

Anita ZAKRZEWSKA¹ i Magdalena ŁÓJ-PILCH¹

MATERIAŁ PRZEWODÓW A ICH NIEZAWODNOŚĆ NA PRZYKŁADZIE WYBRANEJ SIECI WODOCIĄGOWEJ

CONDUITS MATERIAL AND THEIR RELIABILITY ON THE EXAMPLE OF THE SELECTED WATER DISTRIBUTION SYSTEM

Abstrakt: Z punktu widzenia teorii niezawodności sieć wodociągowa, zbudowana z bardzo wielu elementów, jest obiektem odnawialnym. Dlatego, analizując tę jej cechę, na którą wpływ ma zarówno uszkodzalność, jak i podatność na naprawę, należy wziąć pod uwagę nie tylko intensywność uszkodzeń czy czas pracy bezuszkodzeniowej, ale również intensywność czy czas odnowy. Dopiero kompleksowa analiza tych wskaźników pozwala na ocenę i porównywanie niezawodności całych sieci lub ich elementów. Na niezawodność wodociągu ma wpływ także materiał, z którego wykonane są przewody, jak również inne jego elementy, bo determinuje on rodzaj występujących uszkodzeń. Również technologia montażu i naprawy, zależna od stosowanych materiałów, wpływa na czas trwania niesprawności sieci. Analiza własności niezawodnościowych sieci wodociągowej, uwzględniająca jej strukturę materiałową, może pomóc przedsiębiorstwom wodociągowym w jej prawidłowej eksploatacji. Artykuł przedstawia wyniki takiej analizy, przeprowadzonej dla miejskiej sieci wodociągowej, na podstawie danych eksploatacyjnych udostępnionych i zweryfikowanych przez obsługujące ją przedsiębiorstwo.

Słowa kluczowe: niezawodność sieci wodociągowej, naprawialność, uszkodzalność, materiał sieci wodociągowej

Wprowadzenie

Termin „niezawodność” w języku polskim oznacza, że obiekt poddany eksploatacji będzie działał należycie tak długo, jak jest to wymagane. Niezawodność systemu, w rozumieniu technicznym, jest to zdolność do zachowania stanu dającego możliwość do pełnienia ściśle określonych funkcji, w danych warunkach bytu i użytkowania, w dowolnej chwili lub dowolnym przedziale czasu [1]. Według Roman i Kłoss-Trębaczkiwicz definicje niezawodności można dostosować do sieci wodociągowej [2]:

„Niezawodność systemu wodociągowego jest to właściwość tego systemu polegająca na zdolności do dostarczania wody do miejsc jej użytkowania w niezbędnej ilości, o odpowiedniej jakości i wymaganym ciśnieniu, o każdej porze dogodnej dla użytkownika, w określonych warunkach istnienia i eksploatacji systemu w ciągu złożonego czasu eksploatacji.”

Podana powyżej, opisowa definicja niezawodności nie pozwala na ilościową ocenę zdatości obiektu [3]. W celu ilościowego opisu uszkodzalności i naprawialności stosuje się różne miary niezawodności. Dla obiektów odnawialnych, jakimi są przewody wodociągowe, najczęściej wykorzystuje się:

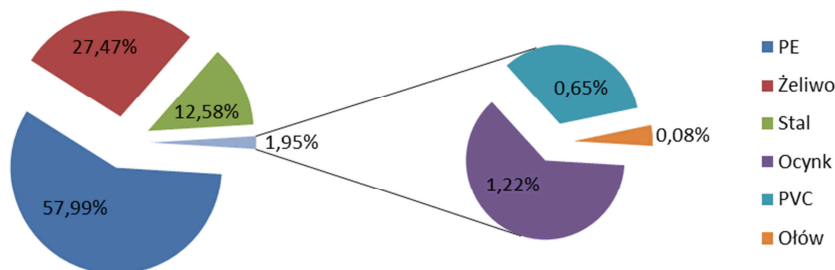
- miary uszkodzalności: prawdopodobieństwo pracy bezuszkodzeniowej $R(t)$, parametr strumienia uszkodzeń $\alpha(t)$ lub intensywność uszkodzeń $\lambda(t)$, średni czas pracy T_p ,
- miary naprawialności: średni czas odnowy T_o , prawdopodobieństwo odnowy $P_o(t)$, intensywność odnowy $\mu(t)$,
- miary kompleksowe: wskaźnik gotowości $K_g(t)$.

¹ Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Politechnika Śląska, ul. S. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice, email: magdalena.loy-pilch@polsl.pl

Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole' 17, Polanica Zdrój, 4-7.10.2017

Struktura materiałowa badanej sieci

Badania przeprowadzono dla miejskiej sieci wodociągowej wykonanej głównie z PE, żeliwa, stali, stali ocynkowanej (przyłącza) i PVC. Sieć o długości 814 km zasila w wodę około 200 tysięcy mieszkańców miasta oraz kilku sąsiednich gmin. Analizie poddano 718,10 kilometrów sieci, a jej strukturę materiałową pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Udział procentowy długości sieci wodociągowej dla poszczególnych materiałów

Fig. 1. Percentage share of water supply network for individual materials

Metodyka badań niezawodnościowych

Analizę niezawodnościową przeprowadzono na podstawie danych eksploatacyjnych, dostarczonych przez przedsiębiorstwo wodociągowe, obejmujących okres od 1.02.2010 r. do 30.04.2016 r. Dostarczone materiały zawierały informacje o średnicy i materiale uszkodzonego rurociągu, przypuszczalnej przyczynie awarii, terminie zgłoszenia, rejestracji oraz usunięcia awarii, sposobie naprawy oraz lokalizacji zdarzenia.

Wyznaczono następujące miary niezawodności [4-6]:

- jednostkową intensywność uszkodzeń λ^* [$1/(\text{km} \cdot \text{rok})$]

$$\lambda^* = n / (L \cdot \Delta t) \quad (1)$$

gdzie: n - liczba uszkodzeń w okresie czasu Δt , L - długość przewodu, Δt - okres, w którym powstało n uszkodzeń,

- średni czas odnowy T_o [d]

Powyższą analizę przeprowadzono dla każdego z typu przewodów ze względu na:

- strukturę materiałową,
- strukturę materiałową z uwzględnieniem średnic,
- strukturę materiałową z uwzględnieniem przyczyny awarii.

Omówienie wyników

Tradycyjnie stosowane materiały, takie jak żeliwo szare i stal, charakteryzują się zdecydowanie wyższą awaryjnością niż materiały termoplastyczne, np. PE i PVC (tab. 1), czy żeliwo sferoidalne [7-10]. Analizowana sieć jest stale modernizowana i obecnie w ok. 58% zbudowana jest z rur polietylenowych. Często podczas usuwania awarii powstających na przewodach wykonanych z materiałów tradycyjnych stare rury są

wymieniane na nowe, z materiałów termoplastycznych lub żeliwa sferoidalnego, w zależności od funkcji przewodu [11, 12].

Tabela 1

Jednostkowa intensywność uszkodzeń analizowanej sieci w zależności od materiału

Table 1

Failure rate of analyzed water supply system depending on the material

Materiał	Długość [km]	Liczba uszkodzeń n	Jednostkowa intensywność uszkodzeń λ^* [1/(km · rok)]
PE	416,46	478,00	0,18
Żeliwo	197,28	491,00	0,39
Stal	90,33	751,00	1,31
Stal ocynkowana	8,74	661,00	11,94
PVC	4,69	9,00	0,30
Ołów	0,60	135,00	35,60
Suma	718,10	2525,00	0,56

Ponieważ przewody magistralne, sieci rozdzielcze i przyłącza wodociągowe pracują w zupełnie odmiennych warunkach hydraulicznych, dlatego wskaźnik ten wyznaczono dla przewodów podzielonych ze względu na funkcję przewodu (tab. 2).

Tabela 2

Jednostkowa intensywność uszkodzeń w zależności od funkcji przewodu

Table 2

Failure rate depending on the function of pipe

Funkcja przewodu	Jednostkowa intensywność uszkodzeń λ^* [1/(km · rok)]
Magistrala	0,252
Sieć rozdzielcza	0,369
Przyłącza wodociągowe	0,942

Żeby zaobserwować zmianę, w okresie obserwacji policzono wskaźnik dla każdego roku z analizowanego okresu w zależności od funkcji przewodu i materiału, z jakiego został wykonany (tab. 3, rys. 2, 3).

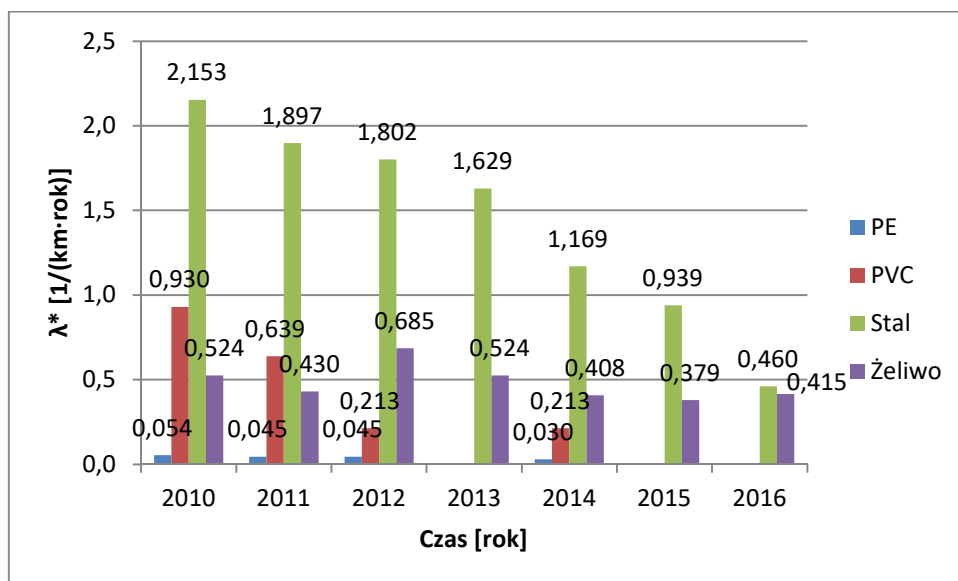
Tabela 3

Jednostkowa intensywność uszkodzeń przyłączy wodociągowych w zależności od materiału w latach 2010-2016

Table 3

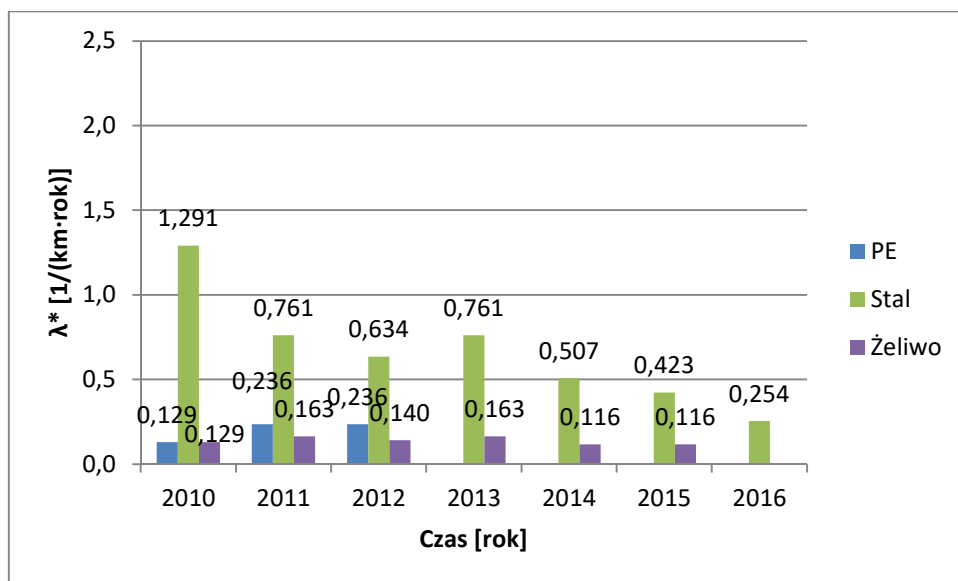
Failure rate service pipe depending on the material in the years 2010-2016

Materiał	Jednostkowa intensywność uszkodzeń λ^* [1/(km · rok)]						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
PE	0,257	0,347	0,501	0,275	0,313	0,241	0,289
Żeliwo	0,450	0,471	0,471	0,059	0,589	0,118	0,530
Stal	2,182	1,656	2,414	1,587	1,173	1,242	0,621
Stal ocynkowana	17,739	17,080	17,314	9,593	8,423	5,966	8,072
Ołów	51,004	41,745	66,791	38,405	33,396	13,358	5,009



Rys. 2. Jednostkowa intensywność uszkodzeń przewodów sieci rozdzielczej w zależności od materiału

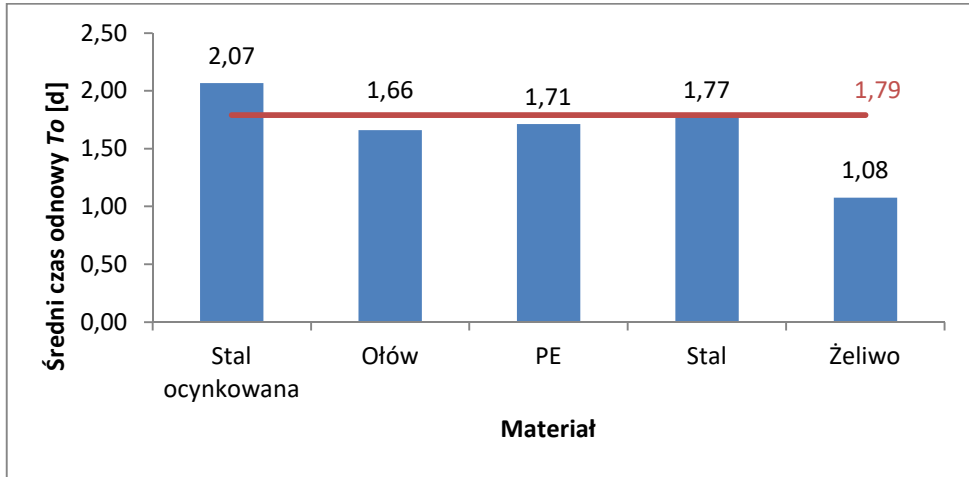
Fig. 2. Failure rate distributing pipe depending on the material



Rys. 3. Jednostkowa intensywność uszkodzeń przewodów magistralnych w zależności od materiału

Fig. 3. Failure rate common main depending on the material

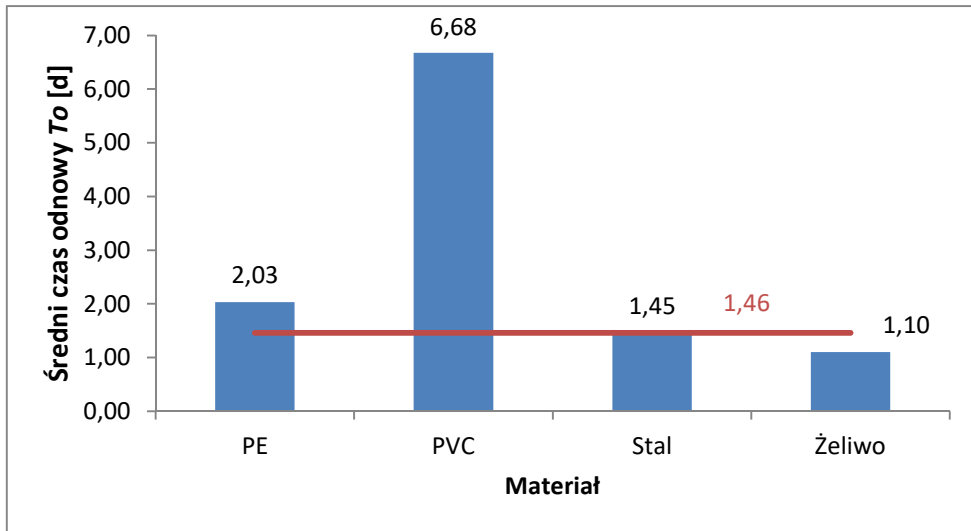
Od 2013 roku w magistrali wykonanej z PE nie wystąpiły awarie. Świadczy to bardzo dobrym stanie technicznym przewodów magistralnych wykonanych z tego materiału.



Rys. 4. Średni czas odnowy dla przyłączy wodociągowych w zależności od materiału

Fig. 4. Mean recovery time for service pipe depending on the material

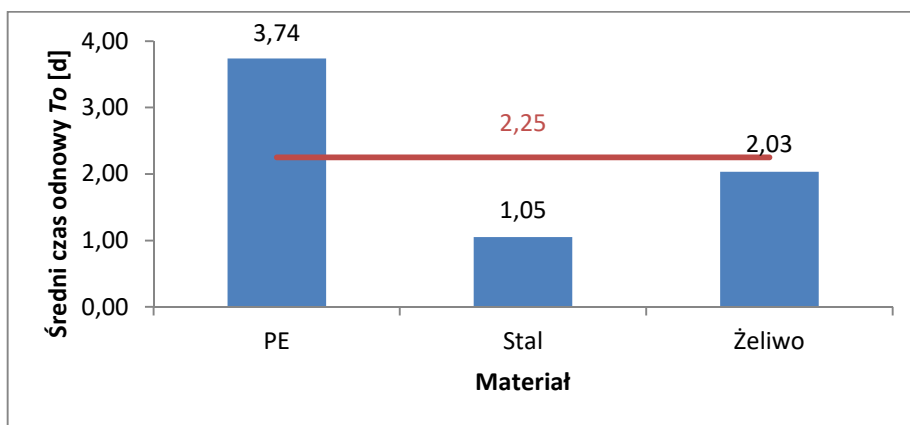
Materiał, z jakiego zostały wykonane przyłącza wodociągowe, ma zazwyczaj niewielki wpływ na średni czas odnowy dla przyłączy wodociągowych. Świadczą o tym zbliżone do siebie czasy odnowy przewodów wykonanych z różnych materiałów (rys. 4).



Rys. 5. Średni czas odnowy dla przewodów sieci rozdzielczej w zależności od materiału

Fig. 5. Mean recovery time for distributing pipe depending on the material

Średni czas odnowy, powyżej wartości średniej, dla przewodów wykonanych z PVC spowodowany jest pojedynczym długim czasem naprawy (ok. 33 dni) uszkodzonego przewodu, wynikającego z nieszczelności kielicha (rys. 5). Strata wody dla tego typu awarii jest stosunkowo niewielka w porównaniu do innych uszkodzeń występujących na tego typu przewodach. Ponadto rurociąg znajdował się na terenie posesji, a możliwość pracy z wykorzystaniem sprzętu była ograniczona. Pojedyncza awaria ma duży wpływ na wydłużenie średniego czasu odnowy ze względu na niewielką liczbę odnow dla tego materiału.



Rys. 6. Średni czas odnowy dla przewodów sieci magistralnej w zależności od materiału

Fig. 6. Mean recovery time for common main depending on the material

Czas odnowy powyżej wartości średniej dla przewodów sieci magistralnej wykonanych z PE spowodowany jest pojedynczym długim czasem odnowy (ok. 15 dni) (rys. 6). Nie jest to awaria rozumiana jako przyczyna straty wody. Prawdopodobnie data zgłoszenia jest w tym przypadku terminem zasygnalizowania przez dział monitoringu braku wymaganego opomiarowania na tym fragmencie przewodu.

Wnioski

- Biorąc pod uwagę jednostkową intensywność uszkodzeń i klasyfikację Kwietniewskiego [13], określono, że magistrale wodociągowe i sieć rozdzielcza charakteryzują się średnią awaryjnością, a przyłącza wodociągowe dużą awaryjnością.
- Dla każdego typu przewodów, w analizowanym okresie, odnotowano spadek wskaźnika jednostkowej intensywności uszkodzeń.
- Bez względu na rodzaj funkcji pełnionej przez przewód wodociągowy przewody wykonane z PE charakteryzują się najmniejszą jednostkową intensywnością uszkodzeń.
- Średnie czasy odnowy wszystkich typów przewodów w analizowanej sieci przyjmują niskie wartości.

Literatura

- [1] Bajer J, Iwanejko R, Kapcia J. Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych w zadaniach. Kraków: Wyd. Politechniki Krakowskiej; 2006. ISBN: 8372424071.
- [2] Kloss H, Roman M. Ogólne problemy niezawodności systemów wodociągowych i kanalizacyjnych. *Gaz Woda Techn Sanit.* 1974;48:302-304.
- [3] Ostfeld A. Reliability analysis of regional water distribution systems. *Urban Water.* 2001;3(4):253-260. DOI: 10.1016/S1462-0758(01)00035-8.
- [4] Kwietniewski M. Metodyka badań eksploatacyjnych sieci wodociągowych pod kątem niezawodności dostawy wody do odbiorców. *Prace Nauk „Inżynieria Środowiska”.* Z. 28. Warszawa: Ofic Wyd Politechniki Warszawskiej; 1999.
- [5] Dell’Orfano F, Esposito V, Gualtieri P, Pulci Doria G. Mean values of water pipe breakage rates around the world and in geographical areas. *Water Sci Technol. Water Supply.* 2014;14(5):766-777. DOI: 10.2166/ws.2014.031.
- [6] Tabesh M, Soltani J, Farmani R, Savic D. Assessing pipe failure rate and mechanical reliability of water distribution networks using data-driven modelling. *J Hydroinformatics.* 2009;11(1):1-17. DOI: 10.2166/hydro.2009.008.
- [7] Miszta-Kruk K. Reliability and material failure analysis of water and wastewater systems: Case studies. *Handbook of Materials Failure Analysis with Case Studies from the Chemicals, Concrete and Power Industries;* 2015; 217-242. DOI: 10.1016/B978-0-08-100116-5.00009-0.
- [8] Berardi L, Glustolisi O, Kapelan Z, Savic DA. Development of pipe deterioration models for water distribution systems using EPR. *J Hydroinformatics.* 2008;10(2):113-126. DOI: 10.2166/hydro.2008.012.
- [9] Nishiyama M, Filion Y. Forecasting breaks in cast iron water mains in the city of Kingston with an artificial neural network model. *Can J Civil Eng.* 2014; 41(10):918-923. DOI: 10.1139/cjce-2014-0114.
- [10] Fahmy M, Moselhi O. Forecasting the remaining useful life of cast iron water mains. *J Performance Constructed Facilit.* 2009;4(23):269-275. DOI: 10.1061/(ASCE)0887-3828(2009)23:4(269).
- [11] Kowalski D, Miszta-Kruk K. Failure of water supply networks in selected Polish towns based on the field reliability tests. *Eng Failure Analysis.* 2013;35:736-742. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2013.07.017.
- [12] Kim ES, Baek CW, Kim JH. Estimate of pipe deterioration and optimal scheduling of rehabilitation. *Water Sci Technol. Water Supply.* 2005;5(2):39-46. https://www.researchgate.net/publication/256762167_Estimate_of_pipe_deterioration_and_optimal_scheduling_of_rehabilitation.
- [13] Kwietniewski M. Awaryjność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce w świetle badań eksploatacyjnych. XXV Konf nauk-techn „Awarie budowlane 2011”. Międzyzdroje. http://www.awarie.zut.edu.pl/files/ab2011/referaty/T1_01_Referaty_plenarne/07_Kwietniewski_M_Awaryjnosc_infrastruktury_wodociagowej_i_kanalizacyjnej_w_Polsce_w_swietle_badan_eksploatacyjnych.pdf.

CONDUITS MATERIAL AND THEIR RELIABILITY ON THE EXAMPLE OF THE SELECTED WATER DISTRIBUTION SYSTEM

Institute of Water and Wastewater Engineering, Silesian University of Technology, Gliwice

Abstract: From the point of view of reliability theory the water distribution system, built of many components, is a renewable object. Therefore, when analyzing the feature that is affected by both the failure and the reparability, it is important to consider not only the failure rate or the mean time to failure but also the intensity or mean time to repair. Only a comprehensive analysis of these indicators would enable to evaluate and compare the reliability of the entire water supply system or their components. The reliability of the water supply is also influenced by the materials used for water conduit and other elements because they determine the type of damage occurring. Furthermore, the installation and repair technology, which depend on the materials used, affects the duration of the water pipe malfunction. Analyzing the reliability of the water conduit, taking into account its material structure, can help water companies in proper maintaining the water distribution system. This article presents the results of analysis for municipal water supply system, based on operational data verified by the water company.

Keywords: water supply reliability, material of water supply, failure, reparability