



dr inż. Barbara TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK  
prof. dr hab. inż. Janusz RAK

POLITECHNIKA RZESZOWSKA IM. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA  
W RZESZOWIE

## AWARYJNOŚĆ SIECI WODOCIĄGOWYCH W GŁÓWNYCH MIASTACH DOLINY SANU

### 1. Wstęp

Przecieki w sieciach wodociągowych są obiektywną rzeczywistością, które należy ograniczać konsekwentnie i metodycznie. O przeciekach dowiadujemy się zwykle w przypadku awarii wodociągowych. W firmach wodociągowych prowadzona jest statystyka uszkodzeń sieci wodociągowej, na podstawie, której można wnioskować o występowaniu przecieków [2] [3] [5] [7].

Skutki wystąpienia przecieków w sieci wodociągowej mają dwojaki charakter:

- bezpośrednio, związane ze stratą wody jako produktu handlowego, możliwością zanieczyszczenia wody wodociągowej,
- pośrednio, związane z możliwością zapadnięcia się powierzchni terenu – zagrożenie bezpieczeństwa ruchu pieszego i kołowego, podmycie fundamentów budowli, przedostania się wody do obiektów podziemnych.

Dla warunków krajowych przyczyny uszkodzeń sieci wodociągowej przedstawiają się następująco [1]:

- pęknięcia poprzeczne i podłużne rurociągów ~40%,
- nieszczelności złączy ~40%,
- uszkodzenia armatury ~6%,
- inne uszkodzenia ~14%.

Należy dążyć do następującej intensywności uszkodzeń w poszczególnych rodzajach sieci wodociągowej [3] [8]:

- przewody tranzytowe i magistralne,  $\lambda = 0,3$  uszk/km · rok,

- sieć rozdzielcza,  $\lambda = 0,5$  uszk/km · rok,
- podłączenia domowe,  $\lambda = 1,0$  uszk/km · rok.

Z analiz strat wody w sieci wodociągowej wynika, że kształtują się one na poziomie (10 – 12)%, produkcji dobowej ale są miasta w kraju, dla których ten wskaźnik wynosi nawet (25 ÷ 40)% [2] [3]. Ponoszone straty finansowe przez firmę wodociągową są oczywiste i łatwe do wyliczenia w skali doby czy roku, znając cenę 1 m<sup>3</sup> wody zimnej i ciepłej.

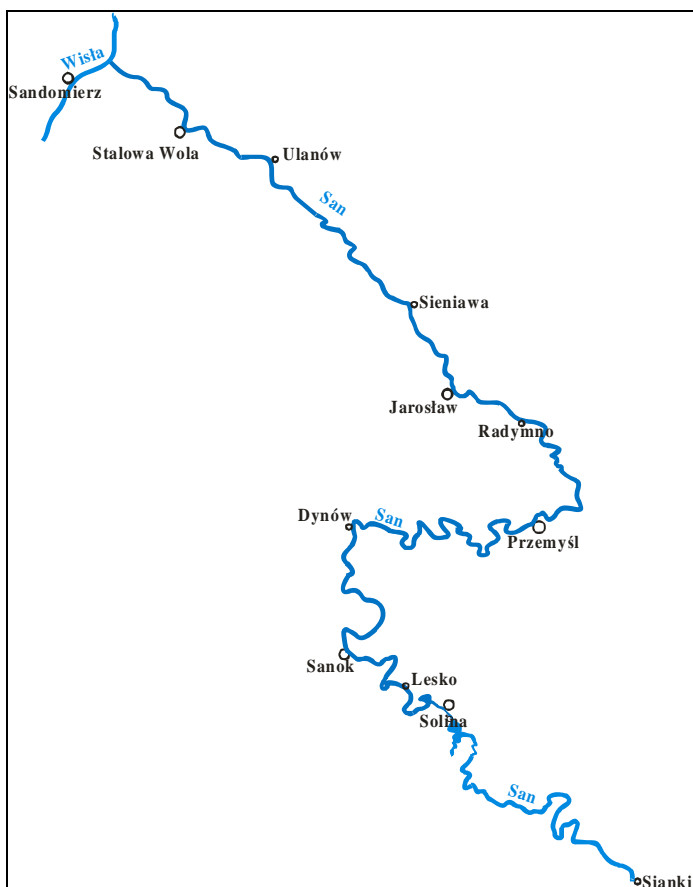
Analiza niezawodności funkcjonowania i bezpieczeństwa Systemu Zaopatrzenia w Wodę (SZW) oraz jego elementów od ponad 30 lat jest tematem wielu badań naukowych, i stała się jednym z priorytetowych działań przedsiębiorstw wodociągowych. Jednym z podejmowanych zagadnień jest analiza niezawodności podsystemu dystrybucji wody (PsDyW). Prowadzone są systematyczne badania awaryjności sieci wodociągowej w większości miast Polski. Na podstawie tych badań stwierdzono, że możliwymi przyczynami pierwotnymi powstawania awarii na sieci wodociągowej mogą być przykładowo:

- na etapie projektowania – złe rozpoznanie warunków korozyjności gruntu, zła ochrona antykorozyjna przewodów,
- na etapie wykonawstwa – niezgodne z projektem wykonanie lub zaniechanie wykonania ochrony przeciwkorozyjnej (biernej i czynnej), brak badań skuteczności ochrony katodowej rurociągu,
- na etapie eksploatacji – brak monitoringu jakości wody pod kątem jej korozyjności.

Problem ten jest jednak bardzo złożony i każdorazowo wymaga indywidualnego i szczegółowego przeanalizowania.

Planując remonty lub modernizację sieci wodociągowych pracownicy zakładów wodociągowych powinni dokonać klasyfikacji odcinków sieci tzn. określić, które odcinki sieci wymagają natychmiastowego remontu, a których remont można przesunąć w czasie. Bardzo ważna ze względów bezpieczeństwa dla użytkowników PsDyW jest również możliwość prognozowania (przewidywania) awarii w celu minimalizacji ich ewentualnych skutków. Jedną z metod, którą można wykorzystać do tego celu jest symulacyjna metoda Monte Carlo (MC) [12]. Na rys. 1. Pokazano mapkę poglądową z głównymi miastami leżącymi wzdłuż biegu rzeki San.

W pracy przedstawiono analizę awaryjności sieci wodociągowej w następujących miastach: Sanok, Przemyśl, Jarosław, Stalowa Wola i Sandomierz.



Rys. 1. Mapka poglądowa miast wzdłuż doliny Sanu

## 2. Diagnostyka rurociągów wodociągowych

Diagnostyka łączy w sobie ocenę stanu technicznego sieci wodociągowej, wykrywanie uszkodzeń i analizę przyczyn ich powstawania. O poprawności funkcjonowania przewodów sieci wodociągowej decydują trzy czynniki:

- jakość wody,
- parametry hydrauliczne,
- parametry wytrzymałościowe.

Destrukcja rurociągów w zależności od natężenia w/w czynników może przebiegać skokowo, lub być ciągła – rozłożona w czasie. Sieć wodociągowa należy do infrastruktury podziemnej i z tego powodu rozpoznanie stanów przedawaryjnych oraz awaryjnych nie zawsze jest jednoznaczne. Oprócz wizualnych wypływów wody na powierzchnię, możliwa jest obserwacja zmian ciśnienia w punktach jego

monitorowania. Metodom wykrywania awarii sieci wodociągowych poświęcone są prace [1] [9]. Firmy wodociągowe zainteresowane są ograniczeniem liczby awarii, gdyż przynoszą one straty finansowe. Wraz z upływem lat eksploatacji rurociągów następuje progresywne pogarszanie się ich stanu fizycznego. Przyjmuje się, że 90% resursu czasu eksploatacji rurociągu wodociągowego w zależności od rodzaju materiału przedstawia się następująco [3]:

- żeliwo szare – 80 lat,
- stal – 70 lat,
- PE, PCV – 60 lat,
- żeliwo sferoidalne z ochroną antykorozyjną – 120 lat.

Awaryje występujące podczas normalnej eksploatacji w czasie okresu tzw. trwałości rurociągów wodociągowych z reguły mają charakter losowy. Po upływie kilkudziesięciu lat eksploatacji pojawia się trend wzrostu intensywności uszkodzeń, co związane jest z procesami starzenia się rurociągów. Firma wodociągowa w takim wypadku staje przed alternatywą: usunąć zwiększoną liczbę awarii lub zdecydować się na odnowę techniczną danego fragmentu sieci wodociągowej.

Typy strategii odnowy technicznej:

- doraźna – działania podejmowane są z chwilą zwiększonej intensywności uszkodzeń,
- okresowej wymiany – odnowę danych odcinków sieci w ustalonych przedziałach czasowych, zgodnie z wytycznymi producenta,
- na podstawie inspekcji – inspekcję prowadzi się w regularnych przedziałach czasowych, a decyzję o odnowie podejmuje się na podstawie wyników inspekcji,
- prognozowania – decyzję o odnowie podejmuje się na podstawie prognozy czasowej z uprzednim wykorzystaniem wyników inspekcji.

### **3. Awaryjność sieci wodociągowej na przykładzie wybranych miast z Doliny Sanu**

Analiza awaryjności miast województwa podkarpackiego prowadzona jest od 1995 r., w ramach badań własnych w Zakładzie Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków Politechniki Rzeszowskiej. Podstawą były dane eksploatacyjne funkcjonowania sieci wodociągowej wybranych miast Podkarpacia, opracowane na

bazie protokołów awarii otrzymanych od przedsiębiorstw gospodarki komunalnej. Badania obejmowały swoim zakresem analizę przyczyn rodzaju awarii oraz ich liczby w analizowanym okresie czasu (1 rok). Podział sieci obejmował: materiał, wiek oraz rodzaj sieci: magistralna, rozdzielcza, przyłącza domowe. W niniejszej pracy odniesiono się tylko do badań wg rodzaju sieci. Wyniki posłużyły do wyznaczenia jednostkowych wskaźników intensywności uszkodzeń oraz wskaźników syntetycznych intensywności uszkodzeń całej sieci wodociągowej dla wybranych miast według reguł podanych w [10]. Szczegółowe wyniki przeprowadzonych badań zostały zaprezentowane w pracy [4] [6].

W tabeli 1 zaprezentowano wartości jednostkowych i syntetycznych wskaźników intensywności uszkodzeń dla wybranych miast doliny Sanu.

Tabela 1. Zestawienie długości sieci, liczby awarii oraz wskaźników intensywności uszkodzeń w wybranych miastach Doliny Sanu

<b>Przemyśl, rok 2001</b>				
Rodzaj sieci	Magistralna	Rozdzielcza	Podłączenia	$\Sigma$ sieć
Długość sieci [km]	29,7	141,7	59,6	231
Liczba awarii	47	128	57	232
$\lambda_j \frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}}$	1,582	0,903	0,956	-
$\lambda \frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}}$	1,004			
<b>Sanok, rok 2001</b>				
Rodzaj sieci	Magistralna	Rozdzielcza	Podłączenia	$\Sigma$ sieć
Długość sieci [km]	27	76	87	190
Liczba awarii	18	62	103	183
$\lambda_j \frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}}$	0,667	0,816	1,184	
$\lambda \frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}}$	0,963			

<b>Jarosław, rok 2001</b>				
Rodzaj sieci	Magistralna	Rozdzielcza	Podłączenia	$\Sigma$ sieć
Długość sieci [km]	9	95,3	71,6	175,9
Liczba awarii	0	123	49	172
$\lambda_j \frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}}$	-	1,291	0,684	
$\lambda \frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}}$	0,978			
<b>Sandomierz, rok 2001</b>				
Rodzaj sieci	Magistralna	Rozdzielcza	Podłączenia	$\Sigma$ sieć
Długość sieci [km]	13	94	70	177
Liczba awarii	2	67	41	110
$\lambda_j \frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}}$	0,154	0,713	0,586	-
$\lambda \frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}}$	0,621			
<b>Stalowa Wola, rok 2001</b>				
Rodzaj sieci	Magistralna	Rozdzielcza	Podłączenia	$\Sigma$ sieć
Długość sieci [km]	9,1	83,3	48,4	140,8
Liczba awarii	7	123	73	203
$\lambda_j \frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}}$	0,77	1,48	1,51	-
$\lambda \frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}}$	1,44			

#### **4. Metody poszukiwania przecieków**

W ostatnich latach, po urynkowaniu ceny wody do spożycia z wodociągów komunalnych, nastąpił rozwój metod lokalizacji przecieków [9]. Wcześniej wykrywanie uszkodzeń sieci wodociągowej było związane z pojawieniem się wody wodociągowej na powierzchni terenu w pobliżu rurociągu.

Obecna systematyka metod poszukiwania przecieków przedstawia się następująco:

- metody monitoringu obserwacyjnego tras przebiegu wodociągu,
- badanie poziomu wody gruntowej wzdłuż tras wodociągu poprzez sondowanie gruntu,
- monitorowanie ciśnienia w sieci
  - pomiar gwałtownych spadków ciśnienia,
  - badanie szczelności poszczególnych odcinków przewodów,
  - analizy spadku linii ciśnienia,
- metody związane z pomiarem natężenia przepływu
  - pomiary gwałtownych wzrostów poboru wody,
  - bilansowanie wody wtłoczonej do sieci i poboru z niej,
  - analiza maksymalnego współczynnika nierównomierności godzinowej rozbioru wody,
  - badanie minimalnego godzinowego rozbioru wody,
  - testowanie poszczególnych fragmentów sieci wodociągowej,
- metody akustyczne
  - badanie natężenia szumów rozchodzących się w sieci wodociągowej przy pomocy Glogerów rejestrujących,
  - osłuchiwanie sieci wodociągowej przy pomocy stetofonu wyposażonego w mikrofon prętowy i geofon,
  - analiza korelacji szmeru przecieku za pomocą korelatora,
- metody oparte o pomiar rezystancji i impedancji.

## **5. Metody bezodkrywkowe renowacji sieci wodociągowej**

### **5.1. Wykładanie zaprawą cementową**

Zurbanizowane obszary miejskie, zwarta zabudowa wymuszają zastosowanie bezodkrywkowych metod renowacji rurociągów sieci wodociągowej. Poniżej podano charakterystykę wybranych metod regeneracyjnych.

Metoda ta zmniejsza opory hydrauliczne, chroni przed korozją wewnętrzną i zapobiega odkładaniu się osadów. Przewody wodociągowe muszą być wstępnie oczyszczone ze złożeń i osadów powstałych wskutek korozji. Czyszczenie odbywa się przy zastosowaniu wysokociśnieniowego agregatu lub tzw. „frezu wolnego”, które umożliwiają usunięcie zarostów do czystego metalu. Zalecanym sposobem jest metoda odśrodkowa, w której poprzez specjalistyczne dysze nakłada się centrycznie zaprawę cementową na ścianki wewnętrzne rurociągu. Zaprawa jest wygładzana gładzikiem ciągnionym za turbiną.

### **5.2. Metoda kruszenia**

Jest bardzo popularną technologią umożliwiającą liniową wymianę przewodu wodociągowego. Technologia kruszenia polega na wprowadzeniu do istniejącego przewodu rury PE po uprzednim jego skruszeniu przy pomocy specjalnej głowicy wyposażonej w pneumatyczny przebijak udarowy. W trakcie przesuwania przebijaka stara rura jest kruszona, a jej fragmenty wciskane są w otaczający grunt. Za urządzeniem rozkruszającym wyciągana jest nowa rura polietylenowa. Przebijak oraz nowa rura wprowadzone są do remontowanego przewodu z niewielkich wykopów montażowych rozmieszczonych na prostych odcinkach 100 – 150 m.

### **5.3. Metoda „rękawa”**

Nowa rura zwana „rękawem” lub „pończochą” jest formowana wewnątrz istniejącego przewodu. Najpierw wprowadza się elastyczny rękaw nasączony żywicą termoutwardzalną, który następnie utwardza się gorącą wodą lub parą wodną, co znacznie skraca okres renowacji. Uzyskuje się dzięki temu jednolity odcinek rurociągu dokładnie przylegający do starego przewodu. Renowację przy pomocy „rękawa” można stosować w przypadku różnych uszkodzeń takich jak: otwarte złącza, pęknięcia, przesunięcia poziome i pionowe, częściowe zgniecenia. Przykłady takich technologii to procesy: Insituform, Saniline, Phoenix.



#### 5.4. Metoda wprowadzania rur z tworzyw sztucznych

Rury polietylenowe wciągane są do istniejącego rurociągu za pomocą wyciągarki, którą poprzedza dysza redukująca średnicę rury PE o około 5%. Po przeciągnięciu rury przez cały odcinek naprawiany, naprężenie redukcyjne jest zwalniane i rura PE powraca do swej pierwotnej średnicy doprasowując się ściśle do naprawianej rury. Przykładem takiej technologii jest Swagelining.

### 6. Podsumowanie

Odnowa techniczna sieci wodociągowej powinna odbywać się według długofalowej strategii, a jej efektem oprócz poprawienia jakościowych walorów eksploatacyjnych jest zmniejszenie intensywności uszkodzeń  $\lambda$  [uszk/km · rok].

Graniczny okres eksploatacji sieci wodociągowej powinien być szacowany na podstawie danych producenta rur lub literaturowych doniesień oraz według kryterium narastającej intensywności uszkodzeń.

Trwałość techniczna przewodów sieci wodociągowej jest ograniczona. Prawidłowo wykonana odnowa techniczna może przyczynić się do wydłużenia okresu eksploatacji danego fragmentu sieci wodociągowej o kilka dziesięcioleci. Zurbanizowane obszary miejskie, zwarta zabudowa wymuszają preferowanie bezodkrywkowych metod odnowy technicznej rurociągów sieci wodociągowej.

Obiektywną rzeczywistością w funkcjonowaniu SZW są straty powodowane przerwami w dostawie wody czy też dostarczanie jej o obniżonych parametrach jakościowych. Przyczyną tego rodzaju zdarzeń są między innymi awarie na sieci wodociągowej, dlatego dokładna ich analiza oraz możliwość ich prognozowania powinna być priorytetem w strategii działania przedsiębiorstw wodociągowych.

Analiza awaryjności w wybranych miastach doliny Sanu wykazała, że najwyższy syntetyczny wskaźnik intensywności uszkodzeń w roku 2001 występował w Stalowej

Woli i wynosił  $\lambda \frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}} = 1,44$ , a najmniejszy w Sandomierzu

$\lambda \frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}} = 0,621$ . W mieście Przemyśl największą jednostkową intensywność

uszkodzeń zanotowano dla sieci magistralnych  $\lambda_j \frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}} = 1,582$ , gdzie dla

porównania w Jarosławiu w roku 2001 w ogóle nie było awarii na tego rodzaju

sieciach. Na sieci rozdzielczej największą jednostką intensywność uszkodzeń zanotowano w mieście Stalowa Wola  $\lambda_j \frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}} = 1,48$ , również w Stalowej Woli zanotowano największy wskaźnik intensywności uszkodzeń na podłączeniach domowych  $\lambda_j \frac{\text{liczba awarii}}{\text{km} \cdot \text{rok}} = 1,51$ . Przedstawiona analiza wykazała, że problem awaryjności na sieciach wodociągowych jest bardzo złożony i każdorazowo wymaga szczegółowego przeanalizowania, której końcowym efektem powinien być wybór odcinków do renowacji oraz dobór adekwatnych metod jej wykonania.

## Literatura

- [1] Berger M., Ways M.: *Poszukiwanie przecieków sieci wodociągowych – Poradnik*. Wydawnictwo „Seidel–Przywecki” Sp. z o.o. Warszawa, 2003.
- [2] Dohnalik P., Jędrzejewski Z.: *Efektywna eksploatacja wodociągów, ograniczenie strat wody*. Wydawnictwo LEMTECH, Kraków, 2004.
- [3] Dohnalik P.: *Straty wody w miejskich sieciach wodociągowych*. Wydawnictwo Polskiej Fundacji Ochrony Zasobów Wodnych. Bydgoszcz, 2000.
- [4] Rak J., Tchórzewska–Cieślak B.: *Intensywność uszkodzeń sieci wodociągowych w miastach województwa podkarpackiego*. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej Nauki Techniczne, XII Konferencja N–T „Problemy gospodarki wodno–ściekowej w regionach rolniczo–przemysłowych”. Wierzbica 8 – 10 czerwca 2003 r., t. 1, z. 16, s. 123 – 129, 2003.
- [5] Rak J., Tunia A.: *Awaryjność sieci wodociągowej*. Materiały konferencyjne. „Bezpieczeństwo i niezawodność działania systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych i centralnego ogrzewania”. Wydawnictwo PZITS O/Kraków, Zakopane 1997.
- [6] Rak J.: *Awaryjność sieci wodociągowych w miastach polskich*. Kwartalnik Wodociągi Polskie, Wydawnictwo Izby Gospodarczej „Wodociągi Polskie”, nr 3/2003, Bydgoszcz, 2003.

- [7] Rak J.: *O potrzebie remontów sieci wodociągowej Rzeszowa*. Kwartalnik Techniczny Armatura i Rurociągi. Wydawnictwo PNT CIBET Sp. z o.o., Zeszyt 3/2003, Warszawa, 2003.
- [8] Rak J.: *Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę*. Wydawnictwo PAN – Komitet Inżynierii Środowiska t. 28, s. 1 – 215, Lublin, 2005.
- [9] Speruda S., Rodecki R.: *Ekonomiczny poziom wycieków. Modelowanie strat w sieciach wodociągowych*. Wydawnictwo Translator s.c., Warszawa, 2003.
- [10] Wieczysty A., *Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych*, tom I i II Skrypt. Wydawnictwo PK. Kraków 1990.
- [11] Woliński Sz., Wróbel K. *Niezawodność konstrukcji budowlanych*. Skrypt. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2001.

## **APPLICATION OF THE MONTE CARLO METHOD TO PREDICT WATER PIPE NETWORK FAILURES**

### **Summary**

*The reliability analysis of Water Supply System (SZW) and its elements has been a subject of many scientific research for over 30 years. It can be found, among others, in works. One of the problems is the analysis of water pipe network relating to its failure frequency. In the work the basic rules used to analyses water-pipe network failure frequency have been presented. The results of studies carried out in some towns of Podkarpackie Province have been shown. On the base of the results of this analysis the Monte Carlo method to predict failures in water pipe network has been presented.*