

Sławczo Denczew

Wpływ systemu sprawnego usuwania uszkodzeń sieci wodociągowej na jej niezawodność

System sprawnego usuwania uszkodzeń (SSUU) został utworzony i wdrożony w Miejskim Przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji miasta stołecznego Warszawy w 1996 r. [1]. W ciągu prawie czteroletniego okresu jego stosowania zgromadzono bogaty materiał doświadczalny z badań eksploatacyjnych, który – w połączeniu z analizą wykonanych w tym czasie prac modernizacyjnych i renowacyjnych na sieci wodociągowej – posłużył do oceny wpływu tych działań na niezawodność i bezpieczeństwo funkcjonowania układu dystrybucji wody w Warszawie. Należy podkreślić, że sprawne usuwanie awarii na sieci wodociągowej ma również znaczenie sanitarne, gdyż zabezpiecza przed skażeniem wody.

Charakterystyka warszawskiego systemu wodociągowego

Warszawski system dystrybucji wody do picia składa się z podsystemów sieci magistralnych i rozdzielczych oraz podłączonych wodociągowych o łącznej długości 2647 km (tab.1), przy czym około 40% przewodów ma powyżej 50 lat, a ponad połowa powyżej 45 lat. Warszawski system wodociągowy charakteryzują [2]:

- duża rozległość sieci,
- wysoki stopień oddziaływania czynników zewnętrznych (obciążenia statyczne, dynamiczne i termiczne) na system,
- wpływ głębokich wykopów (duża liczba realizowanych inwestycji w stolicy) powodujących przemieszczenia poziome i pionowe gruntu i narażenie systemu na dodatkowe ruchy, w wyniku czego następują uszkodzenia sieci wodociągowej,
- różnorodne warunki gruntowe,
- występowanie prądów błądzących z trakcji miejskiej (kolejowej i tramwajowej),
- mała odporność zastosowanego do budowy materiału, jakim jest żeliwo szare (materiał kruchy, podatny na uszkodzenia pod wpływem bodźców zewnętrznych, jakimi są obciążenia dynamiczne bądź działania termiczne),
- wieloletnie zaniedbania, przede wszystkim stosowane w przeszłości materiały o niskiej jakości oraz niestaranne wykonawstwo.

Założenia SSUU

W procesie eksploatacji systemów dystrybucji wody powstają w sposób losowy różnorodne uszkodzenia poszczególnych jego fragmentów, które powodują poważne zakłócenia, głównie w funkcjonowaniu układu komunikacyjnego miasta,

Tabela 1. Procentowy udział różnych materiałów stosowanych do budowy warszawskiego systemu wodociągowego (stan na 31-12-99)

Materiał	Udział w systemie, %
Żeliwo szare	69,9
Stal	14,8
Azbestocement	4,5
Polietylen	4,1
PCW i winidur	3,8
Żeliwo sferoidalne	2,9
Razem	100

natomiast mniej w dostawie wody, gdyż warszawski system wodociągowy cechuje wysoki stopień rezerwy (sieć wodociągowa o układzie pierścieniowym i równoległym).

Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy hierarchizacji czynności związanych z usuwaniem uszkodzeń na sieci wodociągowej. W skład systemu wchodzi trzy podstawowe czynności:

- prace wstępne,
- prace montażowe,
- prace końcowe.

Głównym elementem SSUU jest koordynowanie prac od momentu wystąpienia uszkodzenia do jego całkowitego usunięcia. Czynność ta polega na zorganizowaniu pracy i sprzętu poszczególnym ekipom naprawczym, a tym samym na płynnym przechodzeniu do dalszych zabiegów, jak również na utrzymywaniu stałej współpracy z odpowiednimi służbami miejskimi i firmami wykonującymi prace pomocnicze (badania stopnia zagęszczenia gruntu, układanie nawierzchni itp.). Głównym celem SSUU jest skrócenie czasu trwania awarii (czasu odnowy – T_o), który jest sumą czasu oczekiwania na naprawę (T_{on}) i czasu właściwej naprawy (T_n):

$$T_o = T_{on} + T_n \quad (1)$$

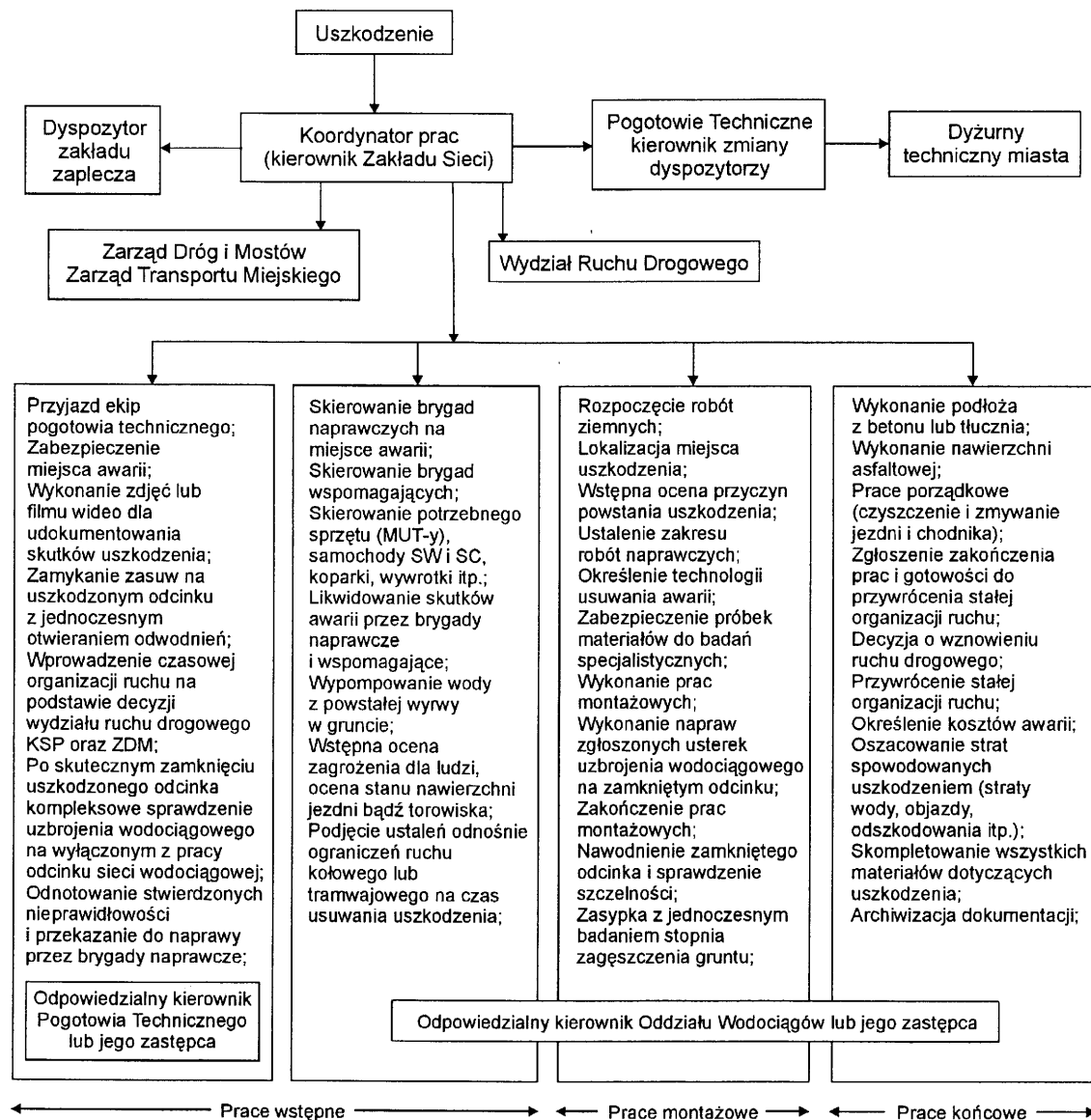
przy czym czas oczekiwania na naprawę składa się z dwóch elementów:

$$T_{on} = T_1 + T_2 \quad (2)$$

gdzie:

T_1 – rzeczywisty czas, jaki upłynął od momentu wystąpienia uszkodzenia do momentu jego zauważenia bądź zgłoszenia, h
 T_2 – rzeczywisty czas oczekiwania na naprawę, tj. od momentu zgłoszenia uszkodzenia do momentu rozpoczęcia działań wyłączenia przewodu wodociągowego z pracy, h

Czas, jaki upłynął od momentu powstania uszkodzenia do momentu jego zauważenia czy zgłoszenia (T_1) jest trudny do dokładnego ustalenia. W celu określenia czasu T_1 , odgrywającego



Rys. 1. Schemat blokowy hierarchizacji czynności związanych z usuwaniem awarii na sieci wodociągowej

istotną rolę w statystyce eksploatacyjnej systemów dystrybucji, wprowadzono dodatkowy element w SSUU, którym jest patrolowanie wyznaczonych rejonów miasta przez ekipy pogotowia technicznego MPWiK. Wprowadzenie obowiązku patrolowania miasta przez samochody pogotowia technicznego ma w sytuacjach awaryjnych szczególne znaczenie, gdyż w każdym rejonie miasta znajduje się co najmniej jeden samochód przygotowany do natychmiastowego podjęcia czynności wyłączenia odcinka przewodu wodociągowego, na którym nastąpiło uszkodzenie. W razie potrzeby kierowane są do pomocy ekipy z sąsiednich rejonów miasta.

Należy podkreślić, iż patrolowanie miasta odgrywa istotną rolę w procesie eksploatacji dużych systemów dystrybucji wody, gdyż powoduje skrócenie czasów T_1 i T_2 . Oprócz tego patrolowanie poszczególnych rejonów miasta ma na celu stałą kontrolę prawidłowego funkcjonowania systemu dystrybucji wody. Wszelkie nieprawidłowości, jak na przykład nielegalny pobór wody, nieprawidłowe odprowadzenie wód z odwodnienia wykopów, usterki na sieci wodociągowej (brak pokrywy wjazdu, uszkodzone skrzynki hydrantowe lub do zasuw i przepustnic) są natychmiast zgłaszane do dyspozytora pogotowia technicznego w celu ich szybkiego usunięcia.

Kolejnymi celami SSUU są:

- kompleksowe ujęcie czynności związanych z naprawą uszkodzeń sieci wodociągowej (usuwanie uszkodzeń wraz ze wszystkimi nieprawidłowościami na wyłączonym odcinku),
- zminimalizowanie czasu trwania zakłóceń w funkcjonowaniu miasta oraz ewentualnych ograniczeń w dostawie wody,
- ograniczenie strat wody powstałych w wyniku uszkodzeń poszczególnych fragmentów sieci wodociągowej,
- zminimalizowanie społecznych kosztów awarii, takich jak straty czasu z powodu wprowadzonych objazdów, straty ponoszone przez odbiorców w wyniku braku dostawy wody,
- minimalizowanie kosztów eksploatacji.

W analizowanym okresie, tj. w latach 1996–1999, zostały wykonane prace modernizacyjne polegające na:

- ułożeniu wewnętrznych powłok cementowych w magistralnych przewodach wodociągowych (ok. 30 km),
- kompleksowej wymianie starego uzbrojenia na nowoczesne uzbrojenie wodociągowe (przepustnice, kompensatory mieszkowe, odpowietrzniki, zasowy odwodnieniowe i liniowe z tzw. miękkim uszczelnieniem),

– przebudowie sieci wodociągowej (ok. 60 km) z zastosowaniem żeliwa sferoidalnego itp.

Analiza częstości uszkodzeń sieci wodociągowej

Częstość uszkodzeń sieci wodociągowej (C) wyraża stosunek liczby uszkodzeń w przedziale czasu do długości tego przedziału i liczby badanych elementów [3,4]. Zależność służąca do wyznaczania tego wskaźnika na podstawie danych pochodzących z eksploatacji przewodów wodociągowych ma postać:

$$C(t) = \frac{r(t, t+\Delta t)}{\Delta t} \quad (3)$$

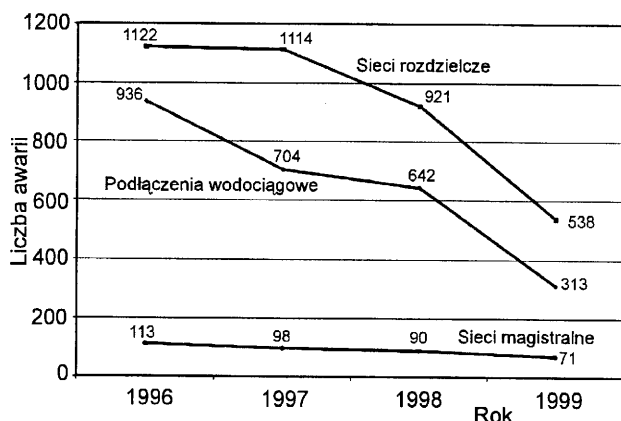
gdzie:

$r(t, t+\Delta t)$ – liczba uszkodzeń w przedziale czasu t

Δt – przedział czasu, na jaki podzielono okres obserwacji

n – liczba badanych obiektów

Liczbę uszkodzeń systemu dystrybucji wody w Warszawie w latach 1996–1999 przedstawia rysunek 2.



Fys. 2. Liczba awarii systemu wodociągowego w Warszawie w latach 1996–1999

Jednostkowa częstość uszkodzeń (C_L) określa liczbę uszkodzeń przypadających na jednostkę długości przewodu (np. na 1 km) w ciągu określonego czasu (np. w ciągu roku) [3]. Wskaźnik ten można wyrazić zależnością:

$$C_L = C/L \quad (4)$$

gdzie:

C – liczba uszkodzeń rozważanych elementów w określonym przedziale czasu t , lata

L – jednostkowa długość przewodu, km

W tabeli 2 podano jednostkowe częstości uszkodzeń podsystemów magistral wodociągowych, sieci rozdzielczych oraz podłączeń wodociągowych.

Jak widać, wartości liczbowe jednostkowej częstości uszkodzeń (C_L) wykazują tendencje malejącą. Na podstawie zaprezentowanego materiału statystycznego dla badanego okresu 1996–1999 należy stwierdzić, iż jednostkowa częstość uszkodzeń maleje, a badane wartości nie odbiegają zasadniczo od wskaźników europejskich, tj. $0,2 \pm 0,5$ uszkodzeń na kilometr w ciągu roku [5].

Wnioski

◆ Prezentowany materiał badawczy jednoznacznie potwierdził pozytywny wpływ zastosowania systemu sprawnego usuwania uszkodzeń (SSUU) oraz systematycznego modernizowania

Tabela 2. Częstość uszkodzeń warszawskiego systemu wodociągowego w latach 1996–1999

Rok	Długość sieci km	Częstość uszkodzeń 1/a	Jednostkowa częstość uszkodzeń 1/km · a
Sieć magistralna			
1996	370,0	113	0,31
1997	373,2	98	0,26
1998	376,0	90	0,24
1999	379,3	71	0,19
Średnia	374,6	93	0,25
Sieć rozdzielcza			
1996	1588,0	1122	0,71
1997	1603,6	1114	0,69
1998	1621,9	921	0,57
1999	1631,8	538	0,33
Średnia	1611,3	924	0,58
Podłączenia wodociągowe			
1996	603,3	936	1,55
1997	614,5	704	1,15
1998	622,7	642	1,03
1999	635,9	313	0,49
Średnia	619,1	649	1,06

elementów układu dystrybucji wody na jego niezawodność, co dało wymierne korzyści w wynikach finansowych przedsiębiorstwa oraz spowodowało ustabilizowanie pracy systemu wodociągowego.

◆ Analiza częstości uszkodzeń systemu dystrybucji wody do picia w Warszawie w latach 1996–1999 wykazała spadek liczby awarii, co było konsekwencją zarówno zastosowania SSUU, jak i prac modernizacyjnych przeprowadzonych na sieci wodociągowej. Na podkreślenie zasługuje fakt skrócenia czasu oczekiwania na naprawę, a szczególnie czasu, jaki upływa od momentu wystąpienia awarii do momentu zgłoszenia bądź zauważenia uszkodzenia przez ekipy patrolujące miasto.

◆ W wyniku równoległego prowadzenia działań eksploatacyjnych i modernizacyjnych uzyskano istotne obniżenie strat wody, a także strat materialnych i społecznych, co w konsekwencji doprowadziło do zmniejszenia kosztów obsługi systemu wodociągowego.

◆ Kompleksowe ujęcie zagadnień eksploatacyjnych przyczyniło się w znaczący sposób do podwyższenia standardu usług wodociągowych, głównie poprzez zwiększenie niezawodności funkcjonowania systemu dystrybucji wody.

LITERATURA

1. S. DENCZEW: Praktyczne doświadczenia odnośnie utworzenia i wdrożenia Systemu Sprawnego Usuwania Uszkodzeń (SSUU) sieci wodociągowej w Warszawie. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1998, nr 6, ss. 248–253.
2. S. DENCZEW: Analiza częstości uszkodzeń sieci wodociągowej w Warszawie w świetle badań eksploatacyjnych. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1999, nr 9, ss. 319–321.
3. M. ROMAN: Niezawodność przewodów sieci wodociągowej w świetle danych z eksploatacji. Mat. konf. „Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych”, PZITS, Kielce 1986, ss. 269–284.

4. A. WIECZYSTY: Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych. Teoria niezawodności i jej zastosowanie. Skrypt Politechniki Krakowskiej, cz. 1 i 2, Kraków 1990.

5. S. A. RYBICKI: Wybrane zagadnienia zwiększenia niezawodności dostawy wody w systemach wodociągowych. Mat. konf. „Intensyfikacja zaopatrzenia w wodę miast i osiedli”, PZITS, Katowice–Wiśla 1981.

A Novel Pipe Damage Repair System Implemented by the Waterworks of Warsaw

In 1996, the Municipal Water Supply and Sewerage Enterprise of Warsaw (MPWiK) designed and implemented a computerized system enabling a smooth and efficient repair of pipe damage (SSUU). The primary objective of the SSUU is to co-ordinate the repair work from the moment of failure occurrence to the moment of terminating damage repair. This includes establishing the timetable, selecting appropriate equipment for

the maintenance and repair crew, determining the most effective sequence of tasks, as well as co-ordinating relevant municipal and support services. The SSUU (which has worked for four years now) has decreased the failure rate and material loss. With a joint approach to the problem of pipeline reliability the MPWiK has been able to upgrade the quality of service.