

ANALIZA BEZPIECZEŃSTWA SYSTEMÓW ZAOPATRZENIA W WODĘ NA OBSZARACH WIEJSKICH

Barbara Tchorzewska-Cieślak¹, Katarzyna Pietrucha-Urbanik¹, Dawid Szpak¹

¹ Zakład Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska, ul. Poznańska 2, 35-084 Rzeszów, e-mail: cbarbara@prz.edu.pl; kpiet@prz.edu.pl; dsz@prz.edu.pl

STRESZCZENIE

Celem pracy jest przedstawienie zagadnień związanych z analizą bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę na obszarach wiejskich. W pracy dokonano charakterystyki zagrożeń występujących w systemie zaopatrzenia w wodę (SZW) wynikających bezpośrednio z funkcjonowania systemu, takich jak uszkodzenie jego elementów, awarie przewodów wodociągowych oraz przyczyn zewnętrznych do których należą m.in. incydentalne zanieczyszczenia źródeł wody, działania sił natury, powódź, susza, itd. Przedstawiono propozycję oceny bezpieczeństwa SZW oraz metodę wyznaczania kryterialnych poziomów bezpieczeństwa.

Słowa kluczowe: analiza ryzyka, systemy zaopatrzenia w wodę, poziomy bezpieczeństwa zaopatrzenia w wodę, identyfikacja zagrożeń

ANALYSIS OF SAFETY SYSTEMS WATER SUPPLY IN RURAL AREAS

ABSTRACT

The goal of this work is the analysis of issues related to the safety of water supply systems in rural areas. In the paper the characteristics of risks in the water supply system (WSS) resulting directly from the operation of the system and damage of its elements, failures of water pipes and external causes as a result of accidental contamination of water sources, forces of nature, flood, drought, etc. The method of safety assessment of WSS and the method of determining criterion levels of safety were presented.

Keywords: risk analysis, water supply system, safety levels of water supply, identification of hazards

WSTĘP

Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę odnosi się do braku zagrożeń związanych z brakiem dostawy wody lub dostawą wody o nieodpowiedniej jakości. Z punktu widzenia przedsiębiorstwa wodociągowego związane jest ze znacznymi kosztami ponoszonymi w wyniku zajścia zdarzeń niepożądanych, natomiast z punktu widzenia konsumentów wody do spożycia, rozumiane jest jako prawdopodobieństwo uniknięcia zagrożenia, wynikającego ze spożycia wody o jakości niezgodnej z obowiązującym normatywem (mogącej skutkować zatruciami, chorobami) lub jej brakiem [Rak 2005; Rozporządzenie Ministra Zdrowia 2015; Tchorzewska-Cieślak 2007, 2011]. Tak rozumiane bezpieczeństwo można

opisać za pomocą funkcji ryzyka $f(r)$. Wartość ryzyka stanowi podstawę do oceny bezpieczeństwa dostawy wody oraz powinno stanowić priorytet działalności przedsiębiorstw wodociągowych [Lu i inni 2009; Mays 2004, 2005; Rak i Pietrucha-Urbanik 2015].

Bezpieczeństwu systemów zaopatrzenia ludności w wodę zagraża wiele różnych czynników wewnętrznych, jak i zewnętrznych, do których można zaliczyć zmiany klimatyczne, zanieczyszczenia zasobów wodnych, jak również zmiany demograficzne i starzejącą się infrastrukturę, która zagraża stabilności funkcjonowania systemów wodociągowych [Baybutt 2012; Johanson 2008; Michaud i Apostolakis 2006]. Ograniczony dostęp do wody często jest przyczyną migracji ludności, co może doprowadzić do globalnego zagrożenia

dla ludności oraz być powodem bezpośredniej śmierci, w szczególności osób starszych i dzieci. Również w systemach zaopatrzenia w wodę, w których nie ma poważnych problemów z dostępem do wody zdatnej do spożycia, pojawiają się zagrożenia, na które należy się przygotować rozpatrując różne scenariusze ryzyka braku dostaw wody [Ostfeld 2004; Rak i Tchórzewska-Cieślak 2005]. Zdarzenia niepożądane o charakterze incydentalnym rzadko pojawiające się w systemach wodociągowych, mogą powodować katastrofalne skutki, dlatego mimo niewielkiego prawdopodobieństwa nie należy ich lekceważyć [Tchórzewska-Cieślak i Szpak 2015; WHO 2005].

Głównym celem pracy jest przedstawienie zagadnienia bezpieczeństwa konsumentów wody w wiejskich jednostkach osadniczych. Praca zawiera podstawowe pojęcia dotyczące bezpieczeństwa konsumentów wody oraz metodę jego analizy na podstawie ryzyka związanego z funkcjonowaniem wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę.

ZAGROŻENIA DLA BEZPIECZEŃSTWA DOSTAWY WODY

Charakterystyka zagrożeń

Aktualnym problemem dla zaopatrzenia w wodę małych aglomeracji są ekstremalne zjawiska związane ze zmianami klimatycznymi takie jak powodzie a przede wszystkim susze. Niskie stany wód powodują wysychanie studni oraz trudności w poborze wody z ujęć wód powierzchniowych [Kochubovski 2011].

Bardzo istotnym problemem jest zły stan techniczny urządzeń zaopatrujących w wodę oraz nieprawidłowe rozmieszczenie punktów poboru wody, np. w pobliżu zbiorników asenizacyjnych, co może powodować potencjalne zanieczyszczenia [Hrudey i Hrudey 2004; Rak i Tchórzewska-Cieślak 2006]. Na przeszkodzie do poprawy istniejącej sytuacji stoi brak środków finansowych oraz zaplecza technicznego, niewłaściwa eksploatacja systemu, jak również brak świadomości wśród odbiorców wody o istniejącym zagrożeniu [Pietrucha-Urbanik 2015].

Zagrożenia w zaopatrzeniu w wodę, mogą pojawić się na każdym etapie produkcji wody do spożycia: w źródle wody, na etapie uzdatniania oraz magazynowania, jak i w podsystemie dys-

trybucji wody [Doro-on 2012; Mitchell i in. 2013; Rak i Tchórzewska-Cieślak 2007, 2014].

Do zagrożeń wiejskich źródeł wody należą [WHO 2009]:

- niekorzystne warunki meteorologiczne, np. powodzie, susze,
- zanieczyszczenia incydentalne, m.in. poważne awarie,
- odprowadzanie nieoczyszczonych ścieków sanitarnych, odpadów lub innych substancji niebezpiecznych do gruntu lub wody,
- wycieki ścieków sanitarnych do gruntu z nieszczelnych szamb,
- niewłaściwie prowadzona gospodarka wodno-ściekowa w zakładach hodowli zwierząt, ubojniach,
- niewłaściwie prowadzona działalność rolnicza, np. nadmierne stosowanie środków ochrony roślin, zrzuty gnojowicy,
- niewłaściwie uszczelnione studnie, możliwość przecieku wód powierzchniowych,
- korozja, uszkodzenie kolumny filtracyjnej studni,
- pobór wody z warstw wodonośnych położonych bezpośrednio pod powierzchnią terenu (duże zmiany jakości wody),
- niewłaściwe przechowywanie wody surowej,
- odprowadzanie zanieczyszczonej wody wykorzystywanej do celów budowlanych do gruntu,
- działalność rekreacyjna na zbiornikach wodnych, m.in. na zbiornikach poeksploatacyjnych po wydobyciu kruszywa,
- celowe działanie osób trzecich, m.in. akty wandalizmu.

Do zagrożeń na etapie uzdatniania należą [WHO 2009]:

- zanieczyszczenie wody surowej, którego konwencjonalny proces uzdatniania nie jest w stanie usunąć oraz nie ma możliwości wykorzystania alternatywnej technologii uzdatniania,
- wstrzymanie lub ograniczenie dostaw energii elektrycznej,
- niewłaściwie dobrana technologia uzdatniania,
- niewłaściwy dobór materiałów wykorzystywanych w procesie uzdatniania,
- błędy operatora, m.in. niewłaściwe dawkowanie reagentów, niewłaściwie prowadzona eksploatacja stacji uzdatniania wody (SUW),
- awaria systemu sterowania,
- awaria poszczególnych urządzeń wchodzących w skład SUW,
- zjawiska katastroficzne, m.in. pożar, powódź,

Do zagrożeń na etapie magazynowania i dystrybucji wody należą [WHO 2009]:

- zdarzenia incydentalne skutkujące ograniczeniem lub wstrzymaniem dostawy wody do podsystemu dystrybucji, np. zanieczyszczenie źródeł wody, awarie SUW, pompowni wodociągowych,
- wtórne zanieczyszczenie wody w sieci wodociągowej lub zbiornikach wodociągowych,
- awarie sieci wodociągowej spowodowane głównie przez :
 - wady materiałowe,
 - błędy związane z działalnością człowieka, błędy projektowe oraz wykonawcze, m.in. niewłaściwy dobór/montaż przewodów oraz armatury, wadliwe uszczelnienie połączeń kielichowych,
 - czynniki środowiskowe, m.in. osuwiska,
 - czynniki związane z funkcjonowaniem sieci wodociągowej, m.in. zmienne warunki hydrauliczne, zbyt duże ciśnienie wody w sieci wodociągowej, uderzenie hydrauliczne,
- nagłe otwieranie oraz zamykanie zasuw powodujące wypłukiwanie osadów z sieci wodociągowej,
- uszkodzenie konstrukcji zbiorników wodociągowych, możliwość przecieków,
- brak właściwego zabezpieczenia zbiorników wodociągowych oraz armatury, możliwość łatwego dostępu osób nieupoważnionych, potencjalne akty wandalizmu.

Przykłady zdarzeń niepożądanych

W wyniku zaistnienia w SZZW różnego rodzaju zdarzeń niepożądanych konsumenci mogą zostać pozbawieni dostępu do wody zdatnej do spożycia przez parę godzin, dni, a nawet tygodni. Przykładem zakłóceń w funkcjonowaniu wodociągów wiejskich mogą być:

- rok 2015, gmina Błażowa (woj. podkarpackie) – brak dostawy wody do części konsumentów w wyniku obniżenia poziomu wód gruntowych spowodowanego długotrwałą suszą, obniżenie ciśnienia w sieci wodociągowej. Do mieszkańców zamieszkujących tereny położone najwyżej dostarczano wodę z wykorzystaniem pięciu zbiorników o objętości 1 m³ każdy. Gmina apeluje o oszczędne korzystanie z wody oraz stara się o środki na budowę dodatkowej studni wierconej, co pozwoliłoby zwiększyć wydajność wodociągu,

- rok 2015, gmina Koniecopol (woj. śląskie) – w lipcu ok. półtora tysiąca osób zostało pozbawionych wody na skutek wyschnięcia studni indywidualnych, co spowodowane było długotrwałą suszą. Sytuacja kryzysowa trwa nadal (styczeń 2016 r.), jedynym wyjściem jest w tym przypadku budowa wodociągu zbiorowego. Mieszkańcy są zaopatrywani w wodę przez straż pożarną,
- rok 2014, gmina Przyrów (woj. śląskie) – zanieczyszczenie wody bakteriami z grupy coli. Około 2000 mieszkańców było pozbawionych wody zdatnej do spożycia przez okres czterech dni. W czasie trwania sytuacji kryzysowej mieszkańcy korzystali z wody dostarczanej beczkowozami,
- rok 2013, gmina Chelmiec (woj. małopolskie) – zanieczyszczenie wody bakteriami z grupy coli. Przedsiębiorstwo wodociągowe wydało zakaz spożywania zanieczyszczonej wody. Możliwe było jedynie jej wykorzystanie do celów gospodarczych. Dostarczenie do konsumentów wody zdatnej do spożycia z wykorzystaniem beczkowozów.

BEZPIECZEŃSTWO KONSUMENTÓW WODY

Dla potrzeb analizy bezpieczeństwa konsumentów wody wprowadza się pojęcie aktualnego poziomu bezpieczeństwa (CLS- Current Level of Safety), który rozumiany jest jako poziom bezpieczeństwa konsumentów wody w danych warunkach eksploatacyjnych SZW. Wyróżniono następujące poziomy bezpieczeństwa konsumentów wody:

- tolerowany poziom bezpieczeństwa (TLS – Tolerable Level of Safety) – poziom bezpieczeństwa konsumentów wody, w którym nie istnieją przesłanki do zagrożenia zdrowia lub życia konsumentów wody, w wyniku eksploatacji SZW,
- kontrolowany poziom bezpieczeństwa (CoLS – Controlled Level of Safety) - poziom bezpieczeństwa konsumentów wody, w którym może zaistnieć zagrożenie zdrowia konsumentów wody, w wyniku eksploatacji SZW ale istnieją wystarczające bariery ochronne konsumentów wody do spożycia,
- nieakceptowany poziom bezpieczeństwa (ULS – Unacceptable Level of Safety) – po-

ziom bezpieczeństwa konsumentów wody, po przekroczeniu którego konsumenci narażeni są na utratę zdrowia lub życia, w wyniku eksploatacji SZW.

W celu analizy bezpieczeństwa konsumentów wody konieczne jest zdefiniowanie funkcji ryzyka. Funkcją ryzyka $f(r)$ definiuje się jako wartość oczekiwaną strat związanych z brakiem dostawy.

$$f(r) = E(C) = P(C \geq C_{gr}) \cdot C \quad (1)$$

gdzie: $P(C \geq C_{gr})$ – prawdopodobieństwo strat większych od przyjętych granicznych, C – wartość strat.

Dla tak zdefiniowanej funkcji ryzyka w celu wyznaczenia jego wartości zastosowano tzw. Matrycową metodę analizy ryzyka.

W tym celu przyjęto następującą kategorie strat wraz z przyjętymi wagami punktowymi:

- C_{gr} (graniczne – pomijalne) niewielkie, przemijające zmiany organoleptyczne wody, nie wpływające na jej jakość, przerwy w dostawie wody do 4 h, $C = 0$,
- C_s (małe) – dostrzegalne zmiany organoleptyczne wody, pojedyncze skargi konsumentów straty finansowe, przerwy w dostawie wody w zakresie (4÷16] h, gdzie $C = 1$,
- C_{med} (średnie) – znaczna uciążliwość organoleptyczna (odór, znacząca barwa i mętność), niedyspozycje zdrowotne konsumentów, liczne skargi, komunikaty w regionalnych mediach publicznych, przerwy w dostawie wody w zakresie (16÷24] h, dla $C = 2$,
- C_h (wysokie) – wymagane leczenie szpitalne osób narażonych, zaangażowanie profesjonalnych służb ratowniczych, poważne efekty toksyczne wśród organizmów wskaźnikowych, informacje w mediach ogólnokrajowych,

przerwy w dostawie wody > 24 h, dla $C = 3$.

oraz kategorie oraz wagi punktowe, odpowiadające poszczególnym prawdopodobieństwom:

- P_l (niskie) mało prawdopodobne zdarzenie niepożądane występujące raz na 10 ÷ 50 lat, dla $P = 1$,
- P_{med} (średnie) dość prawdopodobne raz na 1 ÷ 10 lat, gdzie $P = 2$,
- P_h (wysokie) prawdopodobne od 1 ÷ 10 razy w roku, gdzie $P = 3$,
- P_{vh} (bardzo wysokie) bardzo prawdopodobne powyżej 10 razy w roku, dla $P = 4$.

Poziomu bezpieczeństwa konsumentów wody na podstawie wartości ryzyka (wzór 1) ustalono:

- $r_{TLS} = (0-2)$ – poziom bezpieczeństwa: tolerowany (TLS);
- $r_{CoLS} = (2-4)$ – poziom bezpieczeństwa: kontrolowany (CoLS);
- $r_{ULS} = (4-12)$ – poziom bezpieczeństwa: nieakceptowany (ULS).

Matrycę ryzyka przedstawiono w tabeli 1.

PRZYKŁAD ANALIZY BEZPIECZEŃSTWA SYSTEMU ZAOPATRZENIA W WODĘ

Analizie poddano zdarzenia niepożądane związane z brakiem dostawy wody do konsumentów, które miały miejsce w latach 2008-2014 w systemach zaopatrzenia w wodę wiejskich jednostek osadniczych na terenie województwa podkarpackiego. Zebrane informacje zestawiono w tabeli 2.

Najwięcej awarii wystąpiło na skutek pęknięć oraz rozszczelnień wodociągów, co było spowodowane złym posadowieniem wodociągów, wysokim ciśnieniem oraz wykonaniem połączeń

Tabela 1. Matrycowa metoda analizy ryzyka
Table 1. Matrix method of risk analysis

R		P			
		P_l	P_{med}	P_h	P_{vh}
C	$C_{gr} = 0$	$r_k = 0$	$r_k = 0$	$r_k = 0$	$r_k = 0$
		–	–	–	–
	$C_s = 1$	$r_k = 1$	$r_k = 2$	$r_k = 3$	$r_k = 4$
		TLS	TLS	CoLS	CoLS
	$C_m = 2$	$r_k = 2$	$r_k = 4$	$r_k = 6$	$r_k = 8$
		TLS	CoLS	ULS	ULS
	$C_b = 3$	$r_k = 3$	$r_k = 6$	$r_k = 9$	$r_k = 12$
		CoLS	ULS	ULS	ULS

Tabela 2. Dane eksploatacyjne związane z funkcjonowaniem wodociągu**Table 2.** Data connected with waterworks functioning

Wyszczególnienie	SZW _A	SZW _B	SZW _C	SZW _D	SZW _E	SZW _F	Ogółem
Liczba zaopatrywanych mieszkańców	1920	450	510	740	1060	470	5150
Liczba zdarzeń niepożądanych	45	14	9	24	12	11	115
Przyczyny awarii w sieci wodociągowej:							
• pęknięcie	18 (40%)	9 (64%)	6 (67%)	14 (61%)	8 (67%)	7 (63%)	62 (54%)
• rozszelnienie	10 (22%)	2 (14%)	1 (11%)	3 (13%)	1 (8%)	1 (9%)	19 (16%)
• uszkodzenie mechaniczne	8 (18%)	1 (7%)	1 (11%)	2 (9%)	2 (17%)	2 (14%)	16 (14%)
• korozja	6 (13%)	1 (7%)	0	0	0	0	7 (6%)
• zamarznięcie	1 (2%)	0	1 (11%)	2 (9%)	1 (8%)	1 (9%)	6 (5%)
• inne (brak dostawy wody w wyniku złej jakości, zanieczyszczenie źródła wody)	2 (4%)	1 (7%)	0	3 (13%)	0	0	6 (5%)

przewodów. Sieć wodociągowa w rozpatrywanych systemach wodociągowych wykonana jest głównie z materiałów niekorodujących, a odnotowane awarie pojawiły się na starych odcinkach przyłączy wodociągowych. Uszkodzenia mechaniczne przewodów związane były z prowadzonymi pracami ziemnymi w pobliżu sieci wodociągowej, a niezachowanie minimalnego przykrycia przewodu sprzyjało uszkodzeniom związanym z zamarzaniem wody w przewodach.

Matrycowa metoda analizy ryzyka została przedstawiona na przykładzie aplikacyjnym:

- w wodzie przeznaczonej do spożycia odnotowano znaczące pogorszenie parametrów organoleptycznych oraz liczne niedyspozycje zdrowotne korzystających z sieci wodociągowej, przerwa w dostawie wody trwająca 18 h, przyjęta kategoria $C_{med} = 2$,
- pogorszenie parametrów organoleptycznych wody przeznaczonej do spożycia odnotowane jest przez przedsiębiorstwo wodociągowe kilka razy w roku; $P_h = 3$.

Na podstawie powyższych informacji otrzymano następującą wartość ryzyka $r_{ULS} = 6$, co odpowiada nieakceptowanemu poziomowi bezpieczeństwa (ULS). Należy podjąć działania naprawcze mające na celu zmniejszenie ryzyka do poziomu tolerowanego, poprzez np. rozbudowę systemu monitoringu lub modernizację najbardziej awaryjnych przewodów wodociągowych.

PODSUMOWANIE

1. Ryzyko jest miarą określającą poziom bezpieczeństwa systemów wodociągowych, któ-

rych głównym celem funkcjonowania jest dostarczenie konsumentom wody, w odpowiedniej ilości, pod odpowiednim ciśnieniem o odpowiedniej jakości i akceptowalnej cenie.

2. Analiza awaryjności sieci wodociągowej odgrywa ważną rolę w eksploatacji sieci wodociągowej oraz jest wyznacznikiem stanu technicznego sieci wodociągowej.
3. Za pomocą analizy ryzyka na podstawie szczegółowej analizy pracy wiejskich systemów wodociągowych można również wyznaczyć poziom bezpieczeństwa konsumentów wody, charakteryzowany poprzez wartości kryterialne dla określonych poziomów ryzyka, które powinny znaleźć się w unormowaniach prawnych.
4. Analiza ryzyka związanego z funkcjonowaniem wiejskich wodociągów przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa konsumentów, co powinno być standardem w zarządzaniu systemami zaopatrzenia w wodę. ma również na celu zwiększenie efektywności oraz innowacyjności usług wodociągowych z uwzględnieniem zasad zrównoważonego rozwoju.
5. Dużym problemem w wiejskich systemach wodociągowych jest często niedostateczna baza danych związana z występowaniem zdarzeń niepożądanych, dlatego też prowadzenie bazy uwzględniającej opis oraz klasyfikację zdarzeń niepożądanych mogłoby znacząco pomóc w analizie ryzyka.
6. Zagadnienia związane z określeniem wymaganego poziomu bezpieczeństwa funkcjonowaniem systemów wodociągowych powinny być priorytetowym zadaniem przedsiębiorstw wodociągowych.

LITERATURA

1. Baybutt P.: Using risk tolerance criteria to determine safety integrity levels for safety instrumented functions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25(6), 2012, 1000–1009.
2. Doro-on, A., *Risk Assessment for Water Infrastructure Safety and Security*, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton 2012.
3. Hrudey S.E., Hrudey E.J.: *Safe drinking water. Lessons from recent outbreaks in affluent nations*. IWA Publishing, New York 2004.
4. Johanson B.: Public Views on Drinking Water Standards as Risk Indicators. *Risk Analysis*, 28(6), 2008, 1515–1530.
5. Kochubovski, M.: Water safety in small-scale supplies and new approaches, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 12(4A), 2011, 2011–2018.
6. Lu M., Wang J.-L., Zhang H.-G.: Comprehensive safety assessment method for water supply network in urban area, *Journal of Hydraulic Engineering*, 40 (12), 2009, 1489–1494.
7. Mays L.W.: *The Role of Risk Analysis in Water Resources Engineering*. Department of Civil and Environmental Engineering. Arizona State University, Arizona 2005.
8. Mays L.W.: *Water Supply Systems Security*. McGraw-Hill Professional Engineering, Texas 2004.
9. Michaud D., Apostolakis G.E.: Methodology for ranking elements of water-supply networks. *Journal of Infrastructure Systems*, 12(4), 2006, 230–242.
10. Mitchell E.M., Gross R.E., Harris S.P.: Evaluating risk and safety integrity levels for pressure relief valves through probabilistic modeling, *Journal of Pressure Vessel Technology*, Transactions of the ASME, 135(2), 2013.
11. Ostfeld A.: Reliability analysis of water distribution systems, *Journal of Hydroinformatics*, 6(4), 2004, 281–294.
12. Pietrucha-Urbanik K.: Prioritizing water pipe renewal using fuzzy set theory, *Journal of KONBiN*, 1(33), 2015, 243–250. DOI 10.1515/jok-2015-032.
13. Rak J.: *Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę*. PAN. Lublin, 2005.
14. Rak J., Pietrucha-Urbanik K.: New directions for the protection and evolution of water supply systems – smart water supply, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, JCEEA, 62, 3/I/2015, 365–373, DOI: 10.7862/rb.2015.121.
15. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: *Czynniki ryzyka w eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2007.
16. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Matrycowe metody analizy ryzyka awarii infrastruktury komunalnej, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, JCEEA, 61(1), 2014, 233–244, DOI: 10.7862/rb.2014.16.
17. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: *Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005.
18. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B.: Review of matrix methods for risk assessment in water supply system. *Journal of KONBIN*, nr 1, 2006, 67–76.
19. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2015 poz. 1989).
20. Tchórzewska-Cieślak B.: *Metody analizy i oceny ryzyka awarii podsystemu dystrybucji wody*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2011.
21. Tchórzewska-Cieślak B.: Problematyka określania poziomu bezpieczeństwa funkcjonowania podsystemu dystrybucji wody. *Instal*, nr 7/8, 2007, 75–77.
22. Tchórzewska-Cieślak B., Szpak D.: Propozycja metody analizy i oceny bezpieczeństwa dostawy wody. *Ochrona Środowiska*, 37(3), 2015, 43–47.
23. World Health Organization, *Water Safety Plans. Managing drinking-water quality from catchment to consumer*, Water, Sanitation and Health. Protection and the Human Environment, Geneva 2005.
24. World Health Organization, *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water supplier*, Geneva 2009.