

Izabela ZIMOCH, Ewa SZYMURA

*Inżynierii Wody i Ścieków  
Politechnika Śląska*

## CZYNNIKI RYZYKA DOSTAW WODY DO KONSUMENTA

### RISK FACTORS IN DRINKING WATER SUPPLY SYSTEM

*The stability and reliability of water distribution systems is one of the important factors in ensuring public safety and the continuous operation of water supply system. In this paper risk factors of drinking water supply system reliability are presented. Authors identified two main components of water network reliability: water infrastructure failures and water quality changes. The level of water supply system reliability is determined by the risk factors based on these two components. The methodology of drinking water safety zones assessment is described.*

## 1. Wprowadzenie

System zaopatrzenia w wodę odgrywa priorytetowe znaczenie w zintegrowanej infrastrukturze miejskiej stąd też jego kwalifikacja do obiektów tzw. infrastruktury krytycznej funkcjonowania aglomeracji miejskich [1,25]. Stan elementów liniowych i urządzeń ma istotny wpływ na funkcjonowanie systemu zaopatrzenia w wodę. Podczas eksploatacji infrastruktury wodociągowej urządzenia i przewody poddawana są działaniu różnych niekorzystnych czynników, które prowadzą do chwilowej lub całkowitej utraty niezawodności. Objawami niesprawności systemu wodociągowego mogą być, występujące pojedynczo lub zbiorowo, zdarzenia, których skutki wystąpienia prowadzą do: pogorszenie jakości dostarczanej wody, stałych lub okresowych spadków ciśnienia o zasięgu lokalnym lub dzielnicowym, które powodują trudności związane z poborem wody z urządzeń wodociągowych i uruchamianiem niektórych urządzeń sanitarnych oraz braków w dostawie wody. Awaryjność urządzeń i przewodów infrastruktury wodociągowej jest jednym z czynników zmniejszających poziom niezawodności systemu dystrybucji wody. Ocena ryzyka stanowi podstawę podejmowania skutecznych działań prewencyjnych zapewniających zwiększenie poziomu bezpieczeństwa konsumentów wody. Szczególnie ważny aspekt stanowi konieczność minimalizowania prawdopodobieństwa zaistnienia zagrożenia dla zdrowia lub życia ludzkiego[1-3].

## 2. Czynniki ryzyka w systemie dystrybucji wody

Ryzyko jest miarą charakteryzującą jakość systemu zaopatrzenia w wodę definiowaną jako wskaźnik bezpieczeństwa infrastruktury wodociągowej. Przy określeniu ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę należy rozpatrzyć zdarzenia niepożądane, również te występujące w sposób incydentalny lub losowy, których skutki wpływają na funkcjonowanie systemu zaopatrzenia w wodę [1,4-7]. Bezpieczeństwo systemu zaopatrzenia w wodę rozpatrywać można w ujęciu trójplaszczynowym:

- zapewnienie bezpieczeństwa na ujęciu wody,
- zapewnienie bezpieczeństwa na stacji uzdatniania wody,
- zapewnienie bezpieczeństwa w systemie dystrybucji wody.

Niesprawność jednego z komponentów systemu zaopatrzenia w wodę powoduje obniżenie lub całkowitą utratę niezawodności systemu. Celem niniejszego artykułu jest zdefiniowanie czynników ryzyka występujących na poziomie systemu dystrybucji wody.

Podstawą właściwej polityki zarządzania infrastrukturą wodociągową jest konieczność identyfikacji czynników, jak również sposobu i zakresu ich wpływu na parametry eksploatacji i jakości wody w sieci. Czynniki ryzyka zdefiniować można jako faktor związanych z wystąpieniem zdarzenia implikującego zawodność elementów systemu dystrybucji wody i/lub wpływającego na pogorszenie parametrów fizycznych, chemicznych i mikrobiologicznych transportowanej wody. W procesie eksploatacji sieci wodociągowych wyróżnia się wiele różnorodnych czynników wpływających na zawodność funkcji pełnionych przez system dystrybucji wody [8-10]. Określenie jednoznacznego wpływu poszczególnych czynników ryzyka jest bardzo trudne, ponieważ najczęściej dochodzi do ich synergicznego współoddziaływania. Przyczyny zawodności systemu dystrybucji wody mogą pojawiać się już na etapie projektowania. Skutki błędów projektowych uwidaczniają się w procesie wykonawstwa i eksploatacji systemu, gdzie dochodzi do ich skorygowania, a nierzadko do pogłębienia. Przyczyny zawodności systemu dystrybucji wody powstające w poszczególnych fazach rozwoju infrastruktury wodociągowej zestawiono na rysunku 1 [9,11-15].

Awaryjność systemu dystrybucji jest więc skutkiem działania czynników powstających na różnych etapach tworzenia i funkcjonowania sieci wodociągowej. Czynniki te pogarszają parametry eksploatacji systemu, prowadząc do zwiększenia częstości uszkodzeń przewodów i armatury wodociągowej, jak i przerw w dostawie wody. Powtarzające się awarie systemu generują nie tylko znaczne straty ekonomiczne, ale i wzbudzają niepokój odbiorców i podważają wizerunek zarządcy systemu dystrybucji wody.

Wykluczając wpływ niesprawności ujęcia wody i stacji jej uzdatniania założono, że woda wprowadzona do sieci dystrybucyjnej odpowiada pod względem jakościowym wymaganiom dotyczącym parametrów fizycznych, chemicznych i mikrobiologicznych. Tym samym pogorszenie jakości wody w sieci wodociągowej jest przede wszystkim efektem jej wtórnego zanieczyszczenia.



Rys. 1. Przyczyny zawodności systemu dystrybucji wody [9,11-15]

Fig. 1. The causes of water distribution system failures [9,11-15]

Analizując bezpieczeństwo systemu dystrybucji wody w aspekcie wystąpienia wtórnego zanieczyszczenia wody do czynników ryzyka zaliczyć należy [6,8,10,15-17]:

- wystąpienie przepływów wstecznych przy braku bądź zawodności zadziałania zaworu antyskażeniowego,
- czynniki powodujące odrywanie się zanieczyszczeń zdeponowanych w przewodach wodociągowych bądź w strukturze biofilmu,
- końcówkowy charakter sieci, czyli wiek wody,

- nieszczelności, wycieki i awarie sieci wodociągowej (szczególnie powstałe wskutek korozji), czas trwania awarii i sposób jej naprawy,
- zdarzenia incydentalne tj. działania terrorystyczne, katastrofy chemiczne, zjawiska naturalne.

Działania podjęte w celu zapewnienia bezpieczeństwa systemu dystrybucji wody powinny koncentrować się na dwóch zasadniczych elementach procesu nadzorowania, czyli monitorowania oraz prowadzenia działań naprawczych bądź korygujących. Obecne trendy zarządzania systemem dystrybucji wody skupiają się na aplikacji ciągłości funkcjonowania poprzez strategiczne zarządzanie strefą zasilania w wodę, niż sposobach reagowania na zakłócenia w funkcjonowaniu systemu. Zrównoważona polityka zapewnienia bezpieczeństwa funkcjonowania systemu dystrybucji wody uwzględnia aspekty ciągłości dostawy wody jak i zapewnienia wymaganej jakości wody. Aspekty te obejmują zmniejszenie awaryjności sieci jak i monitoring jakości wody. Zarządzanie strategiczne powinno więc koncentrować się na podejmowaniu i realizacji działań prewencyjnych wobec prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń niepożądanych [18,19].

Monitoring systemu dystrybucji wody jest jednym z elementów ilościowej oceny systemu pod kontem niezawodności funkcjonowania, prowadzących do zapewnienia bezpieczeństwa konsumentów wody poprzez identyfikację zagrożeń opartej na wskazaniu substancji znajdującej się w wodzie i podjęciu zadań naprawczych [6,20,21]. Obowiązujące Rozporządzenie Ministra Zdrowia dotyczące jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, określa częstotliwość i zakres monitoringu. Zakres wskaźników objętych monitoringiem obejmuje parametry fizyczne i organoleptyczne (barwa, zapach, smak, mętność, przewodność, odczyn), parametry chemiczne (formy azotu, chlor wolny, suma chlorynów i chloranów, glin, mangan, żelazo) oraz parametry mikrobiologiczne (*Escherichia coli*, enterokoki, bakterie grupy coli, *Clostridium perfringens*) [22,23]. Rozporządzenie definiuje również wytyczne w zakresie wytypowania miejsc poboru próbek wody w monitoringu systemu dystrybucji wody. Miejsca pobierania próbek wody powinny być rozmieszczone równomiernie i obejmować: ujęcia wody, miejsca wprowadzania wody do sieci wodociągowej, sieć wodociągową, pompy, cysterne, punkty czerpalne z urządzeń i instalacji wodociągowych oraz z zakładów produkcji lub obrotu żywnością i wodą butelkowaną. Pomimo sprecyzowania wytycznych dotyczących usytuowania miejsc poboru próbek wody akt prawny nie podaje konkretnej metody wyboru obiektów i odcinków sieci objętych monitoringiem.

Czynnikiem ograniczającym wprowadzenie procedur zmierzających do uzyskania wymaganego poziomu niezawodności systemu są często straty ekonomiczne. Zapewnienie właściwej eksploatacji, modernizacji i rozwoju infrastruktury wodociągowej nie rzadko implikuje wysokie koszty finansowe, na które przedsiębiorstwa wodociągowe nie są w pełni przygotowane na poziomie ekonomicznym, funkcjonalnym, eksploatacyjnym, pracowniczym. Z drugiej strony przerwy w dostawie wody, czy też dostarczenie wody o obniżonych parametrach jakościowych, będzie podważać zaufania i wizerunek przedsiębiorstwa u konsumenta, a w szczególnych przypadkach implikować wydatki związane przewróceniem niezawodności systemu.

### 3. Metodyka badawcza

Metodyka badawcza opracowana została w celu klasyfikacji najmniejszej jednostki systemu dystrybucji wody, czyli punktu zakupu wody i utworzenia obszarów opisujących jednorodny poziom bezpieczeństwa. Proces kategoryzacji i wyznaczenia obszarów o niskim, średnim i wysokim prawdopodobieństwie wystąpienia zdarzeń niepożądanych na potrzeby bezpieczeństwa funkcjonowania systemu dystrybucji wody uwzględnia trzy etapy:

- wyznaczenie i określenie wielkości parametrów uwzględnionych w analizie,
- analiza danych i nacechowanie obiektu badań,
- wyznaczenie ilościowych poziomów bezpieczeństwa i kategoryzacja obiektu.

W opracowanej metodzie dla każdego parametru przyjęto wartość punktową (W) w zakresie od 0 do 1. Dla parametrów związanych z eksploatacją systemu dystrybucji wody (tj. wielkością zapotrzebowania na wodę, zużyciem wody przez mieszkańca, awaryjnością sieci, zagęszczeniem liczby mieszkańców, czasem stagnacji wody w sieci) wartość punktową przyjęto porównując wielkość parametru ( $x_i$ ) z wartością średniej arytmetycznej danego parametru wyznaczoną dla całej strefy zaopatrzenia w wodę ( $\bar{x}$ ) zgodnie z równaniem 1.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (1)$$

Wartościowanie poszczególnych parametrów przyjęto zgodnie z kwantyfikatorami zestawionymi w tabeli 1.

Tab. 1. Kwantyfikacja czynników w oparciu o wartość parametru ( $x_i$ )

Tab. 1. Quantification of the factors based on the parameter value ( $x_i$ )

Czynnik	Średnia ( $\bar{x}$ )	Wartość punktową (W)
Zapotrzebowanie na wodę dla punktu zakupu wody	1 684 m <sup>3</sup> /d	W=0 jeżeli $\bar{x} \leq x_i$ W=1 jeżeli $\bar{x} > x_i$
Zużycie wody przez mieszkańca	100 dm <sup>3</sup> /mieszkańca·d	W=0 jeżeli $\bar{x} \leq x_i$ W=1 jeżeli $\bar{x} > x_i$
Zagęszczenie liczby mieszkańców	46 mieszkańców/punkt zakupu wody	W=0 jeżeli $\bar{x} > x_i$ W=1 jeżeli $\bar{x} \leq x_i$
Stagnacja wody w sieci	6 h	W=0 jeżeli $\bar{x} > x_i$ W=1 jeżeli $\bar{x} \leq x_i$
Liczba awarii	1 uszkodzenie/rok	W=0 jeżeli $\bar{x} > x_i$ W=1 jeżeli $\bar{x} \leq x_i$

Dla pozostałych czynników ryzyka tj. odnotowanie przekroczeń dopuszczalnych parametrów jakości wody, zmiany kierunków przepływu wody w sieci, końcówkowy charakter odcinka sieci, dostępu do punktu kontrolnego, monitoring, rodzaj materiału przewodu, zdarzenia incydentalne, występowanie zbiornika sieciowego lub pompowni, obiektów usługowych i wrażliwych, wartość punktową przyjęto w zależności od występowania danego czynnika, na podstawie kwantyfikatorów zestawionych w tabeli 2.

Tab. 2. Kwantyfikacja czynników w oparciu o wystąpienie danego czynnika

Tab. 2. Quantification of the factors based on the parameter occurrence

Czynnik	Wartość punktowa (W)
Przekroczenie dopuszczalnych parametrów jakości wody	W=0 jeżeli nie odnotowano W=1 jeżeli odnotowano
Odnotowanie przez konsumentów pogorszenia parametrów organoleptycznych	W=0 jeżeli nie odnotowano W=1 jeżeli odnotowano
Możliwość wystąpienia zmian kierunku przepływu wody w sieci	W=0 jeżeli nie występuje W=1 jeżeli występuje
Końcowy charakter odcinka sieci	W=0 jeżeli nie występuje W=1 jeżeli występuje
Utrudniony dostęp do punktu kontrolnego	W=0 jeżeli nie występuje W=1 jeżeli występuje
Monitoring odcinka sieci	W=0 jeżeli występuje W=1 jeżeli nie występuje
Przestarzały rodzaj materiału sieci (np. stal, żeliwo)	W=0 jeżeli nie występuje W=1 jeżeli występuje
Występowanie zbiorników sieciowych magazynujących wodę	W=0 jeżeli nie występuje W=1 jeżeli występuje
Występowanie urządzeń do podnoszenia ciśnienia w sieci	W=0 jeżeli nie występuje W=1 jeżeli występuje
Wystąpienie zdarzeń incydentalnych	W=0 jeżeli nie występuje W=1 jeżeli występuje
Występowanie obiektów o charakterze usługowym	W=0 jeżeli nie występuje W=1 jeżeli występuje
Występowanie obiektów „wrażliwych” z punktu widzenia planów bezpieczeństwa wodnego (np. szkoła, szpital, przedszkole)	W=0 jeżeli nie występuje W=1 jeżeli występuje

Jako miarę bezpieczeństwa systemu zaopatrzenia w wodę przyjęto sumę punktów obliczoną dla każdego punktu zakupu wody. Im wyższy stopień bezpieczeństwa tym niższa suma punktów i odwrotnie, im wyższa suma punktów tym niższy stopień bezpieczeństwa. Na podstawie opracowanej metodyki sklasyfikować można obszary systemu dystrybucji wody przyjmując następującą skalę ryzyka:

- 0÷4 obszar o niskim prawdopodobieństwie wystąpienia niesprawności systemu i/lub pogorszenia jakości wody – wysoki stopień bezpieczeństwa systemu,
- 5÷8 obszar, w którym możliwe jest wystąpienie niesprawności systemu i/lub pogorszenia jakości wody – średni stopień bezpieczeństwa systemu,
- 9÷17 obszar o wysokim prawdopodobieństwie wystąpienia niesprawności systemu i/lub pogorszenia jakości wody – niski stopień bezpieczeństwa systemu.

Powyższy system wieloczynnikowej, punktowej oceny bezpieczeństwa obiektu opracowany został w oparciu o dane dotyczące analizy czynników ryzyka na rzeczywistym obiekcie.

## 4. Wyniki analizy

Analizie poddano 209 punktów zakupu wody usytuowanych w wytypowanej strefie zasilania w wodę miasta A. Sieć systemu dystrybucji miasta A znajduje się na terenie silnie zurbanizowanym i zaopatruje w wodę ponad 9,5 tys. mieszkańców. W strefie zasilania znajduje się 17 obiektów użyteczności publicznej i 55 obiektów usługowych. Odcinki sieci i zasilane przez nie budynki obciążono równymi cechami, które przyjmują wartości cechy 0 lub 1 zgodnie z przyjętymi w metodyce założeniami. W tabeli 3 zestawiono ilość punktów zakupu wody przyporządkowanych do poszczególnej kategorii bezpieczeństwa systemu.

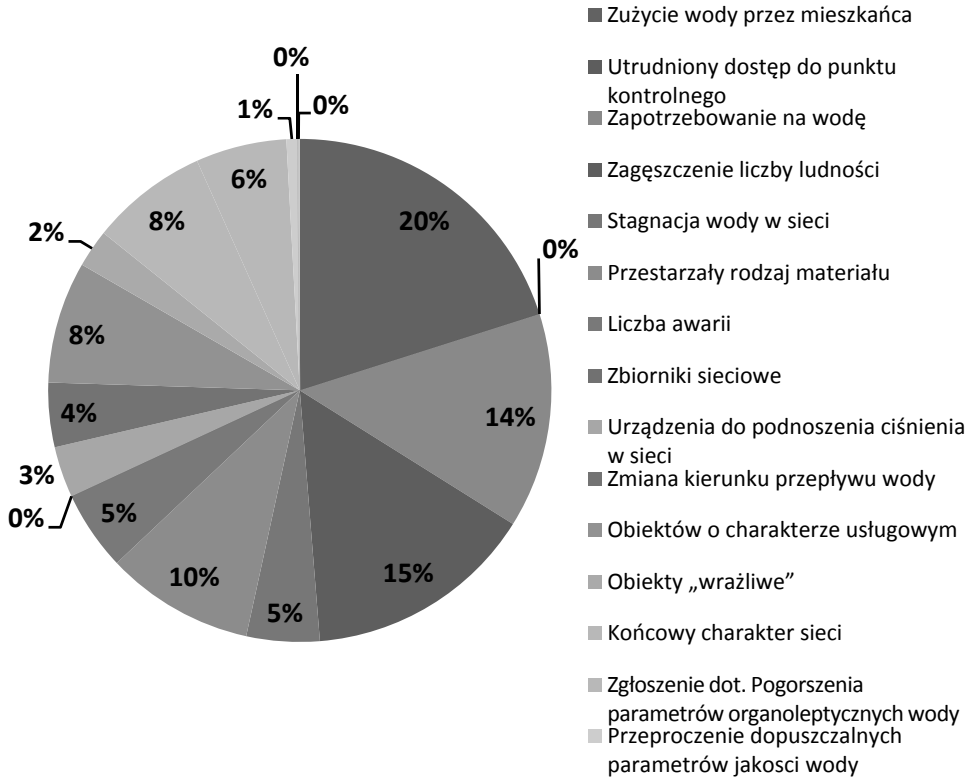
Tab. 3. *Kategoryzacja punktów zakupu wody*

Tab. 3. *Categorization of water purchase points*

Suma punktów	Liczba punktów zakupu wody	Stopień bezpieczeństwa systemu
0÷4	66	Wysoki
5÷8	120	Średni
9÷17	23	Niski

W ponad połowie nacechowanych punktów zakupu wody możliwe jest wystąpienie niesprawności systemu i/lub pogorszenia jakości wody. 66 punktów zakupu wody zaklasyfikowanych zostało jako obszar o wysokim stopniu bezpieczeństwa systemu. Wysokim prawdopodobieństwem wystąpienia niesprawności systemu i/lub pogorszenia jakości wody charakteryzuje się 11% obszaru systemu dystrybucji wody. Rysunek 2 przedstawia częstotliwość występowania poszczególnych parametrów w rozpatrywanej strefie zasilania miasta A.

Niski poziom zużycia wody przez mieszkańca był najczęściej występującym czynnikiem (20%) w strefie. Kolejnymi parametrami wpływającymi na niski poziom bezpieczeństwa systemu było silne zurbanizowanie strefy (15%) oraz niskie zapotrzebowanie na wodę (14%). Wysoka gęstość zaludnienia przy niskim zapotrzebowaniu na wodę świadczyć może o kradzieżach wody przez konsumentów bądź wyciekach i nieszczelnościach sieci wodociągowej. Przystarzały materiał przewodów mogący oddziaływać negatywnie na jakość wody odnotowano w 66 obiektach (10%). Końcowy charakter odcinka sieci i lokalizacja obiektów usługowych wystąpiły w ponad 50 punktach zakupu wody (8%), a w 41 odnotowano zgłoszenia dotyczące pogorszenia parametrów organoleptycznych wody. Czynniki związane z stagnacją wody w sieci, liczbą awarii, lokalizacja urządzenia do podnoszenia ciśnienia w bliskości punktu zakupu wody, lokalizacja obiektów „wrażliwych”, występujące sporadycznie przekroczenia dopuszczalnych parametrów jakości wody nie przekroczyły wartości 5%. W strefie nie stwierdzono wystąpienia zdarzeń incydentalnych, trudności w dostępie i lokalizacji punktów poboru próbek wody oraz występowania zbiorników sieciowych.



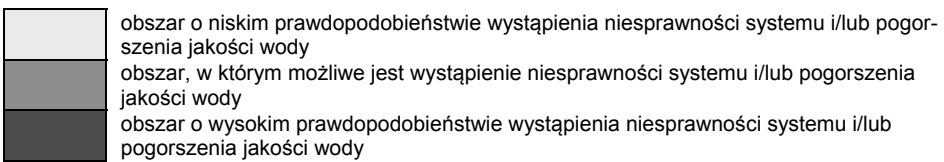
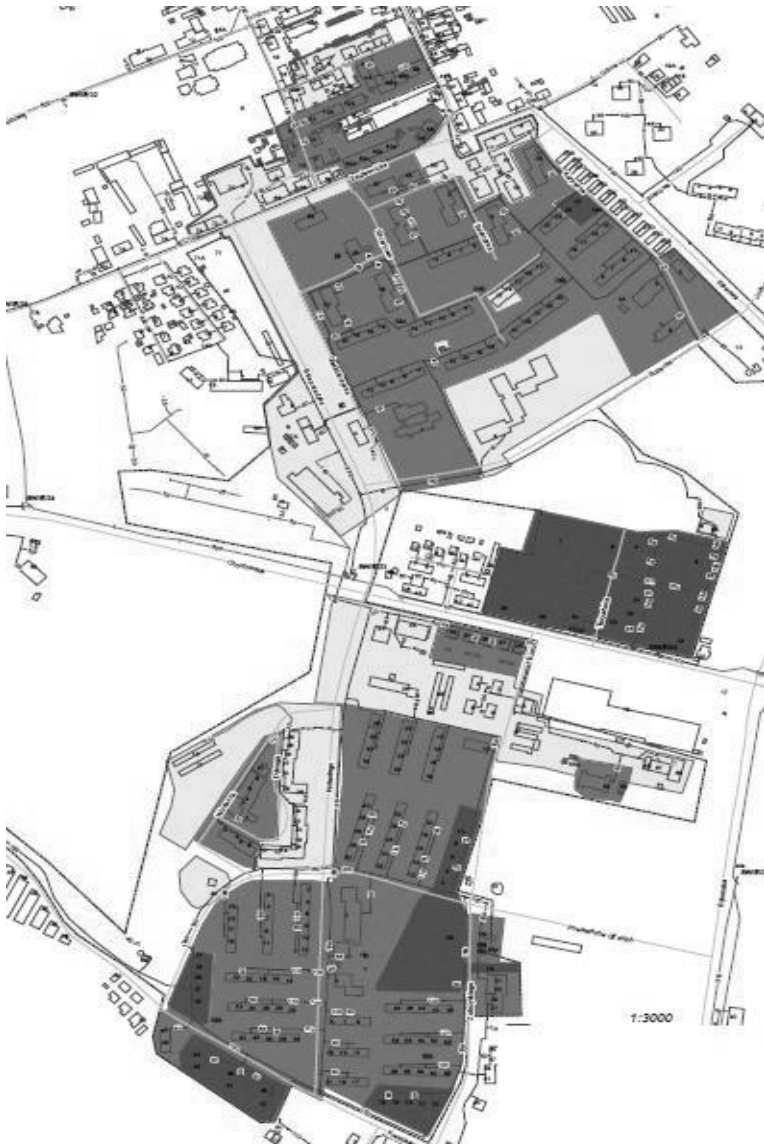
Rys. 2. Częstotliwość występowania poszczególnych parametrów w rozpatrywanej strefie zasilania

Fig. 2. Frequency of particular parameters occurrence in water supply zone

Wizualizacja stref o zróżnicowanym stopniu bezpieczeństwa systemu dystrybucji wody w układzie przestrzennym pozwala na modelowanie obszarów, w których w pierwszej kolejności należy podjąć kroki zmierzające do zapewnienia procedur bezpieczeństwa. Obszary zaklasyfikowane do poszczególnej kategorii prawdopodobieństwa wystąpienia niesprawności systemu i/lub pogorszenia jakości wody przedstawiono na rysunku 3.

Układ przestrzenny obszarów o zróżnicowanym stopniu bezpieczeństwa systemu dystrybucji wody oparty zaproponowanej metodzie stanowić może podstawę do wyznaczenia i lokalizacji miejsc poboru próbek wody w systemie monitoringu. Właściwa lokalizacja systemu monitoringu pozwala na otrzymanie reprezentatywnego obrazu jakości wody w systemie dystrybucji.





Rys. 3. Rozkład przestrzenny obszarów o zróżnicowanym stopniu bezpieczeństwa systemu

Fig. 3. Spatial distribution of different levels of water distribution system security areas

## 5. Podsumowanie

Od systemu zaopatrzenia w wodę oczekuje się, aby realizował swoje funkcje w sposób niezawodny. Zagrożenia w eksploatacji systemu dystrybucji wody oznaczają możliwość wystąpienia zdarzeń, które mogą uniemożliwić wykonywanie przez system dystrybucji wody zadań, do który został on przewidziany, tj. transport określonej ilości wody o odpowiedniej jakości i przy wymaganym ciśnieniu o każdej porze dogodnej dla użytkownika. System zaopatrzenia w wodę zarządzany przez przedsiębiorstwo wodociągowe powinien być stale udoskonalany pod względem niezawodności funkcjonowania i bezpieczeństwa jakości wody. Zadania podejmowane w celu zapewnienia bezpieczeństwa systemu powinny skupiać się na ograniczeniu, a w konsekwencji całkowitej eliminacji, czynników wpływających na zawodność systemu.

Obecnie eksploatacja układów wodociągowych prowadzona jest najczęściej metodą intuicyjną przy wykorzystaniu zebranych doświadczeń i obserwacji. Wobec złożoności problemu nie jest to jednak wystarczające podejście. Zintegrowana strategia zapewnienia bezpieczeństwa systemu dystrybucji wymaga zastosowania naukowych metod analitycznych oraz wykorzystania nowoczesnych technologii i rozwiązań. Przedstawiona metodyka przewidywania wystąpienia niesprawności systemu pozwala zaklasyfikować obszary systemu zaopatrzenia w wodę do jednej z trzech kategorii określających poziom bezpieczeństwa infrastruktury wodociągowej. Aplikowana w obiektach rzeczywistych ocena bezpieczeństwa systemu dystrybucji umożliwia prognozowanie lokalizacji wystąpienia niesprawności systemu, co pozwala zwiększyć efektywności i niezawodności działania infrastruktury wodociągowej.

*Autorki artykułu pragną złożyć podziękowania zarządowi i pracownikom Chorzowsko-Świętochłowickiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. za dotychczasową współpracę.*

## Bibliografia

- [1] Egerton, A. J. Risk Assessment Techniques in the Water Industry, Swindon: Water Research Centre, 1999.
- [2] Załęska-Radziwił, M. Badania ekotoksykologiczne w procesie ekologicznej oceny ryzyka w środowisku wodnym. Prace naukowe, Inżynieria Środowiska, z. 52, Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2007
- [3] Rak, J. Dopuszczalne ryzyko zdrowotne związane z konsumpcją wody wodociągowej. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2009, 3 12-15
- [4] Shuang, Q., Zhang, M. and Yuan, Y. Performance and Reliability Analysis of Water Distribution Systems under Cascading Failures and the Identification of Crucial Pipes. *Reliability Analysis of Water Distribution Systems*, 2014, 9(2) 1-11
- [5] Mej, N. The structure and function of complex networks. *SIAM*, 2003, 45 167-256

- [6] Brosnan, T. M. Early Warning Monitoring to Detect Hazardous Events in Water Supplies. An ILSI Risk Science Institute Workshop Report, 1999
- [7] Rak, J. Metoda szacowania ryzyka zagrożenia systemu zaopatrzenia w wodę. *Ochrona Środowiska*, 2003, 2(25) 33-36
- [8] Grayman, W.M., Clark, R.M., and Males, R.M. Modeling distribution-system water quality dynamic approach. *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, 1988, 114(3) 295-312
- [9] Kwietniewski, M. Awaryjność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce w świetle badań eksploatacyjnych. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awaryje Budowlane 2011”, Międzyzdroje, 2011, 127-140
- [10] Kwietniewski, M., Kowalska, B., Wąsowski, J., Chudzicki, J., Kowalski, D., Miszta-Kruk, K. Problematyka zarządzania jakością wody w systemach dystrybucji. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2012, 3 117-121
- [11] Rak, J. and Tchórzewska-Cieślak, B. Metoda zintegrowanej oceny ryzyka awarii w podsystemie dystrybucji wody. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2006, 1 11-15
- [12] Rak, J. Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Lublin: Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Środowiska, 2005
- [13] Rak, J.R. and Tchórzewska-Cieślak, B. Czynniki ryzyka w eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2007
- [14] Praca zbiorowa pod redakcją Kwietniewskiego, M., Tłoczka, M., Wysockiego, L. Zasady doboru rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych do budowy przewodów wodociągowych. Bydgoszcz: Izba Gospodarcza Wodociągi Polskie, 2011
- [15] Rak, J.R. and Tchórzewska-Cieślak, B. Ryzyko w eksploatacji systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę. Piaseczno: Wydawnictwo Seidel-Przywecki, 2013
- [16] Harding, B.L., and Walski, T.M., Long time-series simulation of water quality in distribution systems, *Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE*, 2000, 126 (4) 199-209
- [17] Fawell, J. and Nieuwenhuijsen, M. Contaminants in drinking water. *British Medical Bulletin*, 2003, 68 199-208
- [18] Rak, J. Sterowanie ryzykiem w wodociągach. *Wodociągi-Kanalizacja*, 2009, 2 (60) 12-15
- [19] Rak, J. Bezpieczna woda wodociągowa-Zarządzanie ryzykiem w systemie zaopatrzenia w wodę. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2009
- [20] Lee, B.H., Deininger, R.A., and Clark, R.M. Locating monitoring stations in water distribution systems. *JAWWA*, 1991, 83(7) 60-66
- [21] Tchórzewska-Cieślak, B. and Kalda, G. Analiza ryzyka systemów zaopatrzenia w wodę z uwzględnieniem bezpieczeństwa konsumentów wody. *Przemysł Chemiczny*, 2008, 5(87) 590-592
- [22] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. z 2006 r. Nr 123, poz. 858)

- [23] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dn. 20 kwietnia 2010 dotyczące jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. z 2010r. Nr 72, poz.466)
- [24] Zimoch, I., Szymura, E. Klasyfikacja stref systemu dystrybucji wody według wskaźników strat wody i awaryjności sieci. *INSTAL*, 2013, 7(8) 64-68
- [25] Rak, J. Bezpieczna woda wodociągowa-Zarządzanie ryzykiem w systemie zaopatrzenia w wodę, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2009, Rzeszów