

Katarzyna PIETRUCHA  
Politechnika Rzeszowska

## ANALIZA AWARYJNOŚCI PODSYSTEMU DYSTRYBUCJI WODY MIASTA KROSNA

W pracy dokonano analizy awarii podsystemu dystrybucji wody (PsDyW) miasta Krosna. Wyznaczono intensywności uszkodzeń, odnosząc liczbę awarii do długości przewodów wodociagowych. Przeprowadzono analizę całkowitego czasu trwania uszkodzeń i czasu odnowy związanego z brakiem dostawy wody do odbiorców. Wyniki analizy przedstawiono w postaci histogramów częstości czasów trwania odnowy i usuwania uszkodzeń dla poszczególnych rodzajów przewodów wodociagowych (magistralnych, rozdzielczych i przyłączy wodociagowych).

### 1. Wprowadzenie

Zadaniem podsystemu dystrybucji wody (PsDyW) jest dostarczenie odbiorcom wody o odpowiedniej jakości (zgodnie z obowiązującymi przepisami), w odpowiedniej ilości i pod odpowiednim ciśnieniem, a także o akceptowalnej cenie [3]. W podsystemie PsDyW mogą występować awarie sieci wodociagowej, które powodują zakłócenia w dostawie wody do odbiorców i które mogą być przyczyną pogorszenia się jakości wody w sieci wodociagowej. Sieć wodociagowa z powodu dużej rozległości przestrzennej, obejmującej cały obszar zasilania w wodę, różnorodności stosowanych materiałów przewodów oraz ich wieku sprawia trudności w prawidłowej jej eksploatacji [2, 10].

Głównym celem pracy jest analiza awaryjności sieci wodociagowej na przykładzie krośnieńskiego wodociągu. Zakres pracy obejmuje wyznaczenie czasu odnowy, związanego z czasem braku dostawy wody do odbiorców, oraz całkowitego czasu brutto usuwania awarii wodociagowej. W pracy przeanalizowano również intensywność uszkodzeń poszczególnych rodzajów przewodów. Analizę oparto na danych eksploatacyjnych sieci wodociagowej w latach 2006-2010, uzyskanych od Miejskiego Przedsiębiorstwa Gospodarki Komunalnej MPGK Krosno Sp. z o.o.

## 2. Awaryjność sieci wodociągowej

W tabeli 1. zestawiono wartości wskaźników intensywności uszkodzeń na poszczególnych rodzajach sieci wodociągowej, odnosząc liczbę awarii do długości sieci wodociągowej. Przedstawione wartości wskaźników intensywności uszkodzeń  $\lambda_j$  dla przewodów magistralnych  $\lambda_M$ , rozdzielczych  $\lambda_R$  i przyłączy wodociągowych  $\lambda_P$  obliczono ze wzoru [7, 8]:

$$\lambda_j = \frac{k_i(t, t + \Delta t)}{l_i \cdot \Delta t} \quad (1)$$

gdzie:  $\lambda_j$  – jednostkowa intensywność uszkodzeń  $i$ -tego rodzaju sieci lub  $i$ -tego rodzaju uzbrojenia [liczba awarii/km · rok],

$k_i(t, t + \Delta t)$  – liczba wszystkich uszkodzeń w przedziale czasu  $\Delta t$  na danym rodzaju sieci,

$l_i$  – długość sieci danego rodzaju (magistralna, rozdzielcza, podłączenia wodociągowe) w danym przedziale czasu, na której występowały awarie [km];  $i$  – rodzaj sieci,

$\Delta t$  – przedział czasu [1 rok].

Tabela 1. Zestawienie wskaźnika intensywności uszkodzeń dla przewodów magistralnych  $\lambda_M$ , przewodów rozdzielczych  $\lambda_R$  oraz przyłączy wodociągowych  $\lambda_P$

Rok	$\lambda_M$ [ $\frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}}$ ]	$\lambda_R$ [ $\frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}}$ ]	$\lambda_P$ [ $\frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}}$ ]
2006	1,16	0,20	0,82
2007	0,86	0,16	0,47
2008	0,68	0,20	0,57
2009	0,53	0,19	0,43
2010	0,48	0,18	0,52
$\lambda_{jsr}$ [ $\frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}}$ ]	0,74	0,19	0,56

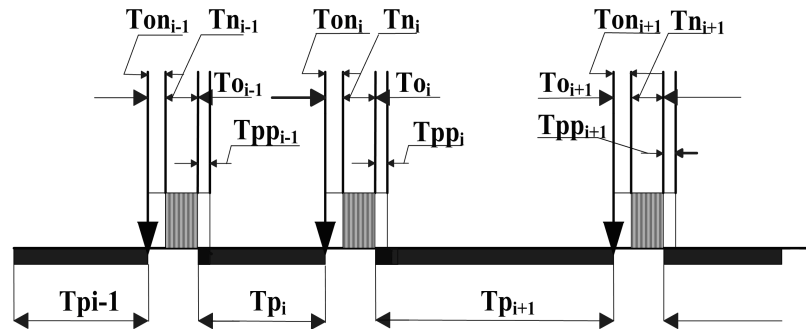
Z przeprowadzonej analizy wynika, że średnie wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń przewodów wodociągowych wynoszą [7]:

- intensywność uszkodzeń przewodów magistralnych  $\lambda_M = 0,74$  liczba awarii/km · rok wobec wymaganej wartości  $\lambda_{Mwym} = 0,3$  liczba awarii/km · rok,

- intensywność uszkodzeń przewodów rozdzielczych  $\lambda_R = 0,19$  liczba awarii/km · rok wobec wymaganej wartości  $\lambda_{Rwym} = 0,5$  liczba awarii/km · rok,
- intensywność uszkodzeń połączeń wodociągowych  $\lambda_P = 0,56$  liczba awarii/km · rok wobec wymaganej wartości  $\lambda_{Pwym} = 1,0$  liczba awarii/km · rok.

### 3. Składniki czasu usuwania uszkodzeń

Przez pojęcie elementu odnawialnego należy rozumieć taki element, któremu po uszkodzeniu można przywrócić właściwości użytkowe poprzez remont (naprawę). Proces eksploatacji podsystemu dystrybucji wody można przedstawić za pomocą następujących po sobie odcinków (rys. 1.). Długość każdego odcinka przedstawia kolejno czas pracy ( $T_{p_{i-1}}, T_{p_i}, T_{p_{i+1}}$ ) oraz czas trwania odnowy ( $To_{i-1}, To_i, To_{i+1}$ ), obejmujący m.in. czas właściwej naprawy ( $Tn_{i-1}, Tn_i, Tn_{i+1}$ ) [1, 8].



Rys. 1. Proces eksploatacji elementu odnawialnego:  $T_{p_{i-1}}, \dots, T_{p_{i+1}}$  – czas trwania pracy,  $Tn_{i-1}, \dots, Tn_{i+1}$  – czas trwania naprawy,  $To_{i-1}, \dots, To_{i+1}$  – czas trwania odnowy,  $Ton_{i-1}, \dots, Ton_{i+1}$  – czas oczekiwania na naprawę,  $Tpp_{i-1}, \dots, Tpp_{i+1}$  – czas trwania prac porządkowych

Dla użytkowników systemu zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW) niezwykle ważny jest czas trwania odnowy  $To$ . Opisuje on czas od momentu wystąpienia uszkodzenia do włączenia przepływu wody na uszkodzonym odcinku, a także uwzględnia czas oczekiwania na naprawę  $Ton$  i czas naprawy właściwej  $Tn$ , a więc czas całkowitego wstrzymania dopływu wody do odbiorców:

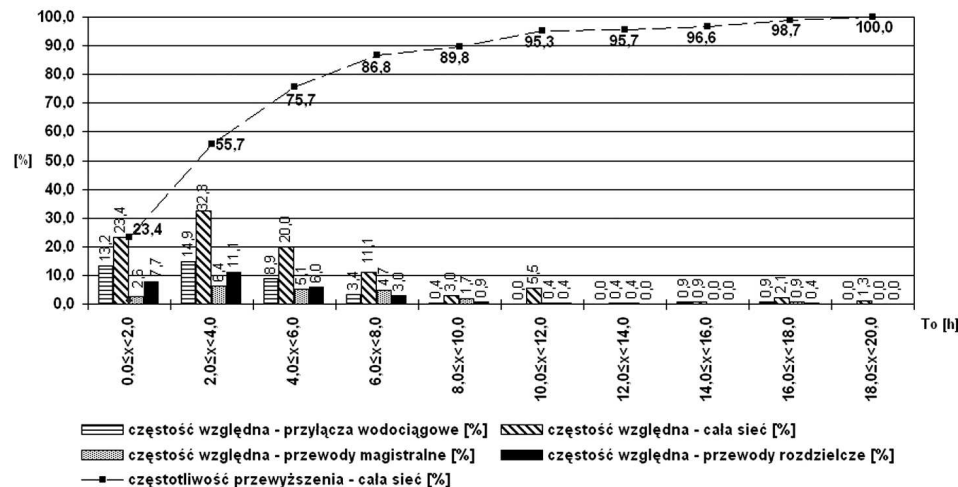
$$To = Ton + Tn \quad (2)$$

Czas odnowy opisuje gwarancję niezawodności dostawy wody do spożycia, ponieważ w tym okresie może wystąpić – w zależności od rodzaju uszkodzenia – całkowite wstrzymanie lub zmniejszenie dopływu wody do użytkowników SZZW [5, 9]. Całkowity czas usuwania uszkodzeń  $T_c$  jest sumą czasu odnowy  $T_o$  i czasu trwania prac porządkowych  $T_{pp}$  potrzebnych do odtworzenia rejonu awarii:

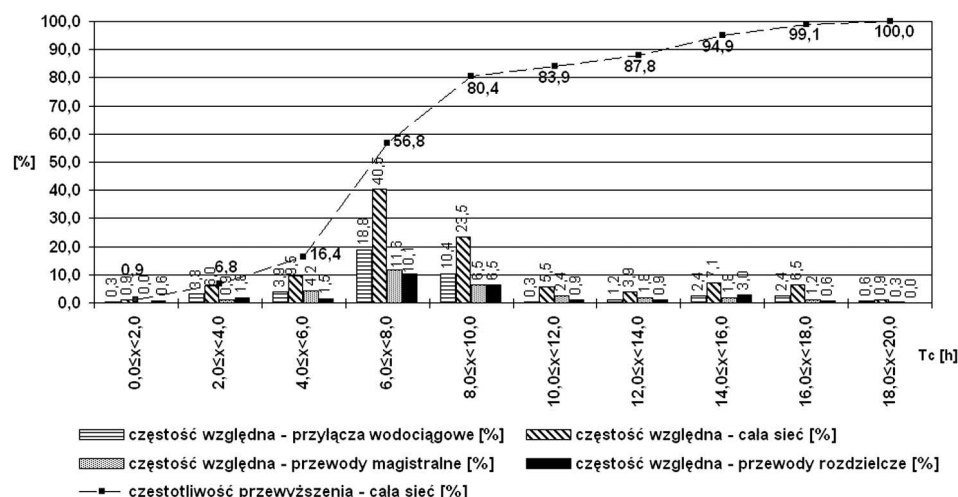
$$T_c = T_o + T_{pp} = T_{on} + T_n + T_{pp} \quad (3)$$

#### 4. Histogramy częstości względnej oraz krzywe sumowe częstości czasu odnowy i czasu usuwania uszkodzeń

Na podstawie przeprowadzonej analizy protokołów awarii wybrano zdarzenia charakteryzujące się wystąpieniem braku dostawy wody do spożycia. Pominęto awarie, podczas których nie wystąpiły ograniczenia w dostawie wody. Otrzymano histogramy częstości względnej oraz krzywe częstości czasu odnowy i całkowitego czasu usuwania uszkodzeń (rys. 2., 3.). Przedstawione wyniki wskazują na wyraźną dominację częstości względnej poszczególnych czasów dla przyłączy wodociągowych. Największa częstość związana z czasem trwania odnowy pojawia się w 2-4 h. W przedziale tym odnotowano 32,3% wszystkich awarii przewodów wodociągowych, w tym 11,1% przewodów rozdzielczych, 14,9% przyłączy wodociągowych i 6,4% magistral.



Rys. 2. Histogram częstości względnej oraz krzywa sumowanych częstości czasu odnowy  $T_o$  przewodów wodociągowych Krosna w latach 2006-2010



Rys. 3. Histogram częstości względnej oraz krzywa sumowanych częstotliwości czasu usuwania uszkodzeń T<sub>c</sub> przewodów wodociągowych Krosna w latach 2006-2010

W odniesieniu do całkowitego czasu usuwania uszkodzeń największą częstość względną odnotowano między 6 a 8 h. Odnotowano 40,5% przypadków spośród wszystkich awarii przewodów wodociągowych, w tym 10,1% przewodów rozdzielczych, 18,8% przyłączy wodociągowych i 11,6% magistral. Drugi co do wielkości przedział to 8-10 h, kwalifikujący 23,5% wszystkich awarii.

Z przeprowadzonych obliczeń i sporządzonych histogramów częstości względnej czasu odnowy uszkodzeń dla systemu wodociągowego można określić prawdopodobieństwo wystąpienia awarii o największej częstotliwości występowania w stosunkowo niewielkim zakresie czasowym – zasada Pareta–Lorenza. Zasada ta ułatwia analizę możliwości uzyskania poprawy niezawodności systemu i wskazanie przedziałów, w których zawiera się ok. 80% awarii. Na podstawie czasu trwania odnowy ustala się, że 75,7% awarii zawierała się w przedziale od 0 do 6 h. Można określić z prawdopodobieństwem równym ~80%, że czas braku dostawy wody w czasie trwania awarii nie będzie dłuższy niż 6 h. Dane dotyczące awarii w podziale na całkowity czas usuwania uszkodzeń, odnowy i właściwej naprawy dla przewodów rozdzielczych (średnica przewodów DN80-DN200), magistralnych (średnica przewodów DN250-DN1200; na przewodach o średnicy DN > 600 nie zanotowano awarii w okresie 2006-2010), przyłączy wodociągowych oraz dla sieci ogółem przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2. Czas usuwania uszkodzeń systemu wodociągowego Krosna w latach 2006÷2010

Średnica nominalna	Czas usuwania uszkodzeń systemu wodociągowego Krosna w latach 2006÷2010			
	czas odnowy $T_o$ [h]		czas całkowity naprawy $T_c$ [h]	
	zakres zmian	wartość średnia	zakres zmian	wartość średnia
<b>Przewody magistralne</b>				
DN 500	4-7	6,8	8-16	10,5
DN 400	1-9	7,1	3-14	8,8
DN 350	1-7,5	2,7	6-16	9,6
DN 300	1-10,5	3,9	6-11	7,9
DN 250	2-18	4,7	5-18,5	9,3
$\Sigma$	1-18	5,0	3-18,5	9,2
<b>Przewody rozdzielcze</b>				
DN 200	4-5	3,7	8-10	8,5
DN 150	1-10	4,5	4-16	6,9
DN 100	1-11	3,9	2,5-16	8,0
DN 80	1-16,5	3,9	3,0-18	6,5
$\Sigma$	1-16,5	4,0	2,5-18	7,5
<b>Przyłącza wodociągowe</b>				
DN 63	2-7	4,4	8-13,5	8,5
DN 50	1-15,5	4,1	3-25	8,7
DN 40	1-10	4,0	2-18	8,7
DN 32	1-3	3,7	3-20	9,6
DN 25	2-5	3,9	7,5-9	8,0
$\Sigma$	1-15,5	4,0	2-18	8,7

Z przeprowadzonej analizy wynika, że czas odnowy i całkowity czas usuwania uszkodzeń przewodów magistralnych są większe od wartości czasów dla przewodów rozdzielczych. Zakres zmian czasu odnowy ( $T_o$ ) dla przewodów rozdzielczych wyniósł 1-16,5 h (średnio 4 h), a dla przewodów magistralnych – 1-18 h (średnio 5 h). Czas całkowity usuwania uszkodzeń dla przyłączy wodociągowych  $T_c = 8,7$  h jest dłuższy od czasu usuwania uszkodzeń przewodów rozdzielczych –  $T_c = 7,5$  h. Natomiast czas odnowy przyłączy wodociągowych  $T_o = 4,0$  h jest zbliżony do czasu odnowy przewodów rozdzielczych.

## 5. Podsumowanie

Na podstawie analizy wyników badań sformułowano następujące wnioski i stwierdzenia:

1. Średni wskaźnik intensywności uszkodzeń przyjmował następujące wartości: dla przewodów magistralnych –  $\lambda_{M\dot{s}r} = 0,74$  liczba awarii/km · rok, dla prze-

- wodów rozdzielczych –  $\lambda_{Rsr} = 0,19$  liczba awarii/km · rok, dla podłączeń wodociągowych –  $\lambda_{Psr} = 0,56$  [liczba awarii/km · rok]. Wartość wskaźników intensywności uszkodzeń odpowiada tendencjom krajowym [1, 4, 6].
2. W przypadku przewodów magistralnych obserwuje się tendencję malejącą wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń. Sukcesywne obniżanie wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń jest wynikiem przedsięwzięć inwestycyjno-modernizacyjnych prowadzonych w ostatnich latach (wprowadzenie monitoringu sieci wodociągowej, redukcji i regulacji ciśnienia w sieci wodociągowej, modernizacji węzłów zasurowych na sieci magistralnej i rozdzielczej, rozbudowa i modernizacja istniejącej sieci wodociągowej, prowadzenie aktywnej detekcji wycieków).
  3. W przedziale czasu trwania odnowy 0-6 h zawiera się 80% awarii.
  4. Czas odnowy równy  $T_o = 5$  h jest największy dla przewodów magistralnych.
  5. Całkowity czas naprawy  $T_c$  zawiera się w granicach 1-18 h dla przewodów magistralnych, 1-16,5 h dla przewodów rozdzielczych oraz 1-15,5 h dla przyłączy wodociągowych.

### Literatura

1. Hotłoś H.: Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacyjne sieci wodociągowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
2. Kwietniewski M., Rak J.: Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Warszawa 2010.
3. Kwietniewski M., Roman M., Kłos-Trębaczewicz H.: Niezawodność wodociągów i kanalizacji, Arkady, Warszawa 1993.
4. Pawełek J., Woźdyla M.: Analiza uszkodzeń przewodów rozdzielczych w dużym systemie wodociagowym, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, z. 2/2001, s. 49-54.
5. Pietrucha K.: Badanie użytkowników wodociągów publicznych na temat przerw w dostawie wody, mat. konf. „Przedsiębiorstwa wodociagowo-kanalizacyjne w dobie współczesnych problemów”, Wydaw. AQUA S.A., Bielsko-Biała, Szczyrk 2009, s. 71-84.
6. Rak J.: Awaryjność sieci wodociągowych w miastach polskich, Izba Gospodarcza „Wodociagi Polskie”, Wodociagi Polskie, z. 3(27)/2003, s. 11-14.
7. Rak J.: Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, vol. 28, Lublin 2005.
8. Roman M.: Kryteria niezawodności komunalnych systemów wodociągowych, mat. konf. „Zagadnienia zaopatrzenia w wodę miast i wsi”, Wydaw. PZITS O/Poznań, Poznań 1982, s. 266-279.
9. Studziński A., Rak J.: Czas dostawy wody niespełniającej standardu jako wskaźnik ryzyka konsumenta systemu zaopatrzenia w wodę, Wydaw. Seidel-Przywecki, Forum Eksploatatora, z. 4/2007, s. 44-46.
10. Wiczysty A.: Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych, t. 1, cz. I, II, Wydaw. Politechniki Krakowskiej, Kraków 1990.

*Praca naukowa finansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu rozwojowego Nr N R14 0006 10 pt. „Opracowanie kompleksowej metody oceny niezawodności i bezpieczeństwa dostawy wody do odbiorców” w latach 2010-2013.*

## **ANALYSIS OF FAILURES OF WATER DISTRIBUTION SUBSYSTEM IN KROSNO CITY**

### **A b s t r a c t**

In the article analysis of failures of water distribution subsystem in Krosno has been presented. In the work the analysis of the failure frequency on the example of the Krosno water network was also presented. Analysis of the total time of failure removal and time of rehabilitation connected with the lack of water supply for consumers have been shown. Results of analysis have been presented in the figure of frequencies histograms of the total time of failure, time of repair and recovery time for individual kinds of waterworks (main, distribution and water supply connections).

*Złożono w Oficynie Wydawniczej w kwietniu 2011 r.*