r \geq 15$, the risk is an inadmissible one. Relevant data sets have been tabulated to allow risk estimates to be made. In this way, a risk ranking list has been established for particular emergency situations that may occur in a WSS. Consideration is also given to risk management problems.

Keywords: Risk analysis, water supply system.