

Sławomir RYBKA
Andrzej STUDZIŃSKI
Politechnika Rzeszowska

METODYKA OCENY RYZYKA ZWIĄZANEGO Z BRAKIEM DOSTAWY WODY DLA AGLOMERACJI MIEJSKIEJ

W pracy przedstawiono metodę szacowania ryzyka związanego z niedoborem dostawy wody z układów zasilania do sieci wodociągowej. Jako miarę ryzyka zaproponowano wskaźnik ryzyka względnego, określony jako stosunek ryzyka (wartości oczekiwanej niedoboru wody) do zapotrzebowania na wodę. Metodę zilustrowano przykładem obliczeniowym.

1. Wprowadzenie

Czynnikiem „napędzającym” prace nad ryzykiem oraz sposobami jego kontrolowania od tysięcy lat był hazard. Słowo to pochodzi od arabskiego wyrażenia *al zahr*, które oznacza grę w kości. Chęć ograniczenia ryzyka związanego z hazardem stała się przesłanką do szukania reguł rządzących przypadkiem, wynikiem zaś tych poszukiwań stał się rachunek prawdopodobieństwa [1].

Ryzyko to co najmniej dwuelementowa kombinacja prawdopodobieństwa (częstości) wystąpienia określonego zdarzenia awaryjnego i konsekwencji związanych z tym zdarzeniem [2]. Podstawową matematyczną definicję ryzyka przedstawia się wzorem:

$$r = P \cdot C \quad (1)$$

gdzie: P – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia,

C – miara konsekwencji odpowiadająca kategorii skutków-szkód.

Ryzyko to uporządkowany trójelementowy zbiór:

$$r = (P_{si}, C_{si}, S_{si}) \quad (2)$$

gdzie: S_{si} – i -ty scenariusz awaryjny opisany jako ciąg zdarzeń niepożądanych,

P_{si} – prawdopodobieństwo wystąpienia i -tego scenariusza awaryjnego,

C_{si} – wielkość strat spowodowanych przez i -ty scenariusz awaryjny.

Miarę ryzyka wyznacza się następującą formułą:

$$r = \sum_{i=1}^n P_{si} \cdot C_{si} \quad (3)$$

Przyjęto, że miarą strat będzie dobowy deficyt dostawy wody do miasta ΔQ_{si} . Ryzyko to prawdopodobieństwo straty, szansa zaś to prawdopodobieństwo zysku. Pod uwagę należy więc wziąć dwa wymiary: prawdopodobieństwo i konsekwencje. Ryzyko ma wymiar przede wszystkim dynamiczny. Jest ono istotne tylko wówczas, gdy istnieje konieczność i możliwość podjęcia decyzji, dokonania wyboru. Jeśli takiej możliwości nie ma, to nie ma też ryzyka [1].

Niezawodność to zdolność systemu do realizacji przynależnych mu funkcji, zgodnie z wymaganiami dotyczącymi jego funkcjonowania i bezpieczeństwa. Niezawodność związana ze zbiorowym systemem zaopatrzenia w wodę definiowana jest jako prawdopodobieństwo spełnienia następujących wymagań:

- dostarczenia wody zgodnej z normatywem jakościowym,
- dostarczenia wody pod wymaganym ciśnieniem,
- dostarczenia wody w odpowiedniej ilości,
- dostarczenia wody o dogodnej dla konsumenta porze,

oraz jako spełnienie tych wymagań po akceptowalnej jednostkowej cenie dostarczanej wody. W zależności od tego, czy wymagania te mają być spełnione w:

- dowolnej chwili czasu – operuje się wskaźnikiem gotowości K , w praktyce (w zakładach wodociągowych) utożsamianym z prawdopodobieństwem sprawności,
- określonym przedziale czasowym – operuje się funkcją niezawodności $R(t)$ [3].

2. Metodyka oceny ryzyka

Dokonano oceny ryzyka braku dostawy wody w mieście Y dla systemu zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW), w skład którego wchodzi cztery układy zasilania w wodę $U1$, $U2$, $U3$, $U4$. Ocena ryzyka braku dostawy wody polega na wyznaczeniu prawdopodobieństwa, że:

- SZZW spełni zadanie polegające na dostarczeniu wymaganej ilości wody Q_{dmax} pod odpowiednim ciśnieniem,
- SZZW miasta Y nie znajdzie się w stanie klęski.

Stan klęski występuje wtedy, gdy zasilanie miasta w wodę pokrywa stosunkowo niski procent zapotrzebowania równy $0,3 Q_{dmax}$, utrzymujący się przez dłuższy czas [3, 4]. Jednoznaczne określenie stanu klęski jest niemożliwe, dlatego określa się go hipotetycznie, zakładając jego wystąpienie przy spadku ciśnienia w sieci do ok. 0,1 MPa, co sprawia, że tylko mieszkańcy zamieszkujący partery budynków będą mieć ograniczony dostęp do wody [5÷7].

W omawianym przykładzie do oceny ryzyka braku dostawy wody wykorzystano metodę niedoborów. W metodzie tej niezbędne jest dokonanie zestawienia stanów, w jakich mogą znajdować się wszystkie źródła zasilania w wodę. Niedobór produkcji wody spowodowany uszkodzeniami niektórych elementów SZZW może posłużyć do określenia ryzyka. Przyjmując jako miarę strat C wielkość niedoboru wody ΔQ , ryzyko jego wystąpienia r_b można określić ze wzoru:

$$r_b = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \Delta Q_i \quad (4)$$

Wskaźnik ten jest zależny od zapotrzebowania na wodę. Aby umożliwić porównywanie otrzymanych wyników dla SZZW o różnej wielkości (wyrażonej np. maksymalnym dobowym zapotrzebowaniem wody Q_{dmax}), zastosowano wskaźnik ryzyka względnego według zależności:

$$r_w = \frac{r_b}{Q_{dmax}} \quad (5)$$

Jego wartość pozwala na zakwalifikowanie ryzyka braku dostawy wody do jednej z trzech, powszechnie przyjmowanych kategorii: ryzyko kontrolowane, ryzyko tolerowane i ryzyko nieakceptowalne [2, 8, 9]. Wartości wskaźnika r_w zestawiono w tab. 1.

Tabela 1. Wartości wskaźnika r_w dla poszczególnych kategorii ryzyka

Kategoria ryzyka	r_w
Kontrolowane	$\geq 10^{-2}$
Tolerowane	$10^{-2} \div 5 \cdot 10^{-4}$
Nieakceptowalne	$\leq 5 \cdot 10^{-4}$

3. Przykład obliczeniowy

Przykładowe obliczenia przedstawiono dla miasta zaopatrywanego z czterech układów zasilania, oznaczonych jako $U1$, $U2$, $U3$ i $U4$. Rozpatrzono trzy przypadki:

- I – SZZW jest systemem zrównoważonym,
- II – SZZW jest systemem z nadmiarem,
- III – SZZW jest systemem z niedoborem.

Dla poszczególnych przypadków zróżnicowano wartość maksymalnego dobowego zapotrzebowania wody, odpowiednio: $Q_{Idmax} = 100\,000 \text{ m}^3/\text{d}$, $Q_{IIIdmax} = 90\,000 \text{ m}^3/\text{d}$, $Q_{IIIIdmax} = 110\,000 \text{ m}^3/\text{d}$. Dla SZZW miasta Y liczba możliwych stanów, w jakich mogą znajdować się wszystkie źródła zasilania, jest równa 2^m ,

gdzie m określa liczbę układów zasilania; dla miasta Y $m = 4$. Przyjęto dwustanowy model pracy układów zasilania: pełnej sprawności i całkowitej niesprawności. Poszczególne stany pracy określono następująco: „-” oznacza stan awarii, uszkodzenia, natomiast „+” stan pracy bezawaryjnej.

W przypadku I maksymalna produkcja wody uzdatnionej SZZW miasta Y jest równa sumie maksymalnych dobowych wydajności ujęć i wynosi 100 000 m³. Maksymalne wartości wydajności poszczególnych układów zasilania oraz ich wskaźniki gotowości i postępu zestawiono w tab. 2.

Tabela 2. Wartości produkcji wody oraz wskaźników gotowości i postępu

Układ zasilania	U1	U2	U3	U4
Wydajność maksymalna, m ³ /d	11000	16000	31000	42000
Wskaźnik gotowości K_g	0,971	0,989	0,982	0,972

Niedobór wody w poszczególnych stanach można określić ze wzoru:

$$\Delta Q = Q_{dmax} - \sum_{k=1}^k Q_{ik} \quad (6)$$

gdzie Q_{ik} – wydajność poszczególnych źródeł zasilania w i -tym stanie przy k_i uszkodzeniach.

Prawdopodobieństwo P_i określa częstość występowania niedoborów zasilania. Oblicza się je ze wzoru:

$$P_i = \prod_{j \in n} K_j \cdot \prod_{j \in p} (1 - K_j) \quad (7)$$

gdzie: K_j – wskaźnik gotowości j -tego układu zasilania,
 $j \in p$ – zbiór elementów, które są sprawne w i -tym stanie,
 $j \in n$ – zbiór elementów, które są niesprawne w i -tym stanie.

Zakłada się, że w przypadku miasta Y stan klęski nastąpi, gdy ciśnienie wody w sieci dystrybucyjnej spadnie do poziomu 0,1 MPa oraz gdy wydajność systemu spadnie do $Q_g = 29\,500$ m³/d. W przypadku systemu zrównoważonego (I) wartość zapotrzebowania na wodę wynosi: $Q_{dmax} = 100\,000$ m³/d i jest równa wydajności wszystkich czterech źródeł zasilania miasta Y . Wyniki obliczeń zestawiono w tab. 3.

Tabela 3. Zestawienie stanów SZZW, ich prawdopodobieństwo oraz niedoborów dla poszczególnych stanów systemu zrównoważonego

Numer stanu	Podsystem				ΔQ_i , m ³ /d	P_i , -	r_{bi} , m ³ /d
	U1	U2	U3	U4			
1	+	+	+	+	0	0,917	0,00
2	-	+	+	+	11000	0,027	301,14
3	+	-	+	+	16000	0,010	163,12
4	+	+	-	+	31000	0,017	520,85
5	+	+	+	-	42000	0,026	1109,01
6	-	-	+	+	27000	0,000	8,22
7	+	-	-	+	47000	0,000	8,78
8	+	+	-	-	73000	0,000	35,33
9	+	-	+	-	58000	0,000	17,03
10	-	+	-	+	42000	0,001	21,08
11	-	+	+	-	53000	0,001	41,80
12	+	-	-	-	89000	0,000	0,48
13	-	+	-	-	84000	0,000	1,21
14	-	-	+	-	69000	0,000	0,61
15	-	-	-	+	58000	0,000	0,32
16	-	-	-	-	100000	0,000	0,02
Σ						1,000	2229,00

W tym przypadku wskaźnik ryzyka względnego przyjmuje wartość:

$$r_b = \sum_{i=1}^{16} P_i \cdot \Delta Q_i = 2229,0 \text{ m}^3/\text{d} \quad (8)$$

$$r_w = \frac{r_b}{Q_{ld\max}} = \frac{2229,0}{100000} = 0,02229 \quad (9)$$

W przypadku systemu z nadmiarem (II) wartość nominalna zapotrzebowania na wodę jest mniejsza od sumarycznej wydajności wszystkich źródeł zasilania. Wyniki obliczeń przedstawiono w tab. 4. W tym przypadku wskaźnik ryzyka względnego przyjmuje wartość:

$$r_b = \sum_{i=1}^{16} P_i \cdot \Delta Q_i = 1395,28 \text{ m}^3/\text{d} \quad (10)$$

$$r_w = \frac{r_b}{Q_{ld\max}} = \frac{1395,28}{90000} = 0,01550 \quad (11)$$

Tabela 4. Zestawienie stanów SZZW i wartości prawdopodobieństwa oraz niedoborów dla poszczególnych stanów systemu z nadmiarem produkcji wody

Numer stanu	Produkcja, m ³ /d	ΔQi , m ³ /d	P_i , -	r_b , m ³ /d
1	100000	0	0,917	0,00
2	89000	1000	0,027	27,38
3	84000	6000	0,010	61,17
4	69000	21000	0,017	352,84
5	58000	32000	0,026	844,96
6	73000	17000	0,000	5,18
7	53000	37000	0,000	6,91
8	27000	63000	0,000	30,49
9	42000	48000	0,000	14,10
10	58000	32000	0,001	16,06
11	47000	43000	0,001	33,91
12	11000	79000	0,000	0,43
13	16000	74000	0,000	1,07
14	31000	59000	0,000	0,52
15	42000	48000	0,000	0,27
16	0	90000	0,000	0,01
		Σ	1,000	1395,28

W przypadku systemu z niedoborem (III) produkcji wody nominalne zapotrzebowanie na wodę jest większe niż możliwość produkcyjna SZZW i wydajność źródeł zaopatrujących miasto. Wyniki obliczeń przedstawiono w tab. 5.

Tabela 5. Zestawienie stanów SZZW i wartości prawdopodobieństwa oraz niedoborów dla poszczególnych stanów systemu z niedoborem produkcji wody

Numer stanu	Produkcja, m ³ /d	ΔQi , m ³ /d	P_i , -	r_b , m ³ /d
1	100000	10000	0,917	9166,28
2	89000	21000	0,027	574,90
3	84000	26000	0,010	265,07
4	69000	41000	0,017	688,87
5	58000	52000	0,026	1373,06
6	73000	37000	0,000	11,27
7	53000	57000	0,000	10,65
8	27000	83000	0,000	40,17
9	42000	68000	0,000	19,97
10	58000	52000	0,001	26,09
11	47000	63000	0,001	49,68
12	11000	99000	0,000	0,53
13	16000	94000	0,000	1,36
14	31000	79000	0,000	0,69
15	42000	68000	0,000	0,38
16	0	110000	0,000	0,02
		Σ	1,000	12229,00

W tym przypadku wskaźnik ryzyka względnego przyjmuje wartość:

$$r_b = \sum_{i=1}^{16} P_i \cdot \Delta Q_i = 12229,00 \text{ m}^3/\text{d} \quad (12)$$

$$r_w = \frac{r_b}{Q_{\text{III d max}}} = \frac{12229,0}{110000} = 0,11117 \quad (13)$$

4. Podsumowanie

Przedstawiona metodyka pozwala na określenie ryzyka braku dostawy wody do sieci wodociągowej, wskaźnik względnego ryzyka r_w umożliwia zaś porównywanie wielkości ryzyka dla zróżnicowanych SZZW, zarówno pod względem wielkości zapotrzebowania na wodę $Q_{d\text{max}}$, jak również liczby i wydajności układów zasilania. Wyniki obliczeń wykazują, że zwiększanie możliwości produkcji układów zasilania względem zapotrzebowania na wodę powoduje zmniejszanie wskaźnika względnego ryzyka r_w . Przyjmując jako poziom odniesienia wielkość niedoboru wody odpowiednio do $0,3 Q_{d\text{max}}$, z przedziału $0,3 \div 0,7 Q_{d\text{max}}$ oraz ponad $0,7 Q_{d\text{max}}$ [4], można określić wartości graniczne ryzyka zgodnie z tab. 1.

Literatura

- [1] Michalski D., Krysta B.: Nowoczesne kryteria kontroli zarządzania. Wybrane zagadnienia: od rachunku odpowiedzialności i zysku ekonomicznego po controlling ryzyka, Wrocław 2008.
- [2] Rak J.R.: Istota ryzyka w funkcjonowaniu systemu zaopatrzenia w wodę, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004.
- [3] Tchórzewska-Cieślak B.: Niezawodność i bezpieczeństwo systemów komunalnych na przykładzie systemu zaopatrzenia w wodę, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.
- [4] Wieczysty A. i in.: Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 2, Kraków 2001.
- [5] Godfrey S., Howard G.: Water Safety Plans (WSP) for urban piped water supplies in developing countries, Loughborough University, 2004.
- [6] Rak J.R.: Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę, Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Wydawn. Drukarnia LIBER DUO KOLOR, Lublin 2005.
- [7] Rak J.R.: Wybrane zagadnienia niezawodności i bezpieczeństwa w zaopatrzeniu w wodę, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.
- [8] Rak J.R., Tchórzewska-Cieślak B.: Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005.

- [9] Rak J.R., Tchórzewska-Cieślak B.: Czynniki ryzyka w eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007.

METHODOLOGY OF RISK ASSESMENT CONNECTED TO WATER DELIVERY SHORTAGE TO MUNICIPAL AGGLOMERATION

S u m m a r y

The paper presents a method for estimating the risk of deficient supply of water from the supply layouts to the water network. As a measure of risk relative risk indeks, defined as the risk of a water shortage (an expected value of water shortage) to the demand for water, was proposed. The method is illustrated by a computational example.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w kwietniu 2010 r.