

Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK<sup>1</sup>  
Andrzej STUDZIŃSKI<sup>2</sup>

## ANALIZA I OCENA AWARYJNOŚCI W WYBRANYM SYSTEMIE WODOCIĄGOWYM

W pracy przedstawiono analizę związaną z awaryjnością sieci wodociągowej. Określono wskaźnik intensywności uszkodzeń dla poszczególnych rodzajów przewodów magistralnych, rozdzielczych oraz przyłączy wodociągowych. Przedstawiono również charakterystykę sieci wodociągowej, jej strukturę wiekową oraz materiałową. Przeprowadzono analizę przyczyn występowania awarii oraz czasu odnowy. Zauważono, że prowadzone przedsięwzięcia inwestycyjno-modernizacyjne sieci wodociągowej w rozpatrywanym systemie wodociągowym wpłynęły na zmniejszenie się intensywności uszkodzeń. Ogólna długość sieci wodociągowej wynosiła 142,3 km, w tym 75,2 km przypadało na przewody rozdzielcze, 52,1 km stanowi długość przyłączy wodociągowych oraz 15 km to przewody magistralne. Najwięcej awarii w sieci wodociągowej odnotowano w miesiącu grudniu (161 awarii), natomiast miesiącem, w którym występowało najmniej uszkodzeń był miesiąc czerwiec (57 awarii). Głównymi przyczynami występowania awarii w mieście były korozja przewodów (40,2%) oraz pęknięcia wodociągu (29,22%). Znaczny udział miała również nieszczelność złączy, która stanowiła 18% ogółu uszkodzeń. Średnia jednostkowa intensywność uszkodzeń w analizowanym okresie wynosiła dla przewodów rozdzielczych  $0,92 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ , dla przewodów magistralnych  $0,55 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ , z kolei dla przyłączy wodociągowych  $1,00 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Najwięcej awarii usuwano w przeciągu 5-7 godzin od ich zgłoszenia.

**Słowa kluczowe:** awaryjność, intensywność uszkodzeń, sieć wodociągowa, niezawodność

### 1. Wprowadzenie

System zaopatrzenia w wodę ma za zadanie zapewnić dostawę wody w odpowiedniej ilości, pod wymaganym ciśnieniem i o odpowiedniej jakości, w dowolnej chwili czasu oraz w założonych warunkach eksploatacji. Dla odbiorcy oznacza to eliminację zdarzeń zagrażających zdrowiu lub życiu ludzi albo

<sup>1</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Katarzyna Pietrucha-Urbanik, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, tel. 17 8651703, kpiet@prz.edu.pl

<sup>2</sup> Andrzej Studziński, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, tel. 17 8651703, astud@prz.edu.pl

szczególnie wysokich strat ekonomicznych, a więc decydujące są ciągłość dostawy wody i bezpieczeństwo [11, 13]. Są one wynikiem nie tylko sprawności urządzeń i obiektów w systemie wodociągowym, wynikają również z niezawodności otoczenia, poprzez czynniki przyrodnicze oraz czynniki antropogeniczne jak zanieczyszczenia incydentalne źródeł wody, działania terrorystów, czy czynniki techniczne, np. przerwy w dostawie energii elektrycznej. Dlatego ważna jest analiza awaryjności sieci wodociągowej, zarówno z punktu widzenia odbiorcy wody, jak i przedsiębiorstwa wodociągowego, która została min. przedstawiona w pracach [1-10, 12].

Zaprezentowana analiza może posłużyć do opisywania funkcjonowania systemów wodociągowych.

## 2. Charakterystyka sieci wodociągowej

W okresie objętym analizą sieć wodociągowa ulegała ciągłej rozbudowie. W 2000 roku ogólna długość sieci wodociągowej wynosiła 72,3 km, natomiast pod koniec badanego okresu w 2014 roku długość sieci zwiększyła się o 64 km i dla przewodów magistralnych wynosiła 15 km, dla przewodów rozdzielczych 75,2 km oraz dla przyłączy wodociągowych 52,1 km. Równoległe ze wzrostem długości sieci wodociągowej zwiększyła się liczba przyłączy wodociągowych prowadzących do budynków jednorodzinnych oraz zbiorowego zamieszkania, ich długość w 2000 roku wyniosła 29 km, z kolei w 2014 roku długość przyłączy wodociągowych liczyła 52,1 km.

W analizowanym systemie wodociągowym struktura wiekowa przewodów wodociągowych według okresu eksploatacji jest następująca:

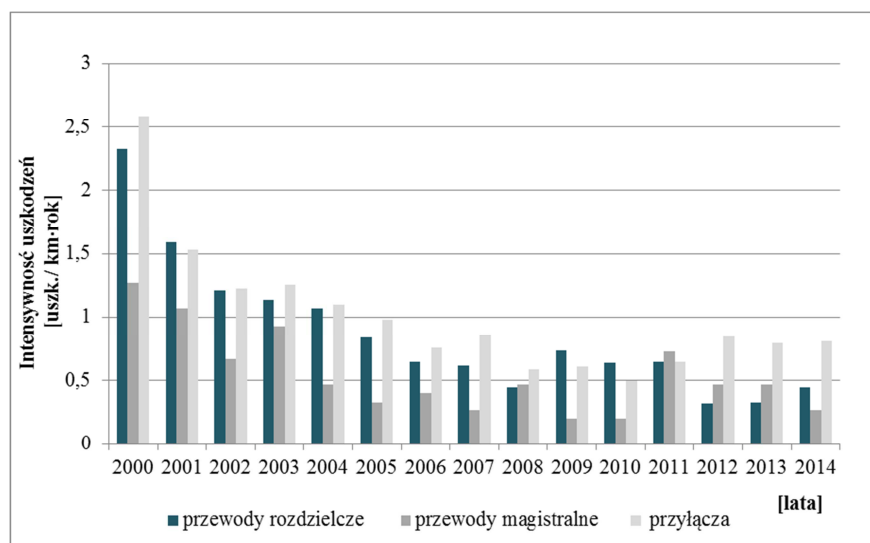
- do 10 lat – 26,7%,
- od 11 do 25 lat – 26,6%,
- powyżej 26 lat – 46,7%.

Pomimo intensywnej rozbudowy oraz wymiany starych przewodów na przewody z tworzyw sztucznych, to w strukturze sieci wodociągowej nadal duży udział mają tradycyjne materiały: żeliwo 50,3 km (35%), a także stal - 7%. Przewody wykonane z PVC stanowią 21,5 km (15%) oraz PE 60 km (42%) ogółu sieci wodociągowej.

## 3. Analiza awaryjności sieci wodociągowej

Eksploatacja sieci wodociągowej wymaga nie tylko właściwego funkcjonowania i zarządzania w odpowiedni sposób, ale również przywrócenia właściwości technicznych w wyniku wystąpienia awarii. Strategie odnowy sieci wodociągowych powinny być oparte na prowadzonych systematycznie badaniach dotyczących awaryjności. Po kilkudziesięciu latach eksploatacji można zaobserwować tendencję do zwiększania się intensywności uszkodzeń przewodów wo-

dociągowych, w takich przypadkach należy zastosować naprawę, bądź wymianę przewodów. Do oceny konieczności dokonywania przyszłej modernizacji zastosowano wskaźnik intensywności uszkodzeń [5, 6, 12], który wyznaczono jako iloraz liczby uszkodzeń do długości danego rodzaju przewodów w ciągu jednego roku, co dla badanej sieci przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Intensywność uszkodzeń poszczególnych rodzajów przewodów wodociągowych  
Fig. 1. The failure rate of different water pipes

Średnia jednostkowa intensywność uszkodzeń w okresie analizowanym dla przewodów rozdzielczych wynosiła 0,87 uszk./km·rok, dla przewodów magistralnych 0,55 uszk./km·rok oraz dla przyłączy wodociągowych 1,01 uszk./km·rok.

Dane przedstawiające intensywność uszkodzeń ukazują systematyczny spadek uszkodzeń sieci wodociągowej. Największą intensywność uszkodzeń odnotowano dla przewodów rozdzielczych oraz przyłączy wodociągowych. Wyznaczone wartości intensywności w ostatnim roku analizy nie przekroczyły wartości granicznych, dla przewodów rozdzielczych 0,45 uszk./km·rok wobec granicznej wartości 0,5 uszk./km·rok, dla przewodów magistralnych 0,27 uszk./km·rok ( $\lambda_{gr.} = 0,3$  uszk./km·rok) oraz dla przyłączy wodociągowych 0,81 uszk./km·rok ( $\lambda_{gr.} = 1,0$  uszk./km·rok) [8].

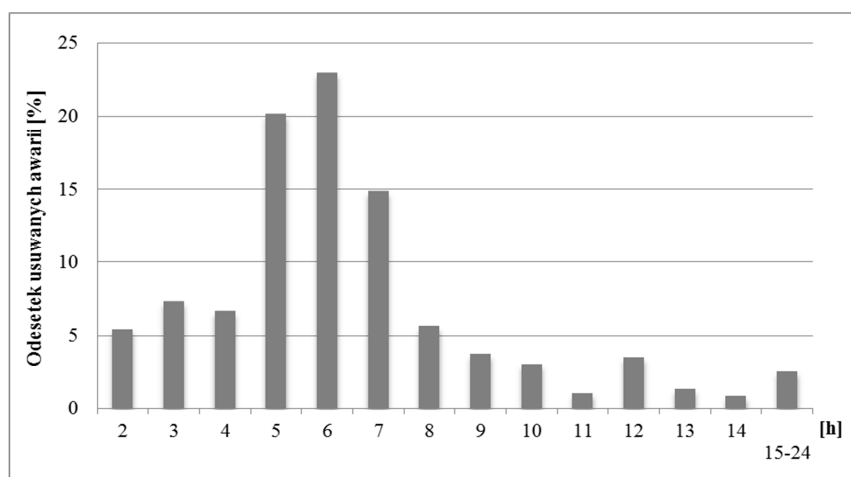
Najwięcej awarii na sieci wodociągowej odnotowano na przewodach o średnicy DN 100 w liczbie 143, gdzie czas usuwania awarii wyniósł od 2 do 22 godzin, średnio 3,8 godzin. Najmniej awarii wystąpiło na przewodach o średnicy DN 500 w liczbie 4 awarii, na których czas usuwania wyniósł od 3 do 14, średnio 8 godzin. Najdłużej trwające awarie - 24 godziny odnotowano na przewodach o średnicy DN 300 oraz DN 50 (tab. 1).

Tablica 1. Czas usuwania uszkodzeń sieci wodociągowej w zależności od średnicy w latach 2000-2014

Table 1. The removal time of the water network failure, depending on the diameter in the period 2000-2014

Średnica nominalna	Liczba awarii	Czas odnowy	
		zakres zmian	wartość średnia
DN 500	4	3-14	8,0
DN 300	23	2-24	7,7
DN 250	25	2-19	6,4
DN 200	16	3-12	6,0
DN 150	26	3-20	6,8
DN 100	143	2-22	3,8
DN 80	32	2-17	5,8
DN 65	5	2-12	6,6
DN 50	17	3-24	7,4
DN40	12	2-12	5,8
DN 32	14	3-14	5,4
DN 25	8	5-8	6,6
Razem	325	2-24	5,3

W okresie objętym analizą odnotowano 1 232 awarie, które zostały usunięte w przeciągu 1 083 godzin, największą liczbą awarii (58,1%) została usunięta w czasie od 5 do 7 godzin. Awarie usunięte w ciągu 5 godzin, stanowiły 20,2%, z kolei usunięte w przeciągu 6 godzin 23% awarii. Odnotowano również 2,6% awarii, których czas usuwania wynosił od 15 do 24 godzin (2,6%) (rys. 2).

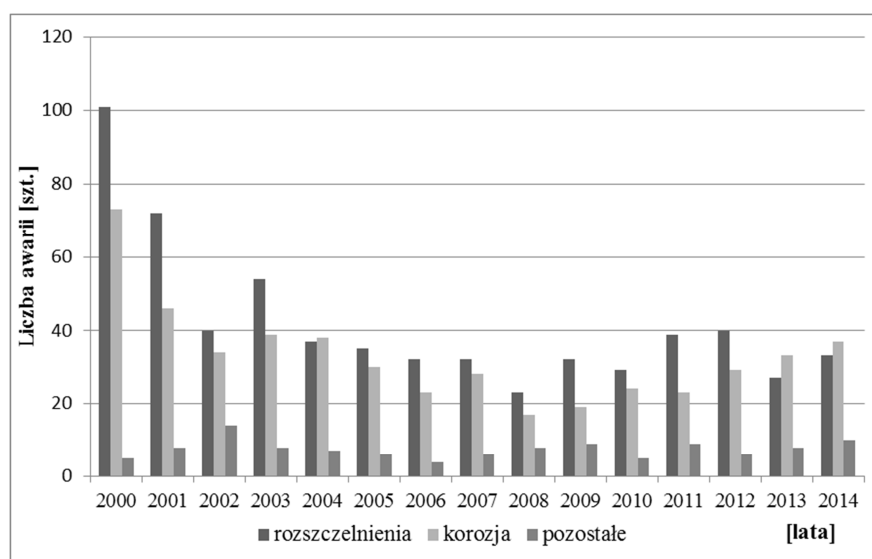


Rys. 2. Rozkład czasu usuwania awarii

Fig. 2. The removal time of failure

Biorąc pod uwagę pory roku najwięcej awarii miało miejsce w okresie jesienno-zimowym w liczbie 702, co było wynikiem przemarzania gruntu. W rozkładzie miesięcznym najwięcej awarii w sieci wodociągowej odnotowano w miesiącu grudniu (161 awarii), natomiast miesiącem, w którym występowało najmniej uszkodzeń był miesiąc czerwiec (57 awarii).

Najczęstszymi przyczynami występowania awarii były rozszczelnienia wodociągu (47,22%) (rys. 3). Znaczny udział ma również korozja, które stanowiła 40,02% przyczyn ogółu uszkodzeń. Najmniejszy udział miały uszkodzenia obejmujące 1,79%, uszkodzenia przyłączy (2,92%) oraz zasuw (3,57%).



Rys. 3. Liczba awarii na sieci wodociągowej z podziałem na rodzaj uszkodzenia

Fig. 3. Number of failures on water network in division of failure cause

Największy udział w występowaniu awarii miały rozszczelnienia oraz korozja. Na tak duży udział w występowaniu awarii spowodowanych rozszczelnieniami oraz korozją ma fakt, iż znaczna część przewodów w badanym systemie wodociągowym wykonana jest ze stali oraz żeliwa, są to najstarsze przewody, które wykazują znaczące zużycie korozyjne.

#### 4. Podsumowanie

W badanym systemie zaopatrzenia w wodę obserwuje się sukcesywny spadek intensywności uszkodzeń przewodów wodociągowych. Wynika z dwóch przyczyn: rozbudowy (w badanym okresie długość sieci przyrosła o 88,5%) i związanym z nią zmniejszeniem średniego wieku przewodów oraz postępującej wymiany najstarszych rurociągów, w wyniku której osiągnięto zmniejszenie

rocznej liczby awarii z 179 w 2000 roku do około 70 w latach 2013 i 2014. W konsekwencji prawidłowa polityka eksploatacyjna pozwoliła na osiągnięcie wartości intensywności uszkodzeń przewodów zalecane w literaturze [8].

Zauważono wyraźną sezonowość uszkodzeń, największa liczba awarii przypada na miesiące zimowe. Wśród przyczyn awarii dominują rozszczelnienia, bardzo istotnym czynnikiem jest również korozja przewodów, która dotyczy najstarszych rurociągów wykonanych z żeliwa szarego oraz stali. Ponad 80% awarii usunięto w czasie nie przekraczającym 8 h, co jest typowe w skali kraju.

Problematyka awaryjności stanowi szczególnie istotne zagadnienie w ocenie funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę, gdzie możliwe konsekwencje zdarzeń niepożądanych mogą dotyczyć zdrowia i życia odbiorców wody. Szczególnie ważny dla konsumentów wody jest aspekt jej jakości i ciągłości dostawy, jak również poważne konsekwencje może pociągać za sobą długotrwała przerwa w dostawie wody, przykładowo uniemożliwiając gaszenie pożarów. Dlatego koniecznym jest prowadzenie okresowych analiz związanych z awaryjnością rurociągów wodociągowych.

## Literatura

- [1] Hotłoś H.: Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacji sieci wodociągowych. Politechnika Wrocławska, Wrocław 2007.
- [2] Iwanek R., Leń T.: Analiza uszkodzalności sieci wodociągowej eksploatowanej przez SPGK w Sanoku, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA, t. XXXII, z. 62 (1/15), s. 153-166.
- [3] 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 (1/15), s. 167-183.
- [4] Kwietniewski M., Rak J.: Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce. Studia z Zakresu Inżynierii, nr 67. Polska Akademia Nauk, Warszawa 2010.
- [5] Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trębaczewicz H.: Niezawodność wodociągów i kanalizacji. Arkady, Warszawa 1993.
- [6] Mays W. L.: Reliability analysis of water distribution systems. American Society of Civil Engineers, New York 1989.
- [7] Pietrucha-Urbanik K.: Prioritizing water pipe renewal using fuzzy set theory Journal of KONBiN 1(33)2015, p. 243-250. DOI 10.1515/jok-2015-032.
- [8] Rak J.: Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, vol. 28. Wydawn. Drukarnia Liber Duo Kolor, Lublin 2005.
- [9] Studziński A., Pietrucha-Urbanik K., Mędrala A.: Analiza strat wody oraz awaryjności w wybranych systemach zaopatrzenia w wodę, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA, t. XXXI, z. 61 (4/14), 2014, s. 193-201. DOI:10.7862/rb.2014.144.

- [10] Tchórzewska-Cieślak B., Rak. R. J.: Propozycja nowej systematyki własności funkcjonowania systemu na przykładzie systemu zaopatrzenia w wodę. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, vol. 5, 2008, s. 20-22.
- [11] Wieczysty A.: Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę. Wydawnictwo Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Kraków 2001.
- [12] Wieczysty A., *Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych*, Politechniki Krakowskiej, Tom 1, cz. 1 i 2, Kraków 1990.
- [13] Zimoch I.: Zintegrowana metoda analizy niezawodności funkcjonowania i bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Wydaw. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.

## ANALYSIS AND ASSESSMENT OF FAILURE IN CHOSEN WATER SUPPLY SYSTEM

### Summary

The paper presents analysis of failure rate associated with the water supply network. Failure rate indicator was determined for mains, distributional and water supply connections. It also presents the characteristics of the water supply system, its age structure, material and the length of each water pipes. An analysis of water supply failure depending on the cause and the renewal time was presented. Investment and modernization of water supply network in the water supply system contributed to a decrease in the failure rate, which in the last year of the study does not exceed the criterion level. The total length of water supply network was 142.3 km, including 75.2 km for distributional, 52.1 kilometers is the length of water supply connections and 15 km is for the main. Most failures in the water supply network was recorded in the month of December (161 failure), while the month in which occurred the least failure was the month of June (57 failures). The main causes of the occurrence of a failure in the city were pipes corrosion of about 40.2% and 29.22% for water pipe rupture. For months, which was dominated by corrosion damage were the months of autumn and winter, as November and December. Significant involvement of leaking joints, which accounted for 18% of total damage. The average unit rate of failures in the reporting period amounted 0,92 uszk·km<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>, for mains 0,55 uszk·km<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>, while for water supply connections 1,00 uszk·km<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>. Most failures were removed within 5-7 hours after its submission.

**Keywords:** failure, failure rate, water network, reliability

*Przesłano do redakcji: 29.05.2015 r.*

*Przyjęto do druku: 30.10.2015 r.*

DOI: 10.7862/rb.2015.118