

Janusz RAK¹

Barbara TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK²

MATRYCOWE METODY ANALIZY RYZYKA AWARII INFRASTRUKTURY KOMUNALNEJ

Głównym celem pracy jest propozycja matrycowych metod analizy ryzyka jako miary utraty bezpieczeństwa infrastruktury komunalnej na przykładzie infrastruktury wodociągowej. Odniesiono się również do wyznaczania standardów potrzebnych do oceny ryzyka awarii. Bezpieczeństwo (bezpieczność, ang. *safety*) jest to cecha systemu opisująca jego przysposobienie do unikania zagrożeń i narażeń. Najogólniej przez pojęcie bezpieczeństwa systemu technicznego rozumie się zdolność systemu do ochrony jego nadrzędnych właściwości funkcjonalnych przed wewnętrznymi i zewnętrznymi zagrożeniami. Bezpieczeństwo funkcjonalne jest rozumiane jako ogólne podejście do wszystkich działań w cyklu życia systemów technicznych, a jego zapewnienie polega na zapobieganiu zagrożeniom poprzez odpowiednio zaprojektowane zabezpieczenia o ściśle określonych funkcjach. Miarą utraty bezpieczeństwa systemów technicznych jest ryzyko definiowane jako iloczyn prawdopodobieństwa zdarzeń niepożądanych oraz strat, jakie one mogą wywołać. W pracy zaprezentowano matrycowe metody analizy i oceny ryzyka awarii infrastruktury komunalnej. W pierwszej kolejności przedstawiono podstawową matrycę dwuparametryczną, a następnie szczegółowe zasady metody trój- i czteroparametrycznej. Na przykładzie systemu zbiorowego zaopatrzenia w wodę zaprezentowano zasady doboru wag dla poszczególnych parametrów wchodzących w skład matrycy ryzyka. Przedstawione skale wag punktowych służą do wstępnego szacowania ryzyka i mogą być modyfikowane dla konkretnej infrastruktury komunalnej. Zaletą przedstawionej metody i sposobu postępowania jest możliwość porównywania ryzyka. Przedstawione metody analizy i oceny ryzyka należą do grupy metod matrycowych o charakterze ilościowo-jakościowym i mogą być zaadaptowane do analizy konkretnego systemu infrastruktury komunalnej (wodociągowego, kanalizacyjnego) posiadającego swoją specyfikę, w tym określony reżim pracy.

Słowa kluczowe: infrastruktura komunalna, analiza ryzyka, analiza awaryjności

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Janusz Rak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651408, e-mail: rakjan@prz.edu.pl

² Barbara Tchórzewska-Cieślak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651435, e-mail: cbarbara@prz.edu.pl

1. Wprowadzenie

Zagadnienie niezawodności i bezpieczeństwa obiektów oraz systemów technicznych zajmuje znaczącą pozycję w procesie ich projektowania oraz eksploatacji. Początki rozwoju teorii niezawodności sięgają II wojny światowej, a jej podstawy stworzyli matematycy, m.in. Norbert Wiener i John von Neuman [1, 2].

Niezawodność (ang. *dependability*) jest rozumiana jako zdolność systemu do realizowania przynależnych mu funkcji zgodnie z wymaganiami pod względem funkcjonowania i bezpieczeństwa. Obejmuje ona gotowość oraz bezpieczeństwo [1-3].

Bezpieczeństwo (bezpieczność, ang. *safety*) jest to cecha systemu opisująca jego przysposobienie do unikania zagrożeń i narażeń. Najogólniej przez pojęcie bezpieczeństwa systemu technicznego rozumie się zdolność systemu do ochrony jego nadrzędnych właściwości funkcjonalnych przed wewnętrznymi i zewnętrznymi zagrożeniami. Bezpieczeństwo funkcjonalne jest rozumiane jako ogólne podejście do wszystkich działań w cyklu życia systemów technicznych, a jego zapewnienie polega na zapobieganiu zagrożeniom poprzez odpowiednio zaprojektowane zabezpieczenia o ściśle określonych funkcjach. Zaprojektowana funkcja musi być precyzyjnie wykonywana w ściśle określonych warunkach realnego zagrożenia i w określonym czasie [4, 5].

Miarą utraty bezpieczeństwa systemów technicznych jest ryzyko definiowane jako zbiór trzech zależnych od siebie parametrów przedstawionych jako funkcja [1-3, 6]:

$$r = f(S, P, C),$$

gdzie: r – ryzyko,

S – scenariusz zdarzeń niepożądanych,

P – prawdopodobieństwo zajścia scenariusza zdarzeń niepożądanych,

C – konsekwencje (straty, skutki) zajścia scenariusza zdarzeń awaryjnych.

Podstawową definicję ryzyka przedstawia więc formuła:

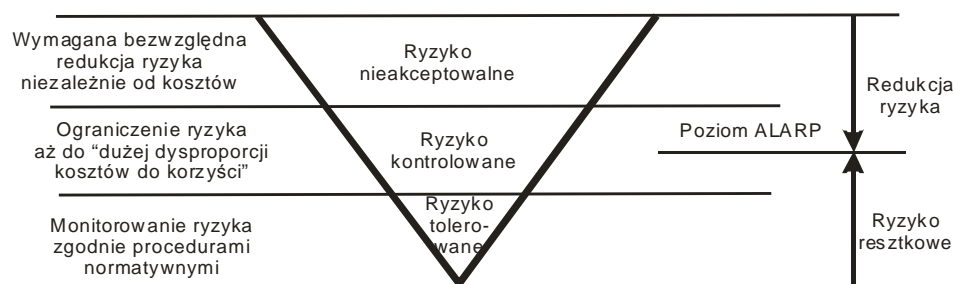
$$r = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_i \quad (1)$$

gdzie: P_i – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia i -tego rodzaju w jednostce czasu ($i = 1, 2, \dots, n$),

C_i – skutki zdarzenia i -tego rodzaju w jednostce czasu,

n – liczba zdarzeń niepożądanych.

Oszacowane ryzyko wystąpienia danego zdarzenia niepożądanego porównuje się z ustaloną skalą ryzyka. Na rysunku 1. pokazano trzy obszary ryzyka związane z istotą procedury ALARP (ang. *As Low As Reasonably Practicable*) – tak niskiego, jak to jest praktycznie uzasadnione [2, 3].



Rys. 1. Istota procedury ALARP

Fig. 1. The essence of the procedure ALARP

Poziom ryzyka ALARP został wprowadzony przez brytyjskie Heath and Safety Executive (HSE). W krajach wysokorozwiniętych maksymalny poziom ALARP w odniesieniu do ryzyka indywidualnego wynosi 10^{-6} , a grupowego 10^{-5} [2, 3, 7].

Podstawą wyznaczania standardów jest określenie wartości ryzyka tolerowanego. Poziom ryzyka tolerowanego oraz metody szacowania ryzyka są często przedmiotem uregulowań prawnych dotyczących konkretnych systemów technicznych, np. systemów transportowych czy przemysłowych.

W zależności od różnicy pomiędzy granicami ALARP a poziomem ryzyka nieakceptowanego można sformułować zasady wyboru metody szacowania ryzyka [2, 3]:

- im mniejsza jest różnica pomiędzy wartościami granicznymi dla ryzyka nieakceptowanego a ALARP, tym dokładniejsza powinna być wybrana metoda,
- w przypadku wysokiego poziomu ryzyka zaleca się stosować metody ilościowe lub jakościowo-ilościowe,
- przy znacznych różnicach poziomów pomiędzy ALARP a ryzykiem nieakceptowanym zaleca się stosowanie metod matrycowych,
- w przypadku niewielkich zagrożeń zaleca się stosowanie metod jakościowych.

Celem pracy jest przedstawienie propozycji matrycowych metod analizy i oceny ryzyka awarii związanego z funkcjonowaniem infrastruktury komunalnej aglomeracji miejskich.

2. Matrycowe metody analizy i oceny ryzyka

Definicja macierzy ryzyka

Matryca (macierz) ryzyka przedstawia zależność prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia od ich następstw (skutków). Macierzą ryzyka R nazywamy odwzorowanie w postaci:

$$\{P_1, P_2, \dots, i\} \times \{C_1, C_2, \dots, j\} \ni (i, j) \rightarrow r_{ij} \in R,$$

gdzie: P_i – prawdopodobieństwo zajścia zdarzeń niepożądanych, $i = 1, 2, \dots, m$, przy czym m jest liczbą skali przyjętej dla parametru prawdopodobieństwa,

C_j – konsekwencje, straty względne związane z danym prawdopodobieństwem, $j = 1, 2, \dots, n$, przy czym n jest liczbą skali przyjętej dla parametru strat.

Zbiór możliwych wartości ryzyka $R = \{r_{ij}\}$ można przedstawić w macierzy $m \times n$ w postaci:

$$R_{m \times n} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix},$$

gdzie: R – zbiór wartości ryzyka,

r_{ij} – wartość ryzyka dla i -tej wartości prawdopodobieństwa i j -tej wartości strat.

Macierz dwuparametryczna

W ilościowych metodach matrycowych dla wszystkich parametrów ryzyka przypisuje się odpowiednie wagi punktowe (w przyjętej skali) (tab. 1.). Przykładowo, dla najprostszej skali trójstopniowej wartościowanie poszczególnych parametrów przedstawia się następująco [1, 7]:

- 1) dla parametru prawdopodobieństwa P
 - jeżeli P jest małe, to waga = 1,
 - jeżeli P jest średnie, to waga = 2,
 - jeżeli P jest duże, to waga = 3,
- 2) dla parametru strat C
 - jeżeli C jest małe, to waga = 1,
 - jeżeli C jest średnie, to waga = 2,
 - jeżeli C jest duże, to waga = 3.

Matrycę ryzyka przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Dwuparametryczna matryca ryzyka

Table 1. The two-parameter risk matrix

P \ C	Małe (1)	Średnie (2)	Duże (3)
Małe (1)	1	2	3
Średnie (2)	2	4	6
Duże (3)	3	6	9

W ten sposób można analizować różne zdarzenia niepożądane, przyjmując następującą ilościową skalę ryzyka:

- ryzyko tolerowane (r_T) – liczba punktów od 1 do 2,
- ryzyko kontrolowane (r_K) – liczba punktów od 3 do 4,
- ryzyko nieakceptowane (r_N) – liczba punktów od 6 do 9.

Macierz trójparametryczna

Badania związane z analizą ryzyka infrastruktury komunalnej [4, 5, 8-12] wykazały, że na jego wielkość (oprócz parametru prawdopodobieństwa i skutków) ma wpływ parametr ochrony (O), który jest odwrotnie proporcjonalny do wielkości ryzyka, lub parametr podatności na zagrożenie (V)

Liczbowa ocena ryzyka jest iloczynem wymienionych parametrów [7, 13]:

$$r = \frac{P \cdot C}{O} \quad (2)$$

lub

$$r = P \cdot C \cdot V \quad (3)$$

gdzie: P – waga punktowa związana z prawdopodobieństwem wystąpienia danego reprezentatywnego zdarzenia niepożądanego,

C – waga punktowa związana z wielkością strat,

O – waga punktowa związana z ochroną systemu przed zagrożeniami,

V – waga punktowa związana z podatnością na zagrożenie.

Proponuje się następujące skale i wagi poszczególnych parametrów dla infrastruktury wodociągowej [6, 7, 13, 14]:

1) skala prawdopodobieństwa zagrożenia P

- zdarzenia prawie niemożliwe (1 raz na 100 lat), z wagą 0,1,
- zdarzenia sporadycznie możliwe (1 raz na 20 lat), z wagą 1,0,
- zdarzenia mało prawdopodobne (1 raz na 10 lat), z wagą 2,0,
- zdarzenia całkiem prawdopodobne (1 raz na rok), z wagą 5,0,
- zdarzenia bardzo prawdopodobne (10 razy na rok), z wagą 10,0,

2) skala skutków zagrożenia C

- mała strata – lokalne obniżenie ciśnienia wody w sieci wodociągowej, odczuwalne przerwy w dostawie wody dla konsumentów zamieszkujących wyższe piętra budynków, strata finansowa do $5 \cdot 10^3$ zł, z wagą 1,0,
- średnia strata – spadek dobowej produkcji wody (Q_{dmax}) do 70% wartości nominalnej (Q_n) lub przerwy w dostawie wody trwające do 2 h, pojedyncze skargi konsumentów, strata finansowa od $5 \cdot 10^3$ do $5 \cdot 10^4$ zł, z wagą 3,0,
- duża strata – $Q_{dmax} = <50\div 70\%$ Q_n lub przerwy w dostawie wody (2÷12] h dla pojedynczych konsumentów, spadek ciśnienia wody w sieci wodociągowej, strata finansowa od $5 \cdot 10^4$ zł do 10^5 zł, z wagą 7,0,
- bardzo duża strata – $Q_{dmax} = <30\div 50\%$ Q_n lub przerwy w dostawie wody (12÷24] h dla konsumentów poszczególnych osiedli, spadek ciśnienia wody w sieci wodociągowej, strata finansowa od 10^5 do 10^6 zł, z wagą 15,0,
- poważna katastrofa – $Q_{dmax} < 30\%$ Q_n , spadek ciśnienia w sieci wodociągowej, awaria głównej magistrali wodociągowej, przerwy w dostawie wody trwające powyżej 24 h dla poszczególnych osiedli, dzielnic lub całego miasta, straty finansowe powyżej 106 zł, z wagą 50,0,

3) skala podatności na zagrożenie V

- bardzo mała podatność na zaistniałą awarię (bardzo duża odporność), z wagą 0,5
 - sieć w układzie zamkniętym, możliwość odcięcia zasuwami awaryjnego odcinka sieci (w celu naprawy),
 - możliwość uniknięcia przerw w dostawie wody dla konsumentów, pełny monitoring sieci wodociągowej (ciągłe pomiary ciśnienia i natężenia przepływu w strategicznych punktach sieci) obejmujący cały obszar zasilania w wodę, wykorzystanie opomiarowania SCADA oraz GIS, możliwość zdalnego sterowania parametrami hydraulicznymi pracy sieci,
 - rezerwa awaryjna w sieciowych zbiornikach wodociągowych pokrywająca zapotrzebowanie miasta przez co najmniej dobę (Q_{dmax} lub Q_{ds}),
 - kompleksowy system ostrzegania i reagowania w sytuacjach kryzysowych,
 - pełna możliwość korzystania z alternatywnych źródeł wody,
- mała podatność na zaistniałą awarię (duża odporność), z wagą 1,0
 - sieć w układzie otwartym lub mieszanym, możliwość odcięcia zasuwami awaryjnego odcinka,
 - standardowy monitoring pracy sieci wodociągowej z pomiarami wartości ciśnienia i natężenia przepływu,

- system wczesnego ostrzegania i reagowania w sytuacjach kryzysowych,
- dostępność alternatywnych źródeł wody,
- średnia podatność na zaistniałą awarię (średnia odporność), z wagą 2,0
 - sieć w układzie mieszanym, możliwość odcięcia zasuwami awaryjnego odcinka sieci (ograniczenia w dostawie wody do konsumentów ze względu na przepustowość sieci),
 - standardowy monitoring pracy sieci wodociągowej z pomiarami wartości ciśnienia i natężenia przepływu,
 - system opóźnionego reagowania w sytuacjach kryzysowych,
 - alternatywne źródła wody niezabezpieczające w pełni potrzeb,
- duża podatność na zaistniałą awarię (mała odporność), z wagą 5,0
 - sieć w układzie otwartym, brak możliwości odcięcia zasuwami awaryjnego odcinka sieci bez przerw w dostawie wody dla konsumentów,
 - ograniczony monitoring pracy sieci wodociągowej,
 - system późnego ostrzegania w sytuacjach kryzysowych,
 - ograniczona dostępność do alternatywnych źródeł wody do spożycia,
- bardzo duża podatność na zaistniałą awarię (bardzo mała odporność), z wagą 10,0
 - sieć w układzie otwartym, brak możliwości odcięcia zasuwami awaryjnego odcinka sieci bez przerw w dostawie wody dla konsumentów,
 - brak monitoringu pracy sieci wodociągowej,
 - brak systemu ostrzegania oraz reagowania w sytuacjach kryzysowych,
 - bardzo ograniczona dostępność do alternatywnych źródeł wody do spożycia.

Wyznaczona w ten sposób liczbowa ocena ryzyka przybiera wartości z przedziału od 0,05 do $5 \cdot 10^3$.

Czteroparametryczna matryca szacowania ryzyka

W przypadku infrastruktury komunalnej proponuje się zastosowanie matrycy czteroparametrycznej, w której uwzględnia się liczbę mieszkańców narażonych na straty w wyniku awarii infrastruktury (np. wodociągowej lub kanalizacyjnej).

Zaproponowano czteroparametryczną matrycę szacowania ryzyka według formuły [6, 11, 13, 14]:

$$r = \frac{P \cdot C \cdot N}{O} \quad (4)$$

gdzie: P – waga punktowa związana z prawdopodobieństwem wystąpienia danego reprezentatywnego zdarzenia niepożądanego,

C – waga punktowa związana z wielkością strat,

- N – waga punktowa związana z zagrożoną liczbą mieszkańców,
O – waga punktowa związana z ochroną infrastruktury komunalnej przed nadzwyczajnymi zagrożeniami.

Parametr ochrony O jest odwrotnie proporcjonalny do wielkości ryzyka, jest przeciwny do parametru podatności na zagrożenie V. Im bardziej jest rozbudowany system barier ochronnych, tym mniejsze jest ryzyko wystąpienia zagrożenia.

Dla parametrów P, C, N i O każdorazowo przypisuje się poziom wielkości za pomocą następującej skali punktowej:

- niski – L = 1,
- średni – M = 2,
- wysoki – H = 3.

W ten sposób otrzymano punktową skalę miar ryzyka w postaci liczbowej w przedziale [0,33-27]. W tabeli 2. przedstawiono czteroparametryczną macierz ryzyka. Poszczególne wartości liczbowe uzyskano, stosując formułę (4) [13]:

- 1) kategoria liczby mieszkańców zagrożonych – N
 - niska – zagrożonych do 5 000 mieszkańców – N = 1,
 - średnia – zagrożonych od 5 001 do 50 000 mieszkańców – N = 2,
 - wysoka – zagrożonych powyżej 50 001 mieszkańców – N = 3,
- 2) kategoria prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia awaryjnego – P
 - niska – mało prawdopodobne, raz na 10-50 lat – P = 1,
 - średnia – dość prawdopodobne, raz na 1-10 lat – P = 2,
 - wysoka – prawdopodobne, 1-10 razy w roku bądź częściej – P = 3,
- 3) kategoria skutków – C
 - małe – pojedyncze skargi mieszkańców, straty finansowe do $5 \cdot 10^3$ PLN – C = 1,
 - średnie – znaczna uciążliwość, liczne skargi, komunikaty w regionalnych mediach publicznych, strata finansowa do 10^5 PLN – C = 2,
 - wysokie – wymagane leczenie szpitalne osób narażonych, zaangażowanie profesjonalnych służb ratowniczych, informacje w mediach ogólnokrajowych, strata finansowa powyżej 10^5 PLN – C = 3,
- 4) kategoria ochrony – O
 - wysoki stopień ochrony – O = 3,
 - średni stopień ochrony – O = 2,
 - niski stopień ochrony – O = 1.

W tabeli 3. zestawiono kategorie ryzyka i odpowiadające im skale punktowe. Zgodnie z podaną w tab. 2. macierzą do oceny ryzyka różne zdarzenia niepożądane można analizować, przyjmując odpowiednią skalę ryzyka [13].

Tabela 2. Czteroparametryczna matryca ryzyka

Table 2. The four parameter risk matrix

N	P								
	L = 1								
	C								
	L = 1			M = 2			H = 3		
	O								
	H = 3	M = 2	L = 1	H = 3	M = 2	L = 1	H = 3	M = 2	L = 1
L = 1	LLLH 0,33	LLLM 0,5	LLLL 1	LMLH 0,66	LMLM 1	LMLL 2	LHLH 1	LHLM 1,5	LMLL 3
M = 2	LLMH 0,66	LLMM 1	LLML 2	LMMH 1,33	LMMM 2	LMML 4	LHMH 2	LHMM 3	LMLM 6
H = 3	LLHH 1,5	LLHM 1,5	LLHM 3	LMHH 2	LMHM 3	LMHL 6	LHHH 3	LHHM 4,5	LMLH 9
N	P								
	M = 2								
	C								
	L = 1			M = 2			H = 3		
	O								
	H = 3	M = 2	L = 1	H = 3	M = 2	L = 1	H = 3	M = 2	L = 1
L = 1	MLLH 0,66	MLLM 1	MLLL 2	MMLH 1,33	MMLM 2	MMLL 4	MHLH 2	MHLM 3	MHLL 6
M = 2	MLMH 1,33	MLMM 2	MLML 4	MMMh 2,66	MMMM 4	MMML 8	MHMH 4	MHMM 6	MHML 12
H = 3	MLHH 2	MLHM 3	MLHL 6	MMHH 4	MMHM 6	MMHL 12	MHHH 6	MHHM 9	MHHL 18
N	P								
	H = 3								
	C								
	L = 1			M = 2			H = 3		
	O								
	H = 3	M = 2	L = 1	H = 3	M = 2	L = 1	H = 3	M = 2	L = 1
L = 1	HLLH 1	HLLM 1,5	HLLL 3	HMLH 2	HMLM 3	HMLL 6	HHLH 3	HHLM 4,5	HHLL 9
M = 2	HLMH 2	HLMM 3	HLML 6	HMMH 4	HMMM 6	HMML 12	HMHM 6	HHMM 9	HHML 18
H = 3	HLHH 3	HLHM 4,5	HLHL 9	HMHH 6	HMHM 9	HMHL 18	HHHH 9	HHHM 13,5	HHHL 27

Tabela 3. Kategorie ryzyka i odpowiadające im standardy liczbowe

Table 3. The risk categories and corresponding numerical standards

Kategoria ryzyka	Skala punktowa
Tolerowane	$0,33 \leq r \leq 3,0$
Kontrolowane	$4,0 \leq r \leq 8,0$
Nieakceptowane	$9,0 \leq r \leq 27$

Przedstawione skale wag punktowych służą do wstępnego szacowania ryzyka i mogą być modyfikowane dla konkretnej infrastruktury komunalnej. Zalecane zaprezentowanej metody i sposobu postępowania jest możliwość porównywania ryzyka.

3. Podsumowanie

1. Z funkcjonowaniem infrastruktury komunalnej jest nierozłącznie związana możliwość pojawiania się zdarzeń niepożądanych, które wpisują się w codzienną ich eksploatację.
2. Paradygmatem stało się przyjęcie jako miary bezpieczeństwa wartości ryzyka.
3. Obecnie rozwijającym się nurtem badań jest analiza utraty bezpieczeństwa systemów infrastruktury miejskiej pod kątem bezpieczeństwa mieszkańców aglomeracji.
4. Analiza i ocena bezpieczeństwa infrastruktury komunalnej jest gwarantem podejmowania właściwych decyzji dotyczących wyboru najlepszych rozwiązań pod względem technicznym, ekonomicznym oraz eksploatacyjnym.
5. Stosowane metody analizy i oceny ryzyka w większości opierają się na danych eksploatacyjnych oraz danych uzyskanych od ekspertów.
6. Pojawiające się zagrożenia, takie jak powódzie, susze, awarie zasilania elektrycznego, a nawet ataki terrorystyczne i cyberterrorystyczne, mogą być powodem poważnych zakłóceń w funkcjonowaniu tych systemów.
7. Przedstawione metody analizy i oceny ryzyka należą do grupy metod matrycowych o charakterze ilościowo-jakościowym. Zaprezentowane matrycowe metody analizy ryzyka mogą być zaadaptowane do analizy konkretnego systemu infrastruktury komunalnej (wodociągowego, kanalizacyjnego) posiadającego swoją specyfikę, w tym określony reżim pracy.
8. Wybór metody analizy i oceny ryzyka powinien być dostosowany do analizowanego systemu, posiadanej bazy danych oraz wiedzy i doświadczenia ekspertów przeprowadzających analizę.
9. Oprócz wymienionych kwestii ważne są kryteria, jakie należy przyjmować dla wszystkich parametrów ryzyka oraz do jego oceny. Kryteria te powinno się przyjmować w zależności od charakteru infrastruktury komunalnej oraz specyfiki aglomeracji miejskiej.

Literatura

- [1] Rak J.: Istota ryzyka w funkcjonowaniu systemu zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004.
- [2] Rak J.: Bezpieczna woda wodociągowa. Zarządzanie ryzykiem w systemie zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2009.
- [3] Tchórzewska-Cieślak B: Metody analizy i oceny ryzyka podsystemu dystrybucji wody. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2012.

- [4] Kuliczkowski A., Kuliczowska E.: Czynniki wpływające na odnowę przewodów wodociągowych, cz. 1 i 2. Rynek Instalacyjny, nr 7-8 i 9, 2010, s. 70-72, 62-65.
- [5] Kuliczkowski A., Kuliczowska E.: Strategie odnowy przewodów wodociągowych. Mat. konf. „Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowych i kanalizacyjnych”. Wydaw. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010, s. 239-252.
- [6] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Five – parametric matrix to estimate risk connected with water supply system operating. Environment Protection Engineering, Wydaw. Politechniki Wrocławskiej, nr 2, 2006, s. 37-47.
- [7] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Review of matrix methods for risk assessment in water supply system. Journal of Konbin, no 1(1), 2006, s. 67-76.
- [8] Kuliczkowski A.: Problemy bezodkrywkowej odnowy przewodów kanalizacyjnych. Wydaw. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1998.
- [9] Kuś K.: Podstawy kwalifikowania sieci wodociągowej do wymiany. Mat. konf. „Modernizacja komunalnych wodociągów i kanalizacji – aspekty finansowe, organizacyjne i techniczne”, ZG PZiTS, Warszawa 1996, s. 119-129.
- [10] Kwietniewski M., Rak J.: Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce. Stan badań i możliwości jej poprawy. PAN, Warszawa 2010.
- [11] Pawełek J., Wojdyna M.: Analiza uszkodzeń przewodów rozdzielczych w dużym systemie wodociągowym. GWiTS, nr 2, 2001, s. 49-54.
- [12] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Uwarunkowania podejmowania ryzyka na przykładzie systemu zaopatrzenia w wodę. Ochrona Środowiska, nr 2, 2006, s. 57-60.
- [13] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005.
- [14] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Czynniki ryzyka w eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007.

Praca została zgłoszona na konferencji „Technologie Bezwykopowe NO-DIG POLAND 2014”, Cezdzya 2014.

MATRIX METHODS OF RISK ANALYSES OF MUNICIPAL INFRASTRUCTURES FAILURES

S u m m a r y

The main aim of this paper is to present a method for risk analysis using the matrix methods as measures of losses of municipal infrastructures safeties, on example of water-supply infrastructure. It concern for appointment of wanted standard for estimate of risk of failure. Safety is a feature of the system describing its adoption to avoid the risks and exposures. Generally, the term safety of the technical system is meant the ability of the system to protect its superior functional properties against internal and external threats. The functional safety is understood as a general approach to all activities in the life cycle of technical systems and the assurance lies in the prevention of risks through a properly designed security with specific functions. The measure of the loss of technical systems safety is risk, defined as the product of the probability of undiserable events and losses that they may cause. The paper presents the failure risk matrix methods of the municipal infrastructure. First, the basic matrix of two-parameter is presented. This is followed by detailed

rules for the method of three-and four-parametric. For example, the system of collective water supply presents the principle of choosing the weights for the individual parameters included in the risk matrix. The rock point weights are used for the initial risk assessment and can be modified for a particular infrastructure. The advantage of the presented method and manner it is possible to compare the risk. The methods of analysis and risk assessment methods belong to the matrix of quantitative and qualitative methods and can be adapted to the analysis of a particular system of municipal infrastructure (water supply, sewerage), having its specificity in the specific regime of work.

Keywords: municipal infrastructures, risk analysis, failure analysis

Przesłano do redakcji: 03.03.2014 r.

Przyjęto do druku: 02.06.2014 r.

DOI:10.7862/rb.2014.16