Dawid SZPAK, Izabela PIEGDOŃ
Rzeszów University of Technology (Politechnika Rzeszowska)

IDENTIFICATION OF FAILURE CAUSES IN THE WATER SUPPLY NETWORK

Identyfikacja przyczyn awarii sieci wodociągowej

Abstract: *Water supply network is the most likely element which can fail in the whole water supply system. Failures of the water supply network often results in limitation or lack of water supply to the consumers. Identification and ranking of failure causes in terms of frequency, are the possibility to present proposals of action, related to the replacement or modernization of the water supply network. In addition, the water supply network failures were related to the main parameter important for the water consumers the time of suspended supplying in water.*

Keywords: water supply system, failure, lack of water

Streszczenie: *Sieć wodociągowa jest najbardziej podatnym na uszkodzenia elementem systemu zaopatrzenia w wodę. Awarie sieci wodociągowej często skutkują ograniczeniem lub brakiem dostawy wody do konsumentów. Wskazanie oraz uszeregowanie przyczyn awarii pod względem częstości występowania pozwala na przedstawienie propozycji działań związanych z wymianą lub modernizacją sieci wodociągowej. Ponadto awarie sieci wodociągowej powiązano z kluczowym z punktu widzenia konsumentów parametrem, czyli czasem wstrzymania dostawy wody.*

Słowa kluczowe: system zaopatrzenia w wodę, awaria, brak wody

1. Introduction

Reliability analysis of the water supply network has been the object of interest of many scientists for several decades. In Poland, the pioneers of the science of reliability and safety of collective water supply system (CWSS) were prof. A. Wieczysty from the Cracow University of Technology and prof. M. Roman from the Warsaw University of Technology. The first Polish publications about failures of water supply systems appeared in the 1970s [5]. In 1990, prof. A. Wieczysty published the work "Reliability of water and sewage systems" [9], which included many original methods of reliability analysis. M. Kwietniewski, M. Roman and H. Kłoss-Trębaczewicz in the monograph "Reliability of water and sewage systems" [4] (published in 1993) gave the definition of the water supply system reliability and paid attention to the practical use of theoretical foundations for designing of water and sewage systems. The problem of water supply systems reliability was repeatedly discussed also in later years, during periodic conferences such as the National Congress of Environmental Engineering, Winter School of Reliability or National Conference on Science and Technology "Application of reliability and safety in environmental engineering" organized by the Cracow University of Technology. In 2002, the team of A. Wieczysty, T. Lubowiecka and J. Rak carried out a detailed analysis of the current state of knowledge in the field of theories and methods for reliability assessment of water supply systems in Poland [10]. Many publications concerned the failure of water pipes. H. Hotłoś in her habilitation monograph, published in 2007, analysed the influence of selected factors, including pressure, for water pipes failures [1]. M. Kwietniewski and J. Rak in a monograph [3] published in 2010, presented very extensive research on the reliability of water supply and sewage infrastructure in Poland. They also indicated directions for further research in this field. Research on the reliability of the water supply system are also carried out now [6-8].

The concepts of reliability and safety in CWSS analysis are complementary. However, this approach in CWSS has its justification. For example failure of a water pipe, being a reason of short term supplying in water should be considered as a reliability state. For old and sick people the lack of water supply for several hours it is not only discomfort, but also due to the difficult movement (lack of the possibility to buy bottled water or use the water tank), poses a threat to their safety. The reliability analysis should include all events which can disrupt the proper functioning of the system in the given conditions. The safety analysis should concern only events that pose a threat to human health and life.

The purpose of the study was to identify the main causes of water supply network failures, in a city located in south-eastern Poland in 2010-2015. The aim

of the analysis was to identify events, occurs in the lack of water supply above 3 hours, because they are a real threat to the water consumers safety. This approach is new. The time of lack of water supply has not been included in the reliability analysis of the water supply system yet.

2. Object and research methodology

The analysis was carried out for a city located in south-eastern Poland. The city has about 37,000 inhabitants and covers an area of 36,52 km². The average daily production of treated water is about 5630 m³/d [8]. Collective water supply system of the analysed city is supplied with water by two water intakes:

- subsurface intake with a capacity of 17280 m³/d,
- groundwater intake (three drilled wells) of capacity of 348 m³/d.

Water supply network is of mixed configuration. In the city there are five local pumping stations, that raise water pressure in the network. Irregularity of water consumption is compensated by water tank with a capacity of 1800 m³. The scheme of the water supply network has been shown in fig. 1 [8].

The first stage of the work, was to assess the water supply network technical condition based on the failure rate index [1-3]:

$$\lambda = \frac{n(\Delta t)}{L \cdot \Delta t} \quad (1)$$

where:

$n(\Delta t)$ – the number of failures in the time interval Δt ,

L – the length of examined pipes in the time interval Δt [km],

Δt – considered period of time [years].

Next, the main causes of the water supply network failures in the analysed city in the years 2010-2015 were identified. The water supply network failure book was available, by the water company for the analysis. The book contained information such as: date and time of notification, location of the failure, date and time of suspension and resumption of water supply, range of failure, causes and effects of the failure. Indication and ranking of failure causes in terms of frequency, allowed to present proposals for activities related to the replacement or modernization of the water supply network.

Fig. 1. The scheme of the water supply network

In addition the water supply network failures were related to the key parameter important for water consumers, i.e. the time when the water supply was stopped. Based on operational data from 2010-2015 the probability of a specified water supply interruption was determined. The five time intervals for the lack of water were proposed:

- 0 h - no interruption of water supply, consumers do not feel any inconvenience related to the failure,
- (0 h - 3 h> - there are no significant impediments water consumers functioning, it can be assumed that 3 h is a break between meals,
- (3 h - 12 h> - there is a need to buy bottled water for consumption and to prepare meals or use of water vats (about $7,5 \text{ dm}^3/(\text{M}\cdot\text{d})$),
- (12 h - 24 h> - there is a need to buy bottled water to maintain personal hygiene and for household needs (wash the dishes, keeping the apartments clean) or to use the water vats (about $15 \text{ dm}^3/(\text{M}\cdot\text{d})$),

- (> 24 h) - there is a need to buy bottled water to maintain personal hygiene and for household needs or to use the water vats (about $30 \text{ dm}^3/(\text{M}\cdot\text{d})$).

The determination of the above ranges allowed to indicate types of failures that are associated with long-term of lack of water, and indicate failures which are not noticeable by consumers.

3. Research results

In the analysed city there are no classic water mains, which distribute water on the supply area. The failure rate index determined on the basis of formula (1) has been shown in tab. 1.

Table 1

Basic statistical characteristics for the average value of failure rate index in 2010-2015

The type of pipes	The average length of the network [km]	Average number of failures in a year [number of failures/year]	λ [failure/(km·year)]			Median	Standard deviation	Quartile	
			$\lambda_{\min}$	λ_{sr}	$\lambda_{\max}$			lower (25%)	upper (25%)
distribution pipes	144	39	0.20	0.27	0.40	0.26	0.07	0.22	0.27
household connections	60	20.17	0.23	0.34	0.50	0.29	0.12	0.26	0.43
total network	204	59.17	0.22	0.29	0.36	0.28	0.05	0.26	0.33

The results were referred to the limits values for the failure rate index, for individual types of pipes placed in [1, 3] ((ie. distribution pipes: $\lambda_R = 0.50$ failure/(km·year), household connections: $\lambda_{PD} = 1.00$ failure/(km·year). The

analysis showed that the failures of the water pipes in the analysed city meets certain requirements.

Table 2 presents the main causes of the water supply network failures of the analysed city in 2010-2015, which were selected on the basis of the failures book available in the water supply company. In addition, in table 2 percentages of failure causes and cumulative percentages were determined.

Table 2

Causes of water supply network failures of the analysed city in 2010-2015

Category	Failure	Number of failures	Percentage [%]	The cumulative values of percentages [%]
1	Leakage at the pipe connections	94	26.48	26.48
2	Damage to the water fittings	88	24.79	51.27
3	Corrosion of pipes	81	22.82	74.09
4	Crack of pipes	57	16.05	90.14
5	Leak on the band	12	3.38	93.52
6	Crack of T-fitting	11	3.10	96.62
7	Mechanical damage to pipes	7	1.97	98.59
8	Mechanical damage to the water fittings	3	0.85	99.44
9	Thawing pipes	2	0.56	100.00
	The sum	355	100	

It was found that four causes of the water supply network failures: leakage at the pipe connections, damage to the water fittings, corrosion of pipes and crack of pipes are 90.14% of all failures. To increase the water supply reliability it is necessary to limit the failures caused by the mentioned cause. The other five causes account for only 9.86% of the water supply network failures. For each reasons of the water supply network failures the classic probability of lack of water supply was determined. The results were presented in tab. 3.

Table 3

Probability of a given water supply network failure and lack of water supply

Category	Failure	The probability of a given type of failure	The probability of interruption in water supply				
			0 h	(0 h – 3 h>	(3 h – 12 h>	(12 h – 24 h>	> 24 h
1	Leakage at the pipe connections	0.265	0	0.468	0.521	0.011	0
2	Damage to the water fittings	0.248	0.523	0.250	0.227	0	0
3	Corrosion of pipes	0.228	0.062	0.333	0.543	0.062	0
4	Crack of pipes	0.160	0.035	0.491	0.456	0	0.018
5	Leakage on the band	0.034	0	0.167	0.833	0	0
6	Crack of T-fitting	0.031	0	0.091	0.909	0	0
7	Mechanical damage to pipes	0.020	0	0.571	0.429	0	0
8	Mechanical damage to the water fittings	0.008	0.667	0.333	0	0	0
9	Thawing pipes	0.006	0	1.000	0	0	0

Based on tab. 3, it was found that:

- the leakage at the pipe connections is the most often caused of lack of water supply to consumers for (0 h - 3 h> (about 47% of cases) and (3 h - 12 h> (about 52% of cases),
- damage of water fittings in about 52% did not stop the water supply to consumers and was a reason for stopping water supply to consumers for (0 h - 3 h> (about 25% of cases) and (3 h - 12 h> (about 23% of cases),
- corrosion of water pipes was the most frequent reason of suspended of water supply to consumers for (0 h - 3 h> (about 33% of cases) and (3 h - 12 h> (about 54% of cases),
- crack of pipes was the most frequent reason of suspended of water supply to consumers for (0 h - 3 h> (about 49% of cases) and (3 h - 12 h> (about 46% of cases),

- about 83% of failures caused by the leakage on the band were the reason of lack of water supply to consumers for (3 h - 12 h>),
- about 91% of failures caused by the crack of T-fitting were the reason of lack of water supply to consumers for (3 h - 12 h>),
- mechanical damage to water pipes was most often reason of lack of water supply to consumers for (0 h - 3 h> (about 57% of cases) and (3 h - 12 h> (about 43% of cases),
- mechanical damage to the water fittings in about 67% of cases did not stop the water supply to consumers and was the reason of lack of water supply to consumers for (3 h - 12 h> (about 33% of cases),
- thawing pipes in the analysed time was always the reason of lack of water supply to consumers for (0 h - 3 h> (100%).

4. Conclusions

Based on the values of the failure rate index, it was found that the water supply network is characterized by good technical condition. Four causes of the water supply network failures: leakage at the pipe connections, damage to the water fittings, corrosion of pipes and crack of pipes represents 90.14% of all failures. Leakage on the pipe connections is mainly leakages on the pipes made of gray cast iron.

The work takes into account the key parameter important for water consumers, i.e. the time of interruption of water supply. The highest probability of the lack of water supply (3h - 12h> was determined for such events: leakage at the pipe connections, corrosion of pipes, crack of pipes, leakage on the band and crack of T-fitting.

Leakage on the pipe connections is the most often cause of failure, characterized by a high probability of the lack of water supply that poses a threat to the safety of water consumers. For this reason, a water supply company should adopt a strategy for water supply network renewal, based primarily on the replacement of the oldest gray iron pipes by plastics. Excavation methods and trenchless methods (eg. relining) depending on economic and technical conditions can be used.

5. References

1. Hotłoś H.: Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacyjne sieci wodociągowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
2. Iwanek M., Kowalska B., Kowalski D., Kwietniewski M., Miszta-Kruk K., Mikołajuk P.: Wpływ różnych czynników na awaryjność sieci wodociągowej w układzie przestrzennym – studium przypadku. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury JCEEA, t. XXXII, z. 62/2015.
3. Kwietniewski M., Rak J.: Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Warszawa 2010.
4. Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trębaczewicz H.: Niezawodność wodociągów i kanalizacji, Arkady, Warszawa 1993.
5. Petrozolin W.: Uszkodzenia sieci wodociągowej w Warszawie. Przegląd Informacyjny JGK, 1/1971.
6. Piegdoń I., Tchórzewska-Cieślak B.: Seasonality of water supply network failure in the aspect of water supply safety. E3S Web of Conferences 44, 00140, 2018.
7. Pietrucha-Urbanik K., Studziński A.: Selected issues of costs and failure of pipes in an exemplary water supply system. Rocznik Ochrona Środowiska, 18(2), 2016.
8. Szpak D., Tchórzewska-Cieślak B.: Analiza awaryjności sieci wodociągowej w aspekcie bezpieczeństwa funkcjonowania infrastruktury krytycznej. CHEMIK, 68(10)/2014.
9. Wieczysty A.: Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych. Cz. I i II. Kraków, Skrypt Politechniki Krakowskiej, Kraków 1990.
10. Wieczysty A., Lubowiecka T., Rak J.: Stan aktualny i kierunki rozwoju w zakresie teorii i metod oceny niezawodności systemów wodociągowych w Polsce. Zaopatrzenie w wodę i jakość wód, PZITS O/Wielkopolski, Poznań-Gdańsk 2002.

IDENTYFIKACJA PRZYCZYN AWARII SIECI WODOCIĄGOWEJ

1. Wprowadzenie

Analiza niezawodności sieci wodociągowej jest obiektem zainteresowania naukowców od kilkudziesięciu lat. W Polsce pionierami rozwoju nauki o niezawodności i bezpieczeństwie systemu zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW) byli prof. A. Wieczysty z Politechniki Krakowskiej oraz prof. M. Roman z Politechniki Warszawskiej. Pierwsze polskie publikacje dotyczące awaryjności systemów wodociągowych pojawiły się w latach 70. XX w. [5]. W 1990 r. prof. A. Wieczysty wydał pracę „Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych” [9], w której znalazło się wiele autorskich metod analiz niezawodności. M. Kwietniewski, M. Roman oraz H. Kłoss-Trębaczewicz w monografii „Niezawodność wodociągów i kanalizacji” [4] wydanej w 1993 r. podali definicję niezawodności systemu wodociągowego oraz zwrócili szczególną uwagę na praktyczne wykorzystanie podstaw teoretycznych do projektowania systemów wodociągowych i kanalizacyjnych. Problematyka niezawodności systemów wodociągowych była wielokrotnie poruszana także w latach późniejszych, m.in. podczas cyklicznie organizowanych konferencji, takich jak Ogólnopolski Kongres Inżynierii Środowiska, Zimowa Szkoła Niezawodności czy też Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Zastosowanie niezawodności i bezpieczeństwa w inżynierii środowiska” organizowana przez ośrodek krakowski. W 2002 r. A. Wieczysty, T. Lubowiecka oraz J. Rak przeprowadzili szczegółową analizę aktualnego stanu wiedzy z zakresu teorii i metod oceny niezawodności systemów wodociągowych w Polsce [10]. Wiele publikacji dotyczyło awaryjności przewodów wodociągowych. W swojej monografii habilitacyjnej wydanej w 2007 r. H. Hotło przeanalizowała wpływ wybranych czynników, m.in. wysokości ciśnienia, na awaryjność przewodów wodociągowych [1]. M. Kwietniewski oraz J. Rak w monografii [3] wydanej w 2010 r. przedstawili bardzo szerokie badania na temat niezawodności infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce, a także wskazali kierunki dalszych badań z tego zakresu. Badania dotyczące szeroko pojętej niezawodności sieci wodociągowej są prowadzone także obecnie [6–8].

Pojęcia niezawodności (ang. *reliability*) i bezpieczeństwa (ang. *safety*) w analizach dotyczących SZZW wzajemnie się przenikają. Takie podejście w problematyce SZZW ma jednak swoje uzasadnienie. Przykładowo awarię przewodu wodociągowego będącą powodem krótkotrwałych przerw w dostawie wody należałoby rozpatrywać jako stan niezawodnościowy. Dla osób starszych oraz chorych wstrzymanie dostawy wody wodociągowej na okres od kilku do kilkunastu godzin stanowi jednak nie tylko dyskomfort, ale też ze względu na utrudnione poruszanie się (brak możliwości zakupu wody butelkowanej czy też dotarcia do beczkowszu) zagrożenie dla ich bezpieczeństwa. Analiza niezawodności powinna obejmować wszystkie zdarzenia zakłócające poprawne funkcjonowanie systemu w danych warunkach eksploatacyjnych. Z kolei analiza bezpieczeństwa powinna dotyczyć jedynie zdarzeń stanowiących zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi.

Celem pracy była identyfikacja głównych przyczyn awarii w latach 2010–2015 sieci wodociągowej miasta powiatowego zlokalizowanego w południowo-wschodniej Polsce. Analiza została przeprowadzona pod kątem wytypowania zdarzeń, które najczęściej skutkują wstrzymaniem dostawy wody na okres powyżej 3 h, czyli stanowiących faktyczne zagrożenie dla bezpieczeństwa konsumentów wody. Takie podejście stanowi nowość. Parametr czasu wstrzymania dostawy wody nie był dotychczas uwzględniany w analizie niezawodności sieci wodociągowej.

2. Obiekt i metodyka badań

Analizowane miasto liczy ok. 37 000 mieszkańców i zajmuje powierzchnię 36,52 km². Średniodobowa produkcja wody uzdatnionej wynosi ok. 5630 m³/d [8]. System zbiorowego zaopatrzenia w wodę wykorzystuje dwa ujęcia wody:

- brzegowo-przewodowe o wydajności 17 280 m³/d,
- podziemne (trzy studnie wiercone) o wydajności 348 m³/d.

Układ sieci wodociągowej jest mieszany, pierścieniowo-rozgałęźny. W mieście znajduje się pięć lokalnych hydroforni podnoszących ciśnienie wody w sieci. Nierównomierność rozbioru wody jest wyrównywana przez zbiornik sieciowy końcowy o pojemności 1800 m³. Schemat sieci wodociągowej miasta przedstawiono na rys. 1 [8].

Pierwszym etapem pracy była ocena stanu technicznego sieci wodociągowej przeprowadzona na podstawie wskaźnika intensywności uszkodzeń [1–3]:

$$\lambda = \frac{n(\Delta t)}{L \cdot \Delta t} \quad (1)$$

gdzie:

$n(\Delta t)$ – liczba uszkodzeń w przedziale czasu Δt ,

L – długość badanych przewodów w przedziale czasu Δt [km],

Δt – rozpatrywany przedział czasu [lata].

Następnie zidentyfikowano główne przyczyny awarii sieci wodociągowej w latach 2010–2015. Do analizy wykorzystano książkę awarii sieci wodociągowej udostępnioną przez przedsiębiorstwo wodociągowe, która zawierała m.in. takie informacje, jak: data i godzina zgłoszenia, lokalizacja awarii, data i godzina wstrzymania oraz wznowienia dostawy wody, zasięg awarii, przyczyny i skutki awarii. Wskazanie oraz uszeregowanie przyczyn awarii pod względem częstości występowania pozwoliło na przedstawienie propozycji działań związanych z wymianą lub modernizacją sieci wodociągowej.

Rys. 1. Schemat sieci wodociągowej

Ponadto awarie sieci wodociągowej powiązano z kluczowym z punktu widzenia konsumentów parametrem, czyli czasem wstrzymania dostawy wody. W oparciu o dane eksploatacyjne z lat 2010–2015 wyznaczono klasyczne prawdopodobieństwo wystąpienia określonej przerwy w dostawie wody. Zaproponowano wprowadzenie pięciu przedziałów czasu wstrzymania dostawy wody:

- 0 h – brak wstrzymania dostawy wody, konsumenci nie odczuwają żadnych niedogodności związanych z awarią,
- (0 h – 3 h> – nie odnotowuje się znaczących utrudnień w funkcjonowaniu konsumentów, można przyjąć, że 3 h wynosi przerwa pomiędzy posiłkami,
- (3 h – 12 h> – występuje konieczność zakupu wody butelkowanej do spożycia oraz przygotowania posiłków lub skorzystania z beczkowozów (ok. $7,5 \text{ dm}^3/(\text{M}\cdot\text{d})$),
- (12 h – 24 h> – występuje konieczność zakupu wody butelkowanej do celów utrzymania higieny osobistej oraz na potrzeby gospodarcze (mycie naczyń, utrzymanie czystości mieszkań) lub skorzystania z beczkowozów (ok. $15 \text{ dm}^3/(\text{M}\cdot\text{d})$),
- (> 24 h) – występuje konieczność zakupu wody butelkowanej do celów utrzymania higieny osobistej oraz na potrzeby gospodarcze lub skorzystania z beczkowozów (ok. $30 \text{ dm}^3/(\text{M}\cdot\text{d})$).

Określenie powyższych przedziałów pozwoliło na wskazanie typów awarii, których zajście wiąże się często z długotrwałym wyciekami wody, jak i takich, które najczęściej nie są odczuwalne dla konsumentów.

3. Wyniki badań

W analizowanym mieście nie wyróżnia się klasycznych magistral wodociągowych rozprowadzających wodę po obszarze zasilania. Wskaźnik intensywności uszkodzeń wyznaczony na podstawie wzoru (1) przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1

Podstawowe charakterystyki statystyczne dla średniej wartości intensywności uszkodzeń w latach 2010–2015

Rodzaj przewodów	Średnia długość sieci [km]	Średnia liczba awarii w roku [liczba awarii/rok]	λ [uszk/(km·rok)]			Mediana	Odchylenie standardowe	Kwartyl	
			$\lambda_{\min}$	λ_{sr}	$\lambda_{\max}$			dolny (25%)	górny (25%)
Rozdzielcze	144	39	0,20	0,27	0,40	0,26	0,07	0,22	0,27
Podłączenia domowe	60	20,17	0,23	0,34	0,50	0,29	0,12	0,26	0,43
Sieć ogółem	204	59,17	0,22	0,29	0,36	0,28	0,05	0,26	0,33

Otrzymane wyniki odniesiono do wartości granicznych wskaźników intensywności uszkodzeń dla poszczególnych rodzajów przewodów, podanych m.in. w pracach [1, 3] (tj. przewody rozdzielcze: $\lambda_R = 0,50$ uszk./(km·rok), podłączenia domowe: $\lambda_{PD} = 1,00$ uszk./(km·rok)). Przeprowadzona analiza wykazała, że awaryjność przewodów wodociągowych analizowanego miasta spełnia określone wymagania.

W tab. 2 przedstawiono główne przyczyny awarii sieci wodociągowej w latach 2010–2015, wytypowane na podstawie książki awarii udostępnionej przez przedsiębiorstwo wodociągowe. Ponadto w tab. 2 wyznaczono udziały procentowe przyczyn awarii oraz wartości skumulowane udziałów procentowych.

Tabela 2**Przyczyny awarii sieci wodociągowej analizowanego miasta w latach 2010–2015**

Kategoria	Wada	Liczba awarii	Udział procentowy	Wartości skumulowane udziałów procentowych [%]
1	Przeciek na połączeniu przewodów	94	26,48	26,48
2	Uszkodzenie armatury	88	24,79	51,27
3	Korozja przewodów	81	22,82	74,09
4	Pęknięcie przewodów	57	16,05	90,14
5	Przeciek na opasce	12	3,38	93,52
6	Pęknięcie trójnika	11	3,10	96,62
7	Uszkodzenie mechaniczne przewodów	7	1,97	98,59
8	Uszkodzenie mechaniczne armatury	3	0,85	99,44
9	Rozmrożenie przewodów	2	0,56	100,00
	Suma	355	100	

Stwierdzono, że cztery przyczyny awarii sieci wodociągowej: przeciek na połączeniu przewodów, uszkodzenie armatury, korozja przewodów oraz pęknięcie przewodów stanowią 90,14% wszystkich awarii. W celu zwiększenia niezawodności dostawy wody należy podjąć działania mające na celu ograniczenie awarii spowodowanych przez ww. przyczyny. Pozostałych pięć przyczyn odpowiada za jedynie 9,86% awarii sieci wodociągowej.

Dla poszczególnych przyczyn awarii sieci wodociągowej wyznaczono klasyczne prawdopodobieństwo wystąpienia określonej przerwy w dostawie wody, co przedstawiono w tab. 3.

Tabela 3

Prawdopodobieństwo wystąpienia danego uszkodzenia sieci wodociągowej oraz braku dostawy wody

Kategoria	Wada	Prawdopodobieństwo wystąpienia danego rodzaju uszkodzenia	Prawdopodobieństwo wystąpienia określonej przerwy w dostawie wody				
			0 h	(0 h – 3 h>	(3 h – 12 h>	(12 h – 24 h>	> 24 h
1	Przeciek na połączeniu przewodów	0,265	0	0,468	0,521	0,011	0
2	Uszkodzenie armatury (hydrant, zasuwa, odpowietrznik, odwodnienie, wodomierz, reduktor ciśnienia)	0,248	0,523	0,250	0,227	0	0
3	Korozja przewodów	0,228	0,062	0,333	0,543	0,062	0
4	Pęknięcie przewodów	0,160	0,035	0,491	0,456	0	0,018
5	Przeciek na opasce	0,034	0	0,167	0,833	0	0
6	Pęknięcie trójnika	0,031	0	0,091	0,909	0	0
7	Uszkodzenie mechaniczne przewodów	0,020	0	0,571	0,429	0	0
8	Uszkodzenie mechaniczne armatury	0,008	0,667	0,333	0	0	0
9	Rozmrożenie przewodów	0,006	0	1,000	0	0	0

Na podstawie danych z tab. 3 stwierdzono, że:

- przeciek na połączeniu przewodów był najczęściej powodem wstrzymania dostawy wody do konsumentów na okres (0 h – 3 h> (ok. 47% przypadków) oraz (3 h – 12 h> (ok. 52% przypadków),

- uszkodzenie armatury w ok. 52% przypadków nie spowodowało wstrzymania dostawy wody do konsumentów oraz było powodem wstrzymania dostawy wody do konsumentów na okres (0 h – 3 h> (ok. 25% przypadków) oraz (3 h – 12 h> (ok. 23% przypadków),
- korozja przewodów była najczęściej powodem wstrzymania dostawy wody do konsumentów na okres (0 h – 3 h> (ok. 33% przypadków) oraz (3 h – 12 h> (ok. 54% przypadków),
- pęknięcie przewodów było najczęściej powodem wstrzymania dostawy wody do konsumentów na okres (0 h – 3 h> (ok. 49% przypadków) oraz (3 h – 12 h> (ok. 46% przypadków),
- ok. 83% awarii spowodowanych przez przeciek na opasce było powodem wstrzymania dostawy wody do konsumentów na okres (3 h – 12 h>,
- ok. 91% awarii spowodowanych przez pęknięcie trójnika było powodem wstrzymania dostawy wody do konsumentów na okres (3 h – 12 h>,
- uszkodzenie mechaniczne przewodów było najczęściej powodem wstrzymania dostawy wody do konsumentów na okres (0 h – 3 h> (ok. 57% przypadków) oraz (3 h – 12 h> (ok. 43% przypadków),
- uszkodzenie mechaniczne armatury w ok. 67% przypadków nie spowodowało wstrzymania dostawy wody do konsumentów oraz było powodem wstrzymania dostawy wody do konsumentów na okres (3 h – 12 h> (ok. 33% przypadków),
- rozmrożenie przewodów w analizowanym okresie zawsze było powodem wstrzymania dostawy wody do konsumentów na okres (0 h – 3 h> (100%).

4. Wnioski

Opierając się na wartościach wskaźnika intensywności uszkodzeń stwierdzono, że sieć wodociągowa poddana analizie charakteryzuje się dobrym stanem technicznym. Cztery przyczyny awarii sieci wodociągowej: przeciek na połączeniu przewodów, uszkodzenie armatury, korozja przewodów oraz pęknięcie przewodów stanowią 90,14% wszystkich awarii. Przeciek na połączeniu przewodów to głównie nieszczelności na mufach w połączeniach kielichowych przewodów wykonanych z żeliwa szarego.

W pracy uwzględniono kluczowy z punktu widzenia konsumentów wody parametr, czyli czas wstrzymania dostawy wody. Największe wartości prawdopodobieństwa wstrzymania dostawy wody o czasie trwania (3h – 12h> wyznaczono dla takich zdarzeń jak: przeciek na połączeniu przewodów, korozja przewodów, pęknięcie przewodów, przeciek na opasce oraz pęknięcie trójnika.

Przeciek na połączeniu przewodów jest najczęstszą przyczyną awarii, jak również charakteryzuje się wysoką wartością prawdopodobieństwa wstrzymania dostawy wody stanowiącego zagrożenie dla bezpieczeństwa konsumentów wody. Z tego względu przedsiębiorstwo wodociągowe powinno przyjąć strategię odnowy sieci opartą przede wszystkim na wymianie najstarszych przewodów wykonanych z żeliwa szarego na tworzywa sztuczne. Można do tego celu wykorzystać zarówno metody wykopowe, jak i bezwykopowe (np. relining) w zależności od uwarunkowań ekonomicznych i technicznych.

5. Literatura

1. Hotłoś H.: Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacyjne sieci wodociągowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
2. Iwanek M., Kowalska B., Kowalski D., Kwietniewski M., Miszta-Kruk K., Mikołajuk P.: Wpływ różnych czynników na awaryjność sieci wodociągowej w układzie przestrzennym – studium przypadku. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury JCEEA, t. XXXII, z. 62/2015.
3. Kwietniewski M., Rak J.: Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Warszawa 2010.
4. Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trębaczewicz H.: Niezawodność wodociągów i kanalizacji, Arkady, Warszawa 1993.
5. Petrozolin W.: Uszkodzenia sieci wodociągowej w Warszawie. Przegląd Informacyjny JGK, 1/1971.
6. Piegdoń I., Tchórzewska-Cieślak B.: Seasonality of water supply network failure in the aspect of water supply safety. E3S Web of Conferences 44, 00140, 2018.
7. Pietrucha-Urbanik K., Studziński A.: Selected issues of costs and failure of pipes in an exemplary water supply system. Rocznik Ochrona Środowiska, 18(2), 2016.
8. Szpak D., Tchórzewska-Cieślak B.: Analiza awaryjności sieci wodociągowej w aspekcie bezpieczeństwa funkcjonowania infrastruktury krytycznej. CHEMIK, 68(10)/2014.
9. Wieczysty A.: Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych. Cz. I i II. Kraków, Skrypt Politechniki Krakowskiej, Kraków 1990.
10. Wieczysty A., Lubowiecka T., Rak J.: Stan aktualny i kierunki rozwoju w zakresie teorii i metod oceny niezawodności systemów wodociągowych w Polsce. Zaopatrzenie w wodę i jakość wód, PZITS O/Wielkopolski, Poznań-Gdańsk 2002.