

## SECURITY MANAGEMENT OF WATER SUPPLY

## ZARZĄDZANIE BEZPIECZEŃSTWEM DOSTAW WODY

Barbara Tchórzewska – Cieślak

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

**Abstract:** *The main aim of this work is to present operational problems concerning the safety of the water supply and the procedures for risk management systems functioning public water supply (CWSS) and including methods of hazard identification and risk assessment. Developed a problem analysis and risk assessment, including procedures called. WSP, which is recommended by the World Health Organization (WHO) as a tool for comprehensive security management of water supply from source to consumer. Water safety plan is a key element of the strategy for prevention of adverse events in CWSS.*

**Keywords:** *water safety plan, risk analysis*

**Streszczenie:** *Tematem pracy jest przedstawienie problemów eksploatacyjnych dotyczących bezpieczeństwa dostawy wody oraz procedur zarządzania ryzykiem funkcjonowania systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW), w tym metod identyfikacji zagrożeń i oceny ryzyka. Rozwinięto problem analizy i oceny ryzyka z uwzględnieniem procedur tzw. Planu Bezpieczeństwa Wodnego, który jest rekomendowany przez Światową Organizację zdrowia (WHO) jako narzędzie kompleksowego zarządzania bezpieczeństwem dostawy wody od źródła do konsumentów. Plan Bezpieczeństwa Wodnego jest kluczowym elementem strategii zapobiegania zdarzeniom niepożądanym w SZZW.*

**Słowa kluczowe:** *plan bezpieczeństwa wodnego, analiza ryzyka*

## SECURITY MANAGEMENT OF WATER SUPPLY

### 1. Introduction

Safety of the municipal collective water supply systems (CWSS) is a priority element of the widely understood 'safe' water management. In this regard, the most important is to counteract threats in the context of man - technical object – the environment (nature). Water is a resource conditioning life and its exploitation should be in accordance with the principle of sustainable development (SD) which was adopted in the Declaration on Environment and Development during 'earth summit' in Rio de Janeiro in 1992. The definition of sustainable development indicates that economic and civilization development of the present generation should not be at the expense of depleting non renewable resources and destroying the environment, for good of future generations, which will also have the right to their development. In Poland the principle of sustainable development has gained constitutional status - is written in Article 5 of the Constitution and the definition of sustainable development is given in the Act 'Environmental Protection Law'. In terms of water management the act on Water Law [17] regulates, among others, *the management of water resources in line with the principle of sustainable development, especially in the field of the protection of water bodies, the use of water resources and their management. Water management meets the needs of the population, economy, water protection and the environment associated with these resources, particularly with regard to: ensuring an adequate quantity and quality of water for the population.* Water supply according to the SD should be considered based on the concepts of: needs, in particular the needs of supply water safe for health, which should be given the highest priority; restrictions arising from the need to protect water resources and their ecosystems.

However, the World Health Organization additionally recommends the implementation of the so-called water safety plans (WSP), based on the analysis and risk assessment, in order to protect the safety of water consumers [18].

Risk analysis in the framework of the WSP should include [1,2]: hazard identification, threat probability assessment, consequence analysis.

Risk assessment is a comparison of the determined values with the adopted criteria of risk acceptability, which is the basis for safety analysis. At this stage it is very important to define the criteria of risk acceptability, so that they can be used in decision-making regarding the operation of the system (e.g. renovations or modernization). Such criteria should take into account requirements linked to the reliability of the operation in terms of both quantity and quality, in accordance with the applicable legal norms and with social, economic and environmental conditions [13, 15].

## **2. Procedures for managing security of water supply in the framework of the WSP**

Risk management can be defined as socio-economic decision-making process [13]. In principle, it is impossible to eliminate risk. One can only take various measures aimed at minimizing risk to an acceptable level from the safety point of view and costs necessary to be borne, in accordance with the principle of ALARP (As Low As Reasonably Practicable) [11,13,14].

The properly developed WSP consists of two main parts: descriptive and analytical and implementation. The descriptive part contains a synthesis of all the important information about the construction and operation of the entire water supply system. In the analytical and implementation part should be presented and assessed those system functions that affect its correct functioning for water consumers safety [1,12,17]. Risk management procedures within the WSP should include [2,8,13]: threat assessment and risk hierarchization, analysis of identified risk taking into account: selection of events that may trigger the so-called domino effect, the development of models of emergency scenarios, the development of functional and system models of sequences of events: event tree and fault tree, an analysis of operator's error, assessment of the occurrence of specific threats and their impact on consumers health, a quantitative assessment of water consumers health risk and the evaluation of water consumer safety level carried out on the basis of the results of that assessment, the identification of pathways through which threats can be passed on to consumers, the identification of 'critical control points', description of monitoring and control procedures for each identified risk, including procedures for determining the scope and frequency of monitoring (the boundaries of acceptability), emergency scenarios for water supply and response plans in case of a crisis, taking into account the subsystem operators training, consistent documentation of undesirable events for each CWSS subsystem and computer database, option of risk control, i.e. how risk level can be reduced, assessment of costs and profits, i.e. justification of purposefulness of bearing costs associated with risk reduction and making hierarchy of different options for risk control, recommendations for decision-making process, i.e. proposing these variants of risk control that are evaluated by experts as best for the expected benefits and costs optimization, the procedure of informing water consumers about the risk. According to the WSP, the analysis and assessment of the health risk, arising from the possibility of consuming bad quality water, is crucial. In the health risk assessment the following steps of procedure are distinguished [8.14]:

- hazard identification and assessment, on the basis of:
  - physicochemical properties (state of aggregation, the boiling point and the melting point, specific density, a vapour pressure, solubility in water and organic solvents),

- absorption pathways (inhalation, dermal, ingestion),
  - type of exposure (sporadic, continuous, intermittent),
  - biotransformation (level of toxicity of the substance resulting from the changes that take place),
- identification of health effects that may result from exposure to a specific substance.

Risk identification for the purpose of the WSP mainly includes threats identification, the development of scenarios of undesirable events and the assessment of risk to water consumers health or lives.

The purpose of identifying threats to water consumers is to determine the type of substance in drinking water, while the assessment of the threat level should be based on identifying water harmful impact on human health and classifying substances on the basis of all available data. [5,9,10,11 14]. The Water Safety Plans should include a list of chemical and microbiological threats.

For example, for water intakes the WHO proposed a division into three groups of threats [3, 4, 10, 18]: the usual threat - e.g. sewage pollution near the water intake, the so-called 'paths'- potential ways by which contamination may enter the water, the indirect threats - do not affect safety directly but may increase the likelihood of threats or 'paths' (e.g. the lack of a fence around the water intake). According to the WHO guidelines published in 1993 the greatest threat to water consumers health are the microorganisms whose presence in water is the result of contamination of water sources with human and animal excrements. The potential consequences of microbial contamination of water are so serious that the WHO recommends a very restrictive approach to microbiological testing of water quality. The assessment of risk associated with microbiological changes of water quality is difficult due to a number of factors (and the links between them) affecting the appearance and the level of health risk. The health risk assessment for microbiological threats is carried out by specialists in the field of medicine, microbiology and epidemiology [14]. The process of identifying potential threats and risk should also include the risk characteristics and its hierarchy. The proposal is presented in Table. 1.

*Tab. 1 Risk hierarchy*

Risk	Description
unacceptable (significant)	there is documentary evidence that given risk is health risk to water consumers
controlled (uncertain)	risk may require further monitoring to determine its rank
acceptable (insignificant)	– lack of documented evidence that the identified threat is the risk to water consumers; – risk should be monitored as part of the WSP in subsequent years of CWSS operation.

### 3. The method of risk analysis for the WSP

#### Main assumptions

For the purposes of the WSP the qualitative-quantitative matrix methods of risk analysis are used [8.15]. Risk matrix shows the dependence of the probability of threat on its consequences (effects), according to the basic formula [1,6,7,11,14,16]:

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

where:

P - probability of the occurrence of undesirable events,

C - consequences – relative losses associated with a given probability.

A set of possible risk values  $R = \{r_{ij}\}$  can be presented in the matrix  $m \times n$  [14]:

$$M_R = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{vmatrix} \quad (2)$$

where:

R - a set of risk values,

M - matrix marking,

$r_{ij}$  - risk value for the  $i$ -th value of the probability and the  $j$ -th value of the losses.

In the quantitative matrix methods all risk parameters have appropriate point weights assigned (in the adopted scale). In the risk analysis for the needs of the WSP according to the guidelines [1,7,17] are used matrices in a three or five-stage scale, according to the general principle of categorization:

– for probability/losses parameter :

in three stage scale:

- little – weight 1,
- medium – weight 2,
- large – weight 3,

in five stage scale:

- very little- weight 1,
- little – weight 2,
- medium– weight 3,
- large– weight 4,
- very large - weight 5

In this way one can analyse different undesirable events, taking the following quantitative scale of risk:

- tolerated risk (acceptable)
- controlled risk,
- unacceptable risk.

### Three parameter matrix of risk assessment

For the needs of the WSP it is proposed to apply expanded three parameter risk matrix in which the parameters are: frequency of threat (P), the consequences of threat (C), vulnerability to threat (V). Formula [7] is valid:

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

Description of qualitative and quantitative parameters of risk is as follows [1,7,14]:

- Categorization of the probability (frequency) of threat parameter **P** is shown in Table 2.

Table 2. Categorization of the probability (frequency) of threat parameter **P**

Description of the parameter	Frequency range [failure/a]	The parameter value
very unlikely	$\leq 0,1$	1
unlikely	$(0,1 \div 0,2 >$	2
medium likely	$(0,2 \div 0,5 >$	3
moderately likely	$(0,5 \div 2,0 >$	4
very likely	$\geq 12$	5

- Categorization of the losses parameter **C** is presented in Table 3.

Table 3. Categorization of the losses parameter **C**

Description of the parameter C	The parameter value
<b>Very little losses:</b> local lowering of water pressure in the water mains, local deterioration of water quality parameters no health risk to consumers	1
<b>Little losses:</b> decrease in daily water production up to 70% of the required value or interruption in water supply lasting up to 2 h, perceptible organoleptic changes of water (odour, change in colour and turbidity), no health risk to consumers.	2
<b>Medium losses:</b> decrease in daily water production $<50 \div 70$ % or interruptions in water supply $(2 \div 12 >$ h, a significant organoleptic nuisance (odour, change in colour and turbidity), health threat to consumers.	3
<b>Large losses:</b> decrease in daily water production $<30 \div 50$ % or interruptions in water supply $(12 \div 24 >$ h, secondary water contamination in different parts of the water supply system, the possibility of exposure to consuming deteriorated quality water for a large group of consumers, premises for an escalation of event, the so called domino effect can occur.	4
<b>Very large losses:</b> decrease in daily water production of less than 30%, interruptions in water supply lasting longer than 24 h, the possibility that a large group of consumers will be exposed to consuming deteriorated quality water, indicator organisms revealed high level of toxic substances, the need for hospital treatment of exposed people.	5

– Categorization of the vulnerability parameter **V** is shown in Table 4.

Table 4. Categorization of the vulnerability parameter **V**

Description of the parameter <b>V</b>	The parameter value
<b>Very low vulnerability</b> to failure (very high resistance): the network in a closed system, the possibility to cut off damaged section by means of gates ( to repair), the ability to avoid interruptions in water supply to consumers, a complex emergency and response warning system, full ability to use alternative water sources.	1
<b>Low vulnerability</b> to failure (high resistance): the network in an open or mixed system, the possibility to cut off the damaged section by means of gates , an early warning and response system in crisis situation, alternative sources of water are available.	2
<b>Medium vulnerability</b> to failure (medium resistance): the network in a mixed system, the possibility to cut off the damaged section by means of gates, system of delayed response in crisis situations, alternative sources of water do not completely meet the needs.	3
<b>Large vulnerability to failure</b> ( little resistance): the network in an open system, lack of the possibility to cut off the damaged section by means of gates without interruption in water supply to consumers, late warning system in crisis situation, limited availability of alternative sources of drinking water.	4
<b>Very large vulnerability to failure</b> ( very little resistance): the network in an open system, lack of the possibility to cut off the damaged section by means of gates without interruption in water supply to consumers, lack of warning and response system in crisis situations, very limited availability of alternative sources of drinking water.	5

According to formula (2) for a five-stage risk categorization the risk values are in the range from 1 to 125.

Assessing the individual values for risk parameters very often is based on the opinions of experts, database of undesirable events and monitoring systems. In order to take into account the factor of uncertainty in risk analysis it is proposed to accept error in risk assessment according to the formula:

$$\Delta R = \Delta P \cdot C \cdot V + P \cdot \Delta C \cdot V + P \cdot C \cdot \Delta V \quad (4)$$

where:

$\Delta P$  - error in assessing the probability parameter (5÷15)%,

$\Delta C$  -error in assessing the parameter of losses, (5÷10)%,

$\Delta V$  - error in assessing the parameter of vulnerability to threat ( $\cong 5$ )%,

The procedure of risk assessment is presented in table 5.

*Table 5 The risk assessment*

Ocena ryzyka	Zakres $R \pm \Delta R$
acceptable	<20
controlled	20÷50
unacceptable	>50

#### **4. Conclusions**

Water safety plan should be implemented in each municipality and agglomeration. It is a milestone for ensuring the safety of water supplies. Detailed procedures should be consulted in a wide group of experts in various fields. The cost of implementing the procedures related to the need to reduce the risk should be taken into account, but the health safety of water consumers should always be the priority. Furthermore, the proper management of security in the widely understood economy should take into account the identifying and implementation of the objectives in the field of efficient water management, including the promotion of economic incentives to save water.

#### **5. References**

- [1] Boryczko, K., Tchórzewska-Cieślak, B. Analysis of risk of failure in water main pipe network and of delivering poor quality water. *Environment Protection Engineering* , 2015 , 40 (4), pp. 77-92.
- [2] Gardner R.G.: Implementing risk management for a water supplies: a catalyst and incentive for change. *The Rangeland Journal* .Csiro Publishing. 2008, 30, 149-156.
- [3] Kaźmierczak, B., Wdowikowski, M. : Maximum rainfall model based on archival pluviographic records – case study for Legnica (Poland). *Periodica Polytechnica: Civil Engineering* .2016, 60 (2), 305-312.
- [4] Kuliczowska, E. : Risk of structural failure in concrete sewers due to internal corrosion. *Engineering Failure Analysis*. 2016, 66, pp. 110-119
- [5] Nowacka A, Włodarczyk-Makula M., Tchórzewska-Cieślak B., Rak J.: The Ability To Remove The Priority Paks From Water During Coagulation Process Including Risk Assessment. *Desalination And Water Treatment*.2016, 57,3, 1297-1309.
- [6] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B. Five – parametric matrix to estimate risk connected with water supply system operating. *Environment Protection Engineering*. 2006, 2, 37-47.
- [7] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Review of matrix methods for risk assessment in water supply system. *Journal of Konbin*, 2006,1(1), 67-76
- [8] Rosen L, Lindhe A.: et al. Generic framework for integrated risk management in water safety plans. 6th Nordic Drinking Water Conference, Oslo. 2008, 9-11 June.pp193-203.



- [9] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2015 poz. 1989).
- [10] Szpak D. Tchórzewska-Cieślak, B. Sources of Incidental Events in Collective Water Supply System. Journal of Konbin. 2015, 35, 1, 127-136
- [11] Tchórzewska-Cieślak, B. Method of assessing of risk of failure in water supply system Proceedings of the European Safety and Reliability Conference. ESREL 2007 - Risk, Reliability and Societal Safety. 2007 2, 1535-1539
- [12] Tchórzewska-Cieślak, B Urban water safety management. Chemical Engineering Transactions. 2012 26, pp. 201-206
- [13] Tchórzewska-Cieślak, B :Risk management in water safety plans . Ochrona Środowiska. 2009 31 (4), pp. 57-60
- [14] Tchórzewska-Cieślak B. Metody analizy i oceny ryzyka awarii podsystemu dystrybucji wody. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej 2011.
- [15] Tchórzewska-Cieślak, B., Rak, J. Method Of Identification Of Operational States Of Water Supply System. Environmental Engineering III. 2010, 521-526 . Doi: 10.1201/B10566-83
- [16] Tchórzewska-Cieślak, B . Pietrucha -Urbanik K. Exploitation of the CWSS in the aspect of belonging to the critical infrastructure. Journal of Konbin. 2013, 25, 1, 165- 172.
- [17] Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo Wodne ( Dz. U. z 2015 r. poz. 469, 1590, 1642, 2295, z 2016 r. poz. 352, 1250.)
- [18] WHO. Water Safety Plans (Revised Draft). Report publication WHO/SDE/WSH/02.09.2002



**Prof. Barbara Tchórzewska-Cieślak, Ph.D.Eng.** is working in the post of an associate professor in Rzeszow University of Technology, Faculty of Civil, Environmental Engineering and Architecture, Department of Water Supply and Sewage Systems. Research interests: water supply systems, reliability and safety of engineering systems, unconventional methods of risk analysis and assessment.

## ZARZĄDZANIE BEZPIECZEŃSTWEM DOSTAW WODY

### 1. Wprowadzenie

Bezpieczeństwo funkcjonowania komunalnych systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW) stanowi priorytetowy element szeroko pojętej „bezpiecznej” gospodarki wodnej. W tym względzie chodzi przede wszystkim o przeciwdziałanie zagrożeniom w kontekście człowiek - obiekt techniczny - środowisko (natura). Woda jest warunkującym życie zasobem, a jej eksploatacja powinna odbywać się zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju (SD - Sustainable Development), którą przyjęto w deklaracji w sprawie Środowiska i Rozwoju na „szczyście Ziemi” w Rio de Janeiro w 1992 roku. Definicja zrównoważonego rozwoju wskazuje, że rozwój gospodarczy i cywilizacyjny obecnego pokolenia nie powinien odbywać się kosztem wyczerpywania zasobów nieodnawialnych i niszczenia środowiska, dla dobra przyszłych pokoleń, które też będą posiadały prawa do swego rozwoju. W Polsce zasada zrównoważonego rozwoju zyskała rangę konstytucyjną – została zapisana w art. 5 Konstytucji, a definicja zrównoważonego rozwoju znalazła się w ustawie Prawo ochrony Środowiska. W aspekcie gospodarki wodnej Ustawa Prawo wodne [17] reguluje między innymi: *gospodarowanie wodami zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju, a w szczególności kształtowanie i ochronę zasobów wodnych, korzystanie z wód oraz zarządzanie zasobami wodnymi. Zarządzanie zasobami wodnymi służy zaspokajaniu potrzeb ludności, gospodarki, ochronie wód i środowiska związanego z tymi zasobami, szczególnie w zakresie: zapewnienia odpowiedniej ilości i jakości wody dla ludności.*

Zaopatrzenie w wodę zgodnie z SD należy rozpatrywać w oparciu o pojęcia:

- potrzeb, w szczególności podstawowych potrzeb zaopatrzenia ludności w wodę bezpieczną dla zdrowia, którym należy nadać najwyższy priorytet;
- ograniczeń wynikających z konieczności ochrony zasobów wodnych i ich ekosystemów.

Światowa Organizacja Zdrowia natomiast zaleca dodatkowo wdrażanie tzw. planów bezpieczeństwa wodnego (WSP-Water Safety Plan) opartych na analizie i ocenie ryzyka w celu ochrony bezpieczeństwa konsumentów wody [18].

Analiza ryzyka w ramach WSP powinna obejmować [1,2]:

- identyfikowaniu zagrożeń (ang. *hazard identification*),
- szacowaniu prawdopodobieństwa powstania zagrożenia (ang. *probability assessment*),
- szacowaniu podatności na zagrożenie,
- określaniu skutków zdarzenia (ang. *consequence analysis*).

Ocena ryzyka to porównanie wyznaczonych wartości z przyjętymi kryteriami akceptowalności ryzyka, co jest podstawą do analizy bezpieczeństwa.

Na tym etapie bardzo istotne jest określenie kryteriów akceptowalności ryzyka, tak aby można je było wykorzystać w procesie podejmowania decyzji dotyczących eksploatacji systemu (np. prac remontowych czy modernizacji). Kryteria takie powinny uwzględniać wymogi związane z niezawodnością funkcjonowania zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym, zgodnie z obowiązującymi unormowaniami prawnymi oraz uwarunkowaniami społecznymi, ekonomicznymi i środowiskowymi [13, 15].

## **2. Procedury zarządzania bezpieczeństwem dostaw wody w ramach WSP**

Zarządzanie ryzykiem można zdefiniować jako społeczno-ekonomiczny proces podejmowania decyzji [13]. Obowiązuje zasada, że nie da się wyeliminować ryzyka. Można jedynie podejmować różnego rodzaju działania, mające na celu jego minimalizację do poziomu akceptowalnego z punktu widzenia bezpieczeństwa oraz koniecznych do poniesienia kosztów zgodnie z zasadą ALARP (ang. As Low As Reasonably Practicable) [11,13,14].

Prawidłowo opracowany WSP składa się z dwóch zasadniczych części: opisowej i analityczno-wdrożeniowej. Część opisowa zawiera syntezę wszystkich ważnych informacji o budowie i eksploatacji całego systemu wodociągowego. W części analityczno-wdrożeniowej powinny być przedstawione i poddane ocenie funkcje systemu mające wpływ na prawidłowe jego funkcjonowanie pod kątem bezpieczeństwa konsumentów wody [1,12,17]. Procedury zarządzania ryzykiem w ramach WSP powinny zawierać [2, 8, 13]:

- ocenę zagrożenia i hierarchizację ryzyka,
- analizę zidentyfikowanego ryzyka uwzględniającą:
- wybór zdarzeń mogących wywołać tzw. efekt domina,
- opracowanie modeli scenariuszy awaryjnych,
- opracowanie modeli funkcjonalnych i systemowych ciągów zdarzeń: drzewa zdarzeń i drzewa uszkodzeń,
- przeprowadzenie analizy błędów operatora,
- oszacowanie prawdopodobieństwa występowania konkretnych zagrożeń oraz ich skutków zdrowotnych dla konsumentów,
- ilościową ocenę ryzyka zdrowotnego konsumentów wody i przeprowadzoną na podstawie jej wyników ocenę poziomu bezpieczeństwa konsumentów wody,
- identyfikację ścieżek, poprzez które zagrożenia mogą być przenoszone na konsumentów,
- identyfikację „krytycznych punktów kontrolnych”,
- opis sposobu monitorowania i procedury kontrolne dla każdego zidentyfikowanego ryzyka, w tym procedury określające zakres oraz częstotliwość monitoringu (granice akceptowalności),
- scenariusze awaryjnego zaopatrzenia ludności w wodę oraz plany reagowania na wypadek zaistnienia sytuacji kryzysowej uwzględniające szkolenia operatorów podsystemów,

- spójną dokumentację zdarzeń niepożądanych dla każdego podsystemu SZZW oraz informatyczną bazę danych,
- opcję kontroli ryzyka, czyli określenie, w jaki sposób można zredukować jego poziom,
- ocenę kosztów i zysków, czyli uzasadnienie celowości poniesienia kosztów związanych z redukcją ryzyka i dokonanie hierarchizacji różnych opcji kontroli ryzyka,
- zalecenia dotyczące procesu decyzyjnego, czyli zaproponowanie tych wariantów kontroli ryzyka, które są najlepiej oceniane przez ekspertów pod względem odniesienia spodziewanych korzyści oraz optymalizacji poniesionych kosztów,
- procedurę informowania konsumentów wody o ryzyku.

Zgodnie z założeniami WSP kluczowa jest analiza i ocena ryzyka zdrowotnego wynikającego z możliwości spożycia przez konsumentów wody niezdatnej do spożycia. Procesie oceny ryzyka zdrowotnego wyróżnia się następujące etapy postępowania [8,14]:

- identyfikacja i ocena zagrożenia, na podstawie:
  - właściwości fizykochemicznych (stan skupienia, temperatura wrzenia i topnienia, gęstość właściwa, prężność par, rozpuszczalność w wodzie i rozpuszczalnikach organicznych),
  - dróg wchłaniania (wziewna, skórna, pokarmowa),
  - rodzaju ekspozycji (sporadyczna, ciągła, przerywana),
  - biotransformacji (poziom toksyczności substancji powstałej w wyniku zachodzących przemian),
- identyfikacja skutków zdrowotnych, które mogą być wynikiem narażenia na określoną substancję.

Identyfikacja ryzyka na potrzeby WSP obejmuje przede wszystkim rozpoznanie zagrożeń, opracowanie scenariuszy zdarzeń niepożądanych oraz oszacowanie zagrożenia dla zdrowia lub życia konsumentów wody.

Celem identyfikacji zagrożeń dla konsumentów wody jest określenie rodzaju substancji znajdującej się w wodzie do spożycia, natomiast ocena poziomu zagrożenia powinna się opierać na wskazaniu jej szkodliwego działania na stan zdrowia człowieka i dokonaniu klasyfikacji substancji na podstawie wszystkich dostępnych danych [5,9,10,11,14]. Plany Bezpieczeństwa Wodnego powinny zawierać wykaz zagrożeń chemicznych i mikrobiologicznych.

Przykładowo dla ujęć wody WHO zaproponowała podział na trzy grupy czynników zagrożeń [3, 4, 10, 18]:

- zagrożenia zwykłe – np. zanieczyszczenia ściekami fekalnymi w pobliżu ujęcia wody,
- tzw. „ścieżki” – potencjalne drogi, którymi zanieczyszczenie może przedostać się do wody,

- zagrożenia pośrednie – niewpływające bezpośrednio na bezpieczeństwo, ale mogące zwiększyć prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożeń bądź „ścieżek” (np. brak ogrodzenia wokół ujęcia wody).

Według opublikowanych w 1993 r. wytycznych WHO największe zagrożenie dla zdrowia konsumentów wody stanowią mikroorganizmy, których obecność w wodzie jest wynikiem zanieczyszczenia źródeł wody odchodami ludzkimi i zwierzęcymi. Potencjalne konsekwencje mikrobiologicznego zanieczyszczenia wody są na tyle poważne, że WHO zaleca bardzo restrykcyjne podejście do kontroli jakości wody pod kątem mikrobiologicznym. Ocena ryzyka związanego ze zmianami mikrobiologicznymi jakości wody jest trudna z uwagi na liczbę czynników (oraz występujące między nimi powiązania) mających wpływ na pojawienie się i poziom zagrożenia zdrowotnego. Ocenę ryzyka zdrowotnego pod kątem zagrożeń mikrobiologicznych przeprowadzają specjaliści z zakresu medycyny, mikrobiologii i epidemiologii [14]. Proces identyfikacji potencjalnych zagrożeń oraz ryzyka powinien obejmować również charakterystykę ryzyka oraz jego hierarchizację, której propozycję przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Hierarchizacja ryzyka

Ryzyko	Opis
nieakceptowane (istotne)	istnieją udokumentowane dowody, że dane zagrożenie stanowi ryzyko zdrowotne dla konsumentów wody
kontrolowane (niepewne)	ryzyko może wymagać dalszego monitorowania w celu określenia jego rangi
akceptowane (nieistotne)	– brak udokumentowanych dowodów, że zidentyfikowane zagrożenie stanowi ryzyko dla konsumentów wody; – ryzyko powinno być monitorowane w ramach WSP w kolejnych latach eksploatacji SZZW.

### 3. Metoda analizy ryzyka na potrzeby WSP

#### Główne założenia

Dla potrzeb WSP stosuj się jakościowo - ilościowe matrycowe metody analizy ryzyka [8,15]. Matryca ryzyka przedstawia zależność prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia od jego następstw (skutków) według podstawowego wzoru [1,6,7,11,14,16]:

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

gdzie:

P – prawdopodobieństwo zajścia zdarzeń niepożądanych,

C – konsekwencje – straty względne związane z danym prawdopodobieństwem.

Zbiór możliwych wartości ryzyka  $R = \{r_{ij}\}$  można przedstawić w macierzy  $m \times n$  postaci [14]:

$$M_R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

gdzie:

$R$  – zbiór wartości ryzyka,

$M$  – oznaczenie macierzy,

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

W ilościowych metodach matrycowych dla wszystkich parametrów ryzyka przypisuje się odpowiednie wagi punktowe (w przyjętej skali). W analizach ryzyka na potrzeby WSP zgodnie z wytycznymi [1,7,17] stosuje się matryce w skali trzy lub pięciostopniowej, wg ogólnej zasady kategoryzacji:

– dla parametru prawdopodobieństwa/strat

w skali trzy stopniowej:

- małe – waga 1,
- średnie – waga 2,
- duże – waga 3,

lub

w skali pięciostopniowej:

- bardzo małe - waga 1
- małe – waga 2,
- średnie – waga 3,
- duże – waga 4,
- bardzo duże - 5

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

- ryzyko tolerowane (akceptowane),
- ryzyko kontrolowane,
- ryzyko nieakceptowane.

### **Trójparametryczna matryca szacowania ryzyka**

Na potrzeby WSP proponuje się zastosować rozbudowaną trójparametryczną matrycę ryzyka, w której parametrami są: częstotliwość wystąpienia zagrożenia ( $P$ ), skutki zagrożeń ( $C$ ), podatność na zagrożenie ( $V$ ). Obowiązuje formuła [7]:

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

Opis jakościowo-ilościowy parametrów składowych ryzyka przedstawia się następująco [1,7,14]:

- Kategoryzację parametru prawdopodobieństwa (częstotliwości) wystąpienia zagrożenia  $P$  przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2. Kategoryzacja parametru prawdopodobieństwa [14]

Opis parametru	Zakres częstości [awaria/a]	Wartość parametru
bardzo mało prawdopodobne,	$\leq 0,1$	1
mało prawdopodobne,	$(0,1 \div 0,2 >$	2
średnio prawdopodobne,	$(0,2 \div 0,5 >$	3
umiarkowanie prawdopodobne,	$(0,5 \div 2,0 >$	4
bardzo prawdopodobne,	$\geq 12$	5

– Kategoryzację parametru strat C przedstawiono w tab. 3.

Tabela 3. Kategoryzacja parametru strat [14]

Opis parametru C	Wartość parametru
<b>Straty bardzo małe:</b> lokalne obniżenie ciśnienia wody w sieci wodociągowej, lokalne pogorszenie parametrów jakości wody brak zagrożenia zdrowotnego dla konsumentów.	1
<b>Straty małe:</b> spadek dobowej produkcji wody do 70% wartości wymaganej lub przerwy w dostawie wody trwające do 2 h, dostrzegalne zmiany organoleptyczne wody (zapach, zmieniona barwa i mętność, brak zagrożenia zdrowotnego dla konsumentów.	2
<b>Straty średnie:</b> spadek dobowej produkcji wody $<50 \div 70$ ) % lub przerwy w dostawie wody $(2 \div 12 >$ h, znaczna uciążliwość organoleptyczna (odór, zmieniona barwa i mętność), zagrożenie zdrowotne dla konsumentów.	3
<b>Straty duże:</b> spadek dobowej produkcji wody $<30 \div 50$ ) % lub przerwy w dostawie wody $(12 \div 24 >$ h, wtórne zanieczyszczenie wody w poszczególnych fragmentach sieci wodociągowej, możliwość narażenia licznej grupy konsumentów na spożycie wody o pogorszonej jakości, przesłanki do eskalacji zdarzenia, powstania tzw. efektu domina.	4
<b>Straty bardzo duże:</b> spadek dobowej produkcji wody poniżej 30%, przerwy w dostawie wody trwające powyżej 24 h możliwość narażenia licznej grupy konsumentów na spożycie wody o pogorszonej jakości, wyniki badań organizmów wskaźnikowych ujawniające wysoki poziom substancji toksycznych, konieczność podjęcia leczenia szpitalnego osób narażonych.	5

– Kategoryzację parametru podatności V przedstawiono w tab. 4.

Tabela 4. Kategoryzacja parametru podatności [14]

Opis parametru V	Wartość parametru
<b>Bardzo mała podatność</b> na zaistniałą awarię (bardzo duża odporność): sieć w układzie zamkniętym, możliwość odcięcia zasuwami awaryjnego odcinka sieci (w celu naprawy) możliwość uniknięcia przerw w dostawie wody dla konsumentów, kompleksowy system ostrzegania i reagowania w sytuacjach kryzysowych, pełna możliwość korzystania z alternatywnych źródeł wody.	1
<b>Mała podatność na zaistniałą awarię</b> (duża odporność): sieć w układzie otwartym lub mieszanym, możliwość odcięcia zasuwami awaryjnego odcinka, system wczesnego ostrzegania i reagowania w sytuacjach kryzysowych dostępność alternatywnych źródeł wody.	2
<b>Średnia podatność na zaistniałą awarię</b> (średnia odporność): sieć w układzie mieszanym, możliwość odcięcia zasuwami awaryjnego odcinka sieci, system opóźnionego reagowania w sytuacjach kryzysowych, alternatywne źródła wody nie w pełni zabezpieczające potrzeby.	3
<b>Duża podatność na zaistniałą awarię</b> (mała odporność): sieć w układzie otwartym, brak możliwości odcięcia zasuwami awaryjnego odcinka sieci bez przerw w dostawie wody do konsumentów, system późnego ostrzegania w sytuacjach kryzysowych, ograniczona dostępność do alternatywnych źródeł wody do spożycia	4
<b>Bardzo duża podatność na zaistniałą awarię</b> (bardzo mała odporność): sieć w układzie otwartym, brak możliwości odcięcia zasuwami awaryjnego odcinka sieci bez przerw w dostawie wody do konsumentów, brak systemu ostrzegania oraz reagowania w sytuacjach kryzysowych bardzo ograniczona dostępność do alternatywnych źródeł wody do spożycia	5

Zgodnie ze wzorem (2) dla pięciostopniowej kategoryzacji ryzyka wartości ryzyka mieszczą się w zakresie od 1 do 125.

Szacowanie poszczególnych wartości dla parametrów ryzyka bardzo często opiera się na opiniach ekspertów, bazie danych o zdarzeniach niepożądanych oraz systemów monitoringu. W celu uwzględnienia czynnika niepewności w analizach ryzyka proponuje się uwzględnienie błędu oszacowania ryzyka wg formuły:

$$\Delta R = \Delta P \cdot C \cdot V + P \cdot \Delta C \cdot V + P \cdot C \cdot \Delta V \quad (4)$$

gdzie:

$\Delta P$  - błąd w szacowaniu parametru prawdopodobieństwa (5÷15)%,

$\Delta C$  - błąd w szacowaniu parametru strat, (5÷10)%,

$\Delta V$  - błąd w szacowaniu parametru podatności na zagrożenie. ( $\cong 5$ )%,



Procedurę oceny ryzyka przedstawiono w tab.5

*Tabela 5. Ocena ryzyka*

Ocena ryzyka	Zakres $R \pm \Delta R$
akceptowalne	<20
kontrolowane	20÷50
nieakceptowane	>50

#### 4. Podsumowanie

Plan bezpieczeństwa wodnego powinien być wdrożony w każdej aglomeracji oraz gminie. Stanowi milowy krok dla zapewnienie bezpieczeństwa dostaw wody. Szczegółowe procedury powinny być konsultowane w szerokim gronie ekspertów z różnych dziedzin. Należy brać pod uwagę koszty wprowadzanych procedur związanych z koniecznością redukcji ryzyka ale zawsze priorytetem powinno być bezpieczeństwo zdrowotne konsumentów wody. Ponadto prawidłowe zarządzanie bezpieczeństwem w szeroko rozumianej gospodarce powinno uwzględniać określenie i wdrażanie celów w zakresie oszczędnego gospodarowania wodą, a w tym promowanie zachęć ekonomicznych oszczędzania wody.

#### 5. Literatura

- [1] Boryczko, K., Tchórzewska-Cieślak, B. Analysis of risk of failure in water main pipe network and of delivering poor quality water. Environment Protection Engineering , 2015 , 40 (4), pp. 77-92
- [2] Gardner R.G.: Implementing risk management for a water supplies: a catalyst and incentive for change. The Rangeland Journal .Csiro Publishing. 2008, 30, 149-156.
- [3] Kaźmierczak, B., Wdowikowski, M. : Maximum rainfall model based on archival pluviographic records – case study for Legnica (Poland). Periodica Polytechnica: Civil Engineering .2016, 60 (2), 305-312.
- [4] Kuliczowska, E. : Risk of structural failure in concrete sewers due to internal corrosion. Engineering Failure Analysis. 2016, 66, pp. 110-119
- [5] Nowacka A, Włodarczyk-Makula M., Tchórzewska-Cieślak B., Rak J.: The Ability To Remove The Priority Paks From Water During Coagulation Process Including Risk Assessment. Desalination And Water Treatment.2016, 57,3, 1297-1309.
- [6] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B. Five – parametric matrix to estimate risk connected with water supply system operating. Environment Protection Engineering. 2006, 2, 37-47.
- [7] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Review of matrix methods for risk assessment in water supply system. Journal of Konbin, 2006,1(1), 67-76

- [8] Rosen L, Lindhe A.: et al. Generic framework for integrated risk management in water safety plans. 6th Nordic Drinking Water Conference, Oslo. 2008, 9-11 June.pp193-203.
- [9] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2015 poz. 1989).
- [10] Szpak D. Tchórzewska-Cieślak, B. Sources of Incidental Events in Collective Water Supply System. Journal of Konbin. 2015, 35, 1, 127-136
- [11] Tchórzewska-Cieślak, B. Method of assessing of risk of failure in water supply system Proceedings of the European Safety and Reliability Conference. ESREL 2007 - Risk, Reliability and Societal Safety. 2007 2, 1535-1539
- [12] Tchórzewska-Cieślak, B Urban water safety management. Chemical Engineering Transactions. 2012 26, pp. 201-206
- [13] Tchórzewska-Cieślak, B :Risk management in water safety plans . Ochrona Środowiska. 2009 31 (4), pp. 57-60
- [14] Tchórzewska-Cieślak B. Metody analizy i oceny ryzyka awarii podsystemu dystrybucji wody. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej 2011.
- [15] Tchórzewska-Cieślak, B., Rak, J. Method Of Identification Of Operational States Of Water Supply System. Environmental Engineering III. 2010, 521-526 . Doi: 10.1201/B10566-83
- [16] Tchórzewska-Cieślak, B . Pietrucha -Urbanik K. Exploitation of the cwss in the aspect of belonging to the critical infrastructure. Journal of Konbin. 2013, 25, 1, 165- 172.
- [17] Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo Wodne ( Dz. U. z 2015 r. poz. 469, 1590, 1642, 2295, z 2016 r. poz. 352, 1250.)
- [18] WHO. Water Safety Plans (Revised Draft). Report publication WHO/SDE/WSH/02.09.2002



**Dr hab. inż. Barbara Tchórzewska-Cieślak, prof. PRz** pracuje na stanowisku profesora nadzwyczajnego w Zakładzie Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków Politechniki Rzeszowskiej. Zainteresowania naukowe: systemy zaopatrzenia w wodę, niezawodność i bezpieczeństwo systemów inżynierskich, niekonwencjonalne metody analizy i oceny ryzyka.