

Analiza awaryjności sieci wodociągowej w aspekcie bezpieczeństwa funkcjonowania infrastruktury krytycznej

Dawid SZPAK* – Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Barbara TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK – Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2014, 68, 10, 862–867

Wstęp

System zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW) wg Ustawy [10] o zarządzaniu kryzysowym, należy do infrastruktury krytycznej. Ochrona infrastruktury krytycznej polega na zapewnieniu ciągłości funkcjonowania oraz szybkim odtworzeniu w razie wystąpienia awarii lub innego zdarzenia niepożądanego. Informacje na temat sposobów wyznaczania oraz planów ochrony infrastruktury krytycznej podaje Dyrektywa [3].

System zbiorowego zaopatrzenia w wodę powinien charakteryzować się wymaganym poziomem bezpieczeństwa rozumianym jako odporność systemu na zagrożenia. W skład SZZW wchodzi [11]:

- podsystem dostarczania wody
 - podsystem ujmowania wody
 - podsystem uzdatniania wody
 - podsystem przesyłania wody
- podsystem gromadzenia wody
- podsystem dystrybucji wody
 - sieć wodociągowa
 - instalacje wodociągowe.

Najbardziej podatna na uszkodzenia jest sieć wodociągowa, natomiast najmniejszą awaryjnością charakteryzuje się podsystem gromadzenia wody [2]. Do właściwej oceny zdarzenia niepożądanego potrzebna jest pełna jego charakterystyka, uwzględniająca m.in. przyczynę wystąpienia, czas trwania awarii oraz jej skutki [12].

Głównym celem pracy jest analiza oraz ocena awaryjności sieci wodociągowej pod kątem bezpieczeństwa funkcjonowania SZZW. Analizę przeprowadzono na przykładzie SZZW miasta Jasła.

Charakterystyka SZZW miasta Jasła

Jasło jest to miasto powiatowe położone w południowo – wschodniej części Polski, w województwie podkarpackim. W 2012 r. miasto liczyło 36,52 km² i było zamieszkiwane przez 36 709 mieszkańców [7]. Miasto Jasło jest zaopatrywane w wodę z ujęcia głównego brzegowo-przewodowego o wydajności 17 280 m³/d, oraz ujęcia rezerwowego podziemnego o wydajności 348 m³/d. W mieście znajdują się dwa sieciowe zbiorniki końcowe o pojemności 900 m³ każdy oraz dwa zbiorniki początkowe o łącznej pojemności 5000 m³. Sieć wodociągowa wykonana została w układzie mieszanym. W mieście znajduje się pięć lokalnych hydroforni podnoszących ciśnienie wody w sieci. Strukturę materiałową sieci wodociągowej miasta Jasła w latach 2009–2013 przedstawiono w Tabelcy 1.

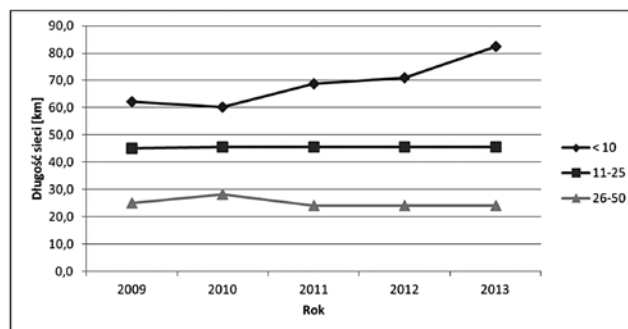
Największy przyrost długości sieci wyniósł 11,4 km w latach 2012–2013 dla sieci rozdzielczej. Zwraca uwagę blisko 50% udział przewodów wykonanych z PE w całej długości sieci w każdym analizowanym roku oraz około 89% udział tworzyw sztucznych w całej długości sieci w 2013 r.

Tabelca I

Struktura materiałowa sieci wodociągowej rozdzielczej miasta Jasła w latach 2009–2013

Rok	Długość sieci wodociągowej, km					Suma
	Żeliwo szare	Stal	AC	PVC	PE	
2009	31,8	21,2	0,8	13,2	65,4	132,4
2010	8,8	5,4	0,8	55,5	63,4	133,9
2011	6,7	18,8	0,8	44,6	67,5	138,4
2012	6,7	18,8	0,8	44,6	69,7	140,6
2013	6,4	9,8	0,8	52,5	82,5	152,0

Na Rysunku 1 przedstawiono wiek przewodów wodociągowych miasta Jasła w latach 2009–2013.



Rys. 1. Wiek przewodów wodociągowych miasta Jasła w latach 2009–2013

Zauważa się spadek długości przewodów o okresie eksploatacji powyżej 25 lat oraz znaczny wzrost przewodów w wieku do 10 lat związany z rozbudową sieci.

Analiza i ocena awaryjności sieci wodociągowej

Analizę stanu technicznego sieci wodociągowej przeprowadzono na podstawie wskaźnika intensywności uszkodzeń wg wzoru [5]:

$$\lambda = \frac{n(\Delta t)}{L \cdot \Delta t}, \text{uszk} / \text{km} \cdot \text{a} \quad (1)$$

gdzie:

$n(\Delta t)$ – liczba uszkodzeń w przedziale czasu Δt
 L – długość badanych przewodów w przedziale czasu Δt , km
 Δt – rozpatrywany przedział czasu, lata.

Wyznaczono wskaźnik intensywności uszkodzeń dla przewodów rozdzielczych i podłączeń domowych. W Jasle nie klasyfikuje się typowych magistrali wodociągowych. Wskaźnik intensywności uszkodzeń wyznaczony na podstawie wzoru nr 1 przedstawiono w Tabelcy 2.

Autor do korespondencji:

Mgr inż. Dawid SZPAK, e-mail: dsz@prz.edu.pl

Tablica 2

Wskaźnik intensywności uszkodzeń λ uszk/km·a dla przewodów rozdzielczych i podłączeń domowych w latach 2009–2013

Rok	Wskaźnik intensywności uszkodzeń λ , uszk/km·a		
	Przewody Rozdzielcze	Podłączenia domowe	Sieć ogółem
2009	0,28	0,23	0,27
2010	0,20	0,47	0,28
2011	0,27	0,30	0,28
2012	0,27	0,50	0,34
2013	0,25	0,25	0,25

Otrzymane wyniki odniesiono do wartości granicznych wskaźników intensywności uszkodzeń dla poszczególnych rodzajów przewodów podanych w pracach [1, 8, 9]:

- przewody rozdzielcze: $\lambda = 0,5$ uszk/km·a
- podłączenia domowe: $\lambda = 1,0$ uszk/km·a.

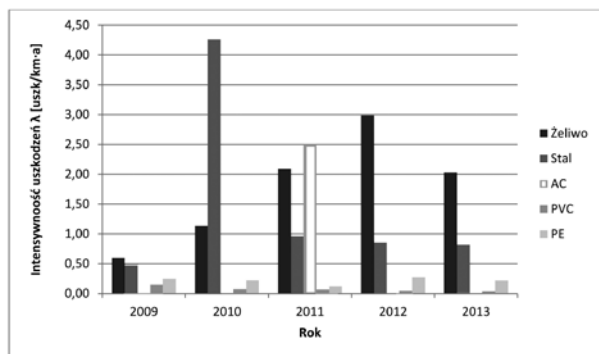
Przeprowadzona analiza wykazała, że awaryjność przewodów wodociągowych miasta Jasła spełnia powyższe wymagania. Intensywność uszkodzeń przewodów rozdzielczych osiągnęła maksymalną wartość w 2009 r. $\lambda = 0,28$ uszk/km·a, a więc znacznie mniej niż zalecana wartość $\lambda = 0,5$ uszk/km·a. Podobnie intensywność uszkodzeń podłączeń domowych jest znacznie niższa niż zalecana wartość $\lambda = 1,0$ uszk/km·a i wynosiła maksymalnie $\lambda = 0,50$ uszk/km·a w 2012 r. Zauważa się, że przewody podłączeń domowych charakteryzują się przeciętnie większą intensywnością uszkodzeń niż przewody rozdzielcze. Pokrywa się to z prowadzonymi dotychczas badaniami awaryjności sieci wodociągowych [4]. W Tablicy 3 przedstawiono podstawowe charakterystyki statystyczne dla średniej wartości intensywności uszkodzeń w latach 2009–2013.

Tablica 3

Podstawowe charakterystyki statystyczne dla średniej wartości intensywności uszkodzeń w latach 2009–2013

Rodzaj przewodów	Średnia długość sieci, km	Średnia liczba awarii w roku, liczba awarii/a	λ , uszk/km·a			Me-diana	Odchylenie standardowe	Kwartyl	
			λ_{min}	λ_{sr}	λ_{max}			dolny (25%)	górnny (25%)
Rozdzielcze	139,46	35,6	0,20	0,25	0,28	0,27	0,032	0,25	0,27
Podłączenia domowe	60	21	0,23	0,35	0,50	0,30	0,126	0,25	0,47

Wskaźnik intensywności uszkodzeń, w zależności od materiału wykorzystanego do budowy sieci wodociągowej, przedstawiono na Rysunku 2.



Rys. 2. Wskaźnik intensywności uszkodzeń w zależności od materiału użytego do budowy sieci wodociągowej w latach 2009–2013

Stwierdzono, że najmniejszą intensywnością uszkodzeń charakteryzowały się przewody wykonane z PVC – $\lambda_{max} = 0,15$ uszk/km·a oraz PE – $\lambda_{max} = 0,27$ uszk/km·a. Zwraca uwagę duża intensywność uszkodzeń przewodów wykonanych z żeliwa szarego, stali oraz w 2011 r. z AC.

Otrzymane wartości wskaźników intensywności uszkodzeń porównano ze średnimi wartościami wskaźników intensywności uszkodzeń otrzymanymi na podstawie wieloletnich badań podanych w [5]. Średnia intensywność uszkodzeń wynosi:

- dla żeliwa szarego: $\lambda = 0,48$ uszk/km·a
- dla stali: $\lambda = 0,55$ uszk/km·a
- dla AC: $\lambda = 0,37$ uszk/km·a
- dla PVC: $\lambda = 0,15$ uszk/km·a
- dla PE: $\lambda = 0,32$ uszk/km·a.

Wskaźnik intensywności uszkodzeń dla przewodów wykonanych z PVC oraz PE jest niższy od danych podanych w [5]. Wyższą wartością wskaźnika intensywności uszkodzeń charakteryzują się przewody wykonane z żeliwa szarego, stali oraz w 2011 r. AC. Nie przyjmuje się w artykule wskaźnika $\lambda = 1$ uszk/km·a, lecz zakłada się, że taka wartość λ oznacza wymianę przewodu.

Zaopatrzenie w wodę w sytuacjach kryzysowych

W przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej (brak dostawy wody do miasta) Jasło będzie zaopatrywane w wodę za pomocą alternatywnych ujęć:

- Huta Szkła ul. Śniadeckich 19 – 228 m³/d
- Jasan Sp. z o.o. ul. Szajnochy – 576 m³/d
- Zakład Masarski „TRIO” S.C. ul. Lwowska 12 – 156 m³/d
- studnie publiczne – 1358,4 m³/d
- studnie przeciwpożarowe (najkrótszy czas przygotowania do zaopatrzenia ludności w wodę wynosi 7 dni) – 2340 m³/d
- ok. 1000 studni prywatnych na terenach podmiejskich.

W sytuacji kryzysowej wyróżnia się cztery rodzaje jednostkowego zapotrzebowania na wodę [6]:

- ilość wody związana z fizjologią człowieka – $q_f = 2,5$ dm³/mk. ·d
- minimalna ilość wody na okres kilku dób – $q_m = 7,5$ dm³/mk. ·d
- niezbędna ilość wody na okres kilku tygodni – $q_n = 15$ dm³/mk. ·d
- wymagana ilość wody w sytuacji kryzysowej – $q_w = 30$ dm³/mk. ·d.

Średnie dobowe zapotrzebowanie na wodę w 2013 r. wyniosło $Q_{\text{śrd}} = 5630,78$ m³/d. Z SZZW miasta Jasła korzysta ok. 34 500 mieszkańców i dla tej liczby wyznaczono zapotrzebowanie na wodę w sytuacji kryzysowej:

- zapotrzebowanie na wodę na cele fizjologiczne

$$Q_f = q_f \cdot LM, m^3/d \quad (2)$$

- minimalne zapotrzebowanie na wodę

$$Q_m = q_m \cdot LM, m^3/d \quad (3)$$

- niezbędne zapotrzebowanie na wodę

$$Q_n = q_n \cdot LM, m^3/d \quad (4)$$

- wymagane zapotrzebowanie na wodę

$$Q_w = q_w \cdot LM, m^3/d \quad (5)$$

Wyznaczona ilość wody może zostać dostarczona do mieszkańców za pomocą butelek o pojemności 1,5 dm³, butelek o pojemności 5 dm³ oraz beczkoczów o pojemności 8 m³ odbywających trzy kursy w ciągu dnia (Tab. 4) [6].

Przeprowadzona analiza wykazała, że awaryjne ujęcia wody podziemnej pokrywają w 100% wymagane zapotrzebowanie na wodę i nie ma potrzeby uzupełniania dostaw wody z zewnętrznych źródeł.

Tablica 4

Wyznaczenie liczby butelek oraz beczkowsów potrzebnych do zaopatrzenia mieszkańców w wodę w sytuacji kryzysowej [6]

	Zapotrzebowanie na wodę, m ³ /d	Liczba butelek o pojemności 1,5 dm ³	Liczba butelek o pojemności 5 dm ³	Liczba beczkowsów o pojemności 3 · 8 m ³
Q _f	86,25	57500	17250	4
Q _m	258,75	172500	51750	11
Q _n	517,50	345000	103500	22
Q _w	1035,00	690000	207000	43

Podsumowanie

System zbiorowego zaopatrzenia w wodę należy do infrastruktury krytycznej. W związku z tym działania przedsiębiorstw wodociągowych powinny być skierowane na zapewnienie bezpieczeństwa SZZW, przygotowywanie planów reagowania kryzysowego oraz zmniejszenie skutków zajścia ewentualnej sytuacji kryzysowej.

Obserwuje się stały wzrost długości sieci wodociągowej rozdzielczej miasta Jasła. Wymianie ulegały przewody wykonane z tradycyjnych materiałów, takich jak żeliwo szare, które były zastępowane przewodami z tworzyw sztucznych. Sieć wodociągowa miasta Jasła w 2013 r. w ok. 89% była wykonana z PVC oraz PE, oraz pokrywa się ze światową tendencją stosowania tworzyw termoplastycznych i żeliwa sferoidalnego jako materiału do budowy sieci wodociągowych, co w znacznym stopniu zmniejsza awaryjność.

Średnie wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń kształtują się na poziomie $\lambda = 0,25$ uszk/km·a dla przewodów rozdzielczych oraz $\lambda = 0,35$ uszk/km·a dla podłączeń domowych i są niższe od wartości granicznych wynoszących odpowiednio $\lambda = 0,5$ uszk/km·a oraz $\lambda = 1,0$ uszk/km·a, co świadczy o dobrym stanie technicznym sieci wodociągowej miasta Jasła.

Najmniejszą intensywnością uszkodzeń charakteryzują się przewody wykonane z PVC $\lambda_{sr} = 0,07$ uszk/km·a oraz z PE $\lambda_{sr} = 0,21$ uszk/km·a. Wartości te są niższe od danych literaturowych otrzymanych na podstawie wieloletnich badań eksploatacyjnych polskich sieci wodociągowych. Wysoki wskaźnik intensywności uszkodzeń przewodów żeliwnych $\lambda_{sr} = 1,77$ uszk/km·a oraz wykonanych z AC $\lambda = 2,5$ uszk/km·a w 2011 r. (przy zaledwie dwóch awariach) na podstawie standardów europejskich ($\lambda = 1$ uszk/km·a) kwalifikuje te przewody do wymiany lub odnowy. Zwraca uwagę wysoki wskaźnik intensywności uszkodzeń przewodów stalowych, który jednak poza 2010 r. nie przekroczył wartości granicznej $\lambda = 1$ uszk/km·a.

W przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej miasto Jasło jest w stanie całkowicie pokryć wymagane zapotrzebowanie na wodę z własnych awaryjnych ujęć wody podziemnej.

Literatura

- Bergel T.: *Awaryjność sieci wodociągów małych wodociągów grupowych w Polsce. Gaz, woda i technika sanitarna*. 2012, 12, 536–538.

- Denczew S.: *Niezawodność, bezpieczeństwo i ryzyko systemów eksploatacji wodociągów w aspekcie infrastruktury krytycznej. Eksploatacja i niezawodność*. 2007, 2, 15–21.
- Dyrektiva Rady 2008/114/WE z dnia 8 grudnia 2008 r. w sprawie rozpoznawania i wyznaczania europejskiej infrastruktury krytycznej oraz oceny potrzeb w zakresie poprawy jej ochrony.
- Kwiatniewski M.: *Awaryjność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce w świetle badań eksploatacyjnych*. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna, Międzyzdroje 24–27 maja 2011.
- Kwiatniewski M., Rak J.: *Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce*. Polska Akademia Nauk. Komitet Inżynierii Łądowej i Wodnej, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa 2010, 37–81.
- Rak J. i in.: *Niezawodność i bezpieczeństwo systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2012, 49–59, 159–163.
- Rak J., Sypień Ł.: *Analiza strat wody w wodociągu miasta Jasła*. Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, t. XXX, z. 60 (3/13), lipiec – wrzesień 2013, 5–18.
- Rak J., Tchórzewska Cieslak B.: *Awaryjność sieci wodociągowych w głównych miastach Doliny Sanu*. III Konferencja Naukowo – Techniczna Błękitny San, Dubiecko 21–22 IV 2006.
- Studzinski A., Pietrucha – Urbanik K.: *Awaryjność sieci wodociągowej Tarnowa. Gaz, woda i technika sanitarna*. 2012, 10, 464–466.
- Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (Dz. U. z 2007 r. Nr 89, poz. 590) oraz zmiana z 2010 r., Dz.U.240 poz. 1600.
- Wieczysty A., Rak J.: *Niezawodność systemów zaopatrzenia w wodę w aspekcie wymagań jakościowych. Ochrona Środowiska*. 1995, 1(56), 5–10.
- Zimoch I.: *Niezawodnościowa interpretacja awaryjności podsystemu dystrybucji wody*. Czasopismo Techniczne. Środowisko. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej im. Tadeusz Kościuszki, R. 108, 2011, z. 1-Ś, 211–223.

*Mgr inż. Dawid SZPAK jest absolwentem Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej (2013). Obecnie pracuje w Katedrze Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków Politechniki Rzeszowskiej. Zainteresowania naukowe: niezawodność w systemach zbiorowego zaopatrzenia w wodę.
e-mail: dsz@prz.edu.pl, tel. +48 17 8651427

Dr hab. inż., prof. PRz Barbara TCHÓRZEWSKA–CIEŚLAK jest absolwentką Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej (1997). Doktorat na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej (2002). Habilitacja na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej (2012). Obecnie pracuje w Katedrze Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków Politechniki Rzeszowskiej. Zainteresowania naukowe: metody analizy oraz oceny niezawodności i bezpieczeństwa w systemach zbiorowego zaopatrzenia w wodę, balneotechnika. Jest autorką 3 monografii, 72 autorskich i współautorskich punktowanych publikacji naukowych oraz 28 publikacji opublikowanych w materiałach konferencyjnych.
e-mail: cbarbara@prz.edu.pl, tel. +48 17 8651435