

**Izabela ZIMOCH^{1,2},
Andrzej SOŁTYSIK**

*Politechnika Śląska¹
Instytut Inżynierii Wody i Ścieków
Gliwice*

*Górnśląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A.²
Katowice*

WPŁYW MODERNIZACJI PODSYSTEMU DYSTRYBUCJI WODY NA JAKOŚĆ ŚWIADCZONYCH USŁUG WODOCIĄGOWYCH

INFLUENCE OF WATER DISTRIBUTION SUBSYSTEM MODERNIZATION ON THE LEVEL OF WATER SUPPLY OFFER SERVICES

This paper contains the preliminary reliability analysis of selected water distribution subsystem part, which supplies water to the inhabitants of the Silesian agglomeration. This water distribution subsystem is governed by the Upper Silesian Water-pipe Company in Katowice. The reliability estimation contains calculations of basic parameters such as: failure and recovery rate, average time to failure, average recovery time and stationary availability factor. The analysis of influence of water distributions modernization involved the pressures control system on increase the technical reliability level of its operating and guarantee of water delivery to inhabitant, are showed in this article too.

1. Wprowadzenie

Aplikacje podstaw teorii niezawodności w analizach pracy systemów zaopatrzenia w wodę (SZW) czy też wybranych jego podsystemów, układów i elementów uznane są już w praktykach zarządzania przedsiębiorstwami wodociągowymi jako standard, jednak ciągle stanowią dyscyplinę naukową niewpełni rozpoznaną. Celem badań niezawodności sieci wodociągowej jak i wielu innych elementów systemu zaopatrzenia w wodę jest między innymi wykrycie „słabych ogniw” systemu, poznanie czynników powodujących uszkodzenia, a w konsekwencji podjęcie działań mających na celu ich eliminację. Analiza warunków eksploatacji w aspekcie niezawodności sieci wodociągowej odnosi się ponadto do określenie kryteriów uszkodzeń podsystemu i stanów granicznych pracy wydzielonych stref zasilania. Ocena awaryjności podsystemu dystrybucji wody (Ps-

DyW), a w konsekwencji powstałych skutków i strat, jest zagadnieniem trudnym do rozwiązania wymagającym rozważania szerokiego zakresu zdarzeń losowych, kształtujących warunki jego eksploatacji. Wynika to przede wszystkim z wielofunkcyjności tego podsystemu. Ponadto budowa podsystemu, mnogość różnych elementów go budujących, jak i zmienność parametrów hydraulicznych jego pracy to kolejne aspekty wpływające na trudności podejmowanych analiz niezawodnościowych. Problem wpływu wysokości ciśnienia na awaryjność sieci wodociągowej, koszty jej napraw jak i zmiany parametrów jakości transportowanej wody do odbiorcy, nie był dotychczas przedmiotem badań in situ oraz licznych rozważań teoretycznych. Parametr ten uwzględniany jest przede wszystkim przy ocenie wielkości przecieków wody, które stanowią największy udział w stratach wody w systemach wodociągowych. Wielkość przecieków wody zależy w istotny sposób od liczby awarii podsystemu dystrybucji wody, czasu ich trwania oraz natężenia wypływu wody przez uszkodzone elementy sieci jak i od wysokości ciśnienia panującego w sieci.

Rezultaty szerokich badań niezawodnościowych pozwalają w sposób racjonalny zarządzać infrastrukturą techniczną systemu wodociągowego, a także mogą być niezbędnym narzędziem decyzyjnym zarówno przy planowaniu inwestycji modernizacyjnych, jak i strategii rozwoju współczesnych przedsiębiorstw wodociągowych. Badania powyższe dają ponadto możliwość wytypowania tych obszarów podsystemu dystrybucji wody, w których istnieje potencjalne zagrożenie wtórnego skażenia wody, będące efektem braku stabilności rozbioru wody w systemie czy też zwiększonej awaryjności sieci.

2. Śląski podsystem dystrybucji wody

Współczesny wodociąg grupowy na terenie Śląska swoim zasięgiem zasila w wodę obszar GOP-u i ROW-u oraz rejonu Jaworzna łącznej powierzchni około 4,3 tys. km², co zalicza go do nielicznych tak dużych systemów w Polsce, a nawet w Europie. Dostarcza wodę do 66 gmin województwa śląskiego, stanowiąc źródło zasilania w wodę dla blisko 3 miliony mieszkańców regionu. Niektóre gminy częściowo zaopatrują się w wodę z własnych ujęć, na poziomie zaledwie 17% ilości wody dostarczanej przez Górnos Śląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A. Gminy te traktują niejednokrotnie system wodociągowy Górnos Śląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów S.A. jako uzupełniające źródło lub jako system rezerwowy, gwarantujący im dostarczenie wody do odbiorców w każdej zaistniałej sytuacji eksploatacyjnej. Powyższy fakt wymusza na przedsiębiorstwie konieczność utrzymania w pełnej gotowości maksymalnej mocy produkcyjnej, na wypadek wystąpienia w systemie zdarzeń nadzwyczajnych.

Górnos Śląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A. każdego dnia produkuje i dostarcza do odbiorców aglomeracji śląskiej kilkaset tysięcy metrów sześciennych wody pitnej. Obecnie system ujmuje i uzdatnia wodę w 11 zakładach produkcji. Woda z podsystemu produkcji kierowana jest do silnie rozbudowanego podsystemu jej dystrybucji. Podstawowymi odbiorcami wody są rejonowe przedsiębiorstwa wodociągów i kanalizacji (86% ilości sprzedawanej wody), które z kolei swoimi lokalnymi sieciami wodociągowymi dostarczają ją bezpośrednio do konsumentów.

Do transportu wyprodukowanej wody wykorzystywane jest ponad 1000 km sieci magistralnej, głównie w zakresie dużych średnic 1800 – 500 mm. Przewodów o średnicy poniżej Ø500 jest zaledwie 12,8% całkowitej długości sieci wodociągowej. Zasadniczy trzon w budowie systemu tranzytowo-magistralnego odgrywają przewody o średnicy

Ø1000 i wyższej, które tworzą blisko 50% łącznej długości omawianej sieci. Budowany przez ponad 120 lat system pierścieniowy dystrybucji pozwala między innymi na elastyczną współpracę z podsystemem produkcji wody, co zapewnia wysoką gwarancję ciągłości dostawy wody do odbiorców przy jednoczesnej minimalizacji skutków awarii i losowych postojów.

Ten wieloletni okres budowy sieci wodociągowej skutkuje również istotną różnorodnością wiekową. Istnieją tu, bowiem rurociągi o ponad 100 letniej eksploatacji stanowiące blisko 10% udział w strukturze wiekowej jak i przewody eksploatowane zaledwie 10 lat (23,3%). Intensywny rozwój aglomeracji śląskiej w latach 50-80 –tych ubiegłego stulecia powodował gwałtowną budowę sieci wodociągowe. Stąd też udział przewodów o 25-55-cio letnim czasie eksploatacji stanowi aktualnie aż 48% całkowitej długości wodociągu grupowego. Powyższy fakt, z punktu widzenia eksploatacji PsDyW w aspekcie wtórnego zanieczyszczenia wody w czasie jej transportu do konsumenta jest niekorzystny. W okresie tym bowiem jakość stosowanych materiałów do budowy podziemnej infrastruktury wodociągowej (głównie stal) pozostawia wiele do życzenia, czego konsekwencją jest aktualnie zły stan techniczny tych przewodów, wywołany głównie niszczącymi procesami korozyjnymi.

Ciągła rozbudowa oraz modernizacja, jak i eksploatacja systemu w obszarze objętym skutkami działalności górniczej, wpłynęły w istotny sposób na różnorodność struktury materiałowej. Zdecydowanie największy udział w budowie PsDyW odgrywa stal, 79,4% całkowitej długości sieci wodociągowej. Pozostała część sieci wodociągowej o łącznej długości 211,1 km wykonana jest głównie z żeliwa sferoidalnego (73,1 km), żeliwa szarego (55,7 km), PE (42 km) i żelbetu (38,8 km). Nieznaczny udział w budowie przewodów PsDyW odgrywają sieci z PCV i GFK (żywice poliuretanowe zbrojone włóknem szklanym). W odniesieniu do sieci z przewodów stalowych, dobrym stanem technicznym charakteryzuje się 120,2 km tej sieci, posiadająca wykładziny cementowe (14,6% długości przewodów stalowych) i poliuretanowe oraz rękawy poliestrowe (0,2% długości przewodów stalowych).

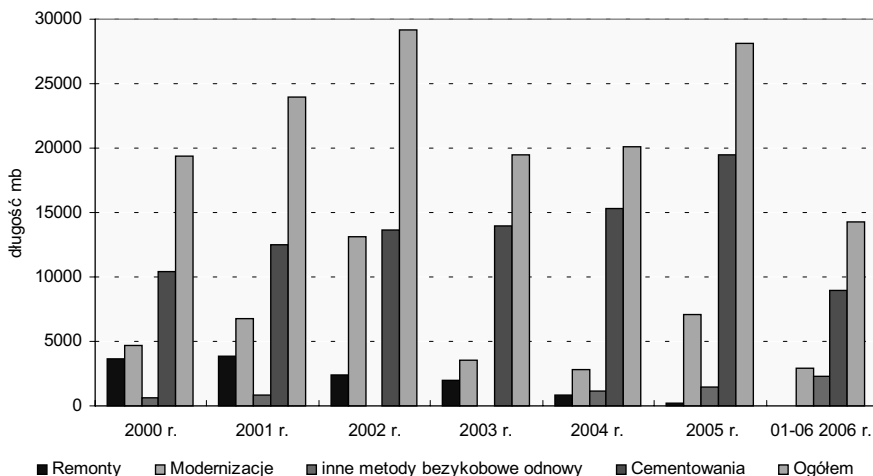
W obszarze eksploatacji wodociągu grupowego aglomeracji śląskiej zlokalizowanych jest 9 zbiorników wyrównawczych o łącznej pojemności 340500 m³ oraz 5 pompowni sieciowych. Ilość magazynowanej w nich wody stanowi około 70% ilości wody włączanej przez przedsiębiorstwo do systemu dystrybucji w ciągu doby.

3. Inwestycje remontowe i odnowa sieci wodociągowej Śląska

W Górnśląskim Przedsiębiorstwie Wodociągów S.A. od 1990 roku prowadzone są systematyczne remonty oraz modernizacje sieci, mające na celu przede wszystkim stworzenie optymalnych hydraulicznych warunków jej pracy. Przyczyną intensyfikacji powyższych prac w ostatniej dekadzie działalności firmy, było dążenie do zmniejszenia liczby awarii a co za tym idzie zmniejszenie skutków oraz obniżenie kosztów ich usuwania, jak i minimalizacja potencjalnych możliwości kontaminacji wody w podsystemie jej dystrybucji.

Prace remontowe oparte są na poprawie stanu technicznego przewodu metodami tradycyjnymi. Najczęściej obejmują one wymianę fragmentów rurociągu wraz z towarzyszącą armaturą, po wcześniejszym wykonaniu prac wykopowych. Natomiast modernizacje w Spółce to inwestycje obejmujące budowę nowej sieci wodociągowej. Podstawową

przyczyna podejmowania decyzji o modernizacji jest nie tylko zły stan techniczny fragmentu podsystemu, ale przede wszystkim konieczność zmniejszenia średnicy przewodu w celu poprawy parametrów hydraulicznych pracy. Analizując wykonanie rzeczowe podjętych prac, mających na celu odnowę PsDyW, w latach 2000-2006 (rys.1) można jednoznacznie stwierdzić, iż cementowanie to technologia, która cieszy się największym zastosowaniem na terenach objętych eksploatacją górniczą i obszarach o silnie rozbudowanej infrastrukturze podziemnej, występującej w aglomeracji śląskiej. Technologia cementowania przywraca się rocznie dobry stan techniczno sanitarny, około 14,2 km sieci wodociągowej. W latach 2000-2006 wskaźnik procentowego udziału prac wykonanych w technologiach bezwykopowych, głównie cementowanie, kształtowała się w skali roku na poziomie 46,7% - 76% długości podjętych inwestycji odnowy (średnio 61,1%).



Rys.1. Wykonanie rzeczowe inwestycji odnowy sieci wodociągowej w latach 2000-2006

Fig. 1. Renewal investments of water-pipe network – 2000-2006

4. Zasady analizy niezawodnościowej funkcjonowania PsDyW

Podsystemy dystrybucji wody są odnawialnymi obiektami technicznymi SZW, podlegającymi procesowi pracy i odnowy. W celu określenia niezawodności ich funkcjonowania wykorzystuje się najczęściej metody analizy oparte na wyznaczeniu podstawowych wskaźników niezawodności. Tak więc ustalenie warunków eksploatacyjnych, określonych jako stany niezawodnościowe stanowi podstawę doboru i oszacowania odpowiednich wskaźników niezawodności tych obiektów. Wyróżnia się dwa podstawowe stany niezawodnościowe:

- stan pracy, czyli zdatności całkowitej,
- stan niezdatności częściowej lub całkowitej.

W praktycznych analizach przyjmuje się, że powyższe stany w procesie eksploatacji obiektów technicznych, w tym wodociągowych tworzą strumienie pracy i odnowy, które są strumieniami poissonowskimi. Powyższa cecha eksploatacji pojedynczych obiektów technicznych, w oparciu o dane eksploatacyjne, pozwala wyznaczyć podstawowe parametry niezawodnościowe przedstawione w tabeli 1 [1,2,3].

Tab. 1. Wskaźniki niezawodności

Tab. 1. Reliability index

Wskaźnik niezawodności	Zależność
Średni czas pracy między uszkodzeniami	$T_p = \frac{1}{n_p} \left(T - \sum_{i=1}^{n_o} t_{ni} \right)$
Średni czas odnowy	$T_n = \frac{1}{n_o} \sum_{i=1}^{n_o} t_{ni}$
Parametr strumienia uszkodzeń obiektów liniowych	$\omega = \frac{n(t, t + \Delta t)}{L \cdot \Delta t}$
Intensywność odnowy	$\mu = \frac{1}{T_n}$
Prawdopodobieństwo pracy elementu	$R(t) = \exp(-\omega \times t)$
Wskaźnik gotowości	$K = \frac{T_p}{T_p + T_n}$

T – analizowany okres eksploatacji obiektu technicznego [h],

n_o – liczba odnow w analizowanym okresie,

n_p – liczba odcinków czasów pracy w analizowanym okresie,

t_{ni} – czas trwania i-tej odnowy [h],

$n(t, t + \Delta t)$ – liczba uszkodzeń badanych przewodów sieci wodociągowej w czasie Δt ,

L - długość badanych przewodów sieci wodociągowej [km].

5. Analiza niezawodnościowa wybranego obszaru zasilania w wodę aglomeracji śląskiej

Zadaniem lokalnej przepompowni sieciowej Staszic jest dostarczeni wody do mieszkańców Radzionkowa oraz północnych dzielnic Bytomia. Przepompownia ta wyposażona jest w układ 4 pomp typu 125 PJM 250. Aktualnie, w okresie maksymalnego rozbioru wody w sieci pompy pracują w układzie progowej struktury niezawodnościowej (2 z 4). Od maja 2004 roku w układ pracy pompowni został zainstalowany przemiennik częstotliwości firmy Danfoss typu: VLT6072 HT4C54-STR3DLF00A32CO, gwarantujący utrzymanie w podsystemie dystrybucji stałego ciśnienie wody. Pompownia Staszic jest zasilana od strony Miedzar układem przewodu tranzytowego $\varnothing 1000$ wykonanym ze stali,

doprowadzającym wodę do Gliwic, od którego w odległości o 5,7 km (od Miedar) ma miejsce odgałęzienie magistralne $\varnothing 500$ z żeliwa sferoidalnego o długości 2,87 km doprowadzające wodę bezpośrednio do przepompowni Staszic.

Tab. 2. Charakterystyka obszaru badań

Tab. 2. Characterization of research area

Obszar	Rok budowy	Średnica [mm]	Długość [km]	Zagospodarowanie terenu
1 - Pompownia Staszic – granica Bytomia	1884	$\varnothing 500$	1,3	Teren zabudowany
2 - Granica Bytomia – ul. Łokietka	1904	$\varnothing 500$	2,26	Lasy i pola
3 - ul. Łokietka – węzeł ul. Strzelców Bytomskich	1904	$\varnothing 500$	1,3	Teren zabudowany
4 - Węzeł ul. Strzelców Bytomskich – ul. Długa	1949	$\varnothing 600$	0,88	Teren zabudowany
5 - Węzeł ul. Strzelców Bytomskich – centrum Bytomia	1904	$\varnothing 500$	3,63	Teren umiarkowanie zabudowany
6 - Węzeł ul. Strzelców Bytomskich – węzeł w ul. Chłopskiej	1949	$\varnothing 600$	3,25	Lasy
7 - Węzeł w ul. Chłopskiej – węzeł w ul. Reptowskiej	1949	$\varnothing 600$	0,81	Tereny zielone
8 - Węzeł Reptowski – Elektr. Miechowice	1949	$\varnothing 600$	3,03	Teren zabudowany
9 - Skrzyżowanie w ul. Suchogórskiej – węzeł w ul. Reptowskiej	1944	$\varnothing 400$	2,96	Tereny zielone
10 - Węzeł Reptowski – Elektr. Miechowice	1944	$\varnothing 400$	3,04	Teren zabudowany

Poddany analizom niezawodnościowym system dystrybucji wody podzielono na 10 obszarów badań, charakterystyka których została przedstawiona w tabeli 2. Ocena niezawodnościowa przeprowadzona została dla horyzontu czasowego obejmujące lata 1998 – maj 2007, w którym wydzielono dwa okresy badawcze, I okres: 1998 – maj 2004 (eksploatacja sieci przed regulacją ciśnienia) oraz II okres: maj 2004 – maj 2007, obejmujący czasokres po wdrożeniu systemu kontroli ciśnienia wody w sieci wodociągowej. Analizowany system dystrybucji wody jest układem dużym, rozległym o skomplikowanej topologii i zróżnicowanym uzbrojeniu. Stosunkowo częste awarie sieci wodociągowej są wynikiem wieloletniej eksploatacji rurociągów oraz negatywnego oddziaływania środowiska zewnętrznego (szkody górnicze). Przed regulacją ciśnienie na rurociągu zasilającym omawiany obszar, przedsiębiorstwo w ciągu roku odnotowywało przeciętnie 22,3 awarie sieci wodociągowej. Po modernizacji przepompowni Staszic liczba awarii spadła aż o 38% do poziomu średniej liczby uszkodzeń na rok 13,75.

Awarie powyższe dotyczą głównie uszkodzeń korpusu rury, złączy, kompensatorów lub uzbrojenia. Przeprowadzona analiza wykazała, że najczęściej występują uszkodzenia będące skutkiem procesu korozji sieci, które stanowią blisko 78% wszystkich interwencji brygad remontowo-naprawczych w ciągu roku.

Tab. 3. Wskaźniki niezawodności dla dwóch okresów eksploatacji sieci wodociągowej

Tab. 3. Reliability parameters for two research period of water-pipe network operation

Obszar*	Wskaźnik niezawodności, jednostka				
	Intensywność uszkodzeń [uszk./km·a]	Średni czas pracy [d]	Średni czas odnowy [h]	Wskaźnik gotowości	Prawdopodobieństwo pracy
1-PRC	0,37	700,00	6,77	0,99042121	exp(-0,00128·t)
1-PORC	0,00	1128,00	0,00	1,00	1,00
2-PRC	0,28	426,00	6,58	0,98478894	exp((-0,00173·t)
2-PORC	0,00	1128,00	0,00	1,00	1,00
3-PRC	1,10	304,43	10,81	0,96570867	exp((-0,00392·t)
3-PORC	0,00	1128,00	0,00	1,00	1,00
4-PRC	5,95	61,79	7,13	0,89654672	exp((-0,01435·t)
4-PORC	1,78	222,40	7,00	0,96948561	exp((-0,00429·t)
5-PRC	0,73	540,25	6,50	0,98811157	exp((-0,00160·t)
5-PORC	0,00	1128,00	0,00	1,00	1,00
6-PRC	0,49	179,50	6,15	0,96687315	exp((-0,00436·t)
6-PORC	0,67	141,13	7,29	0,95088263	exp((-0,00597·t)
7-PRC	1,18	329,67	6,0	0,98212530	exp((-0,00262·t)
7-PORC	1,93	188,17	6,4	0,96710695	exp((-0,00428·t)
8-PRC	1,99	60,03	6,44	0,90311419	exp((-0,01652·t)
8-PORC	1,24	92,17	6,67	0,93877967	exp((-0,01029·t)
9-PRC	0,42	235,75	6,00	0,97518097	exp((-0,00341·t)
9-PORC	0,21	555,5	6,58	0,98829348	exp((-0,00170·t)
10-PRC	1,57	74,07	7,36	0,90961562	exp((-0,01308·t)
10-PORC	1,13	94,08	6,55	0,93491007	exp((-0,00941·t)

*PRC – przed regulacją ciśnienia, PORC – po regulacji ciśnienia

Średnia intensywność uszkodzeń sieci magistralnej Ø 500, w okresie przed modernizacją przepompowni Staszic, wynosiła 0,7 [uszk./km·a]. W okresie tym odnotowano elementy systemu dystrybucji wody charakteryzujące się największą intensywnością uszkodzeń 1,1 [uszk./km·a] oraz najmniejszą 0,28 [uszk./km·a] (tabela 3). W odniesieniu do II okresu analizy dla przewodu Ø 500 nie odnotowano żadnych uszkodzeń sieci. Średnia intensywność uszkodzeń przewodu Ø 600 dla okresu jego pracy przy podwyższonym ciśnieniu (zakres

zmienności 6,0 – 5,2 atm) wynosiła 2,4 [uszk./km·a] (zakres zmienności 5,95 – 0,49 [uszk./km·a] – tabela 2). Na tym przewodzie regulacja ciśnienia na przepompowni Staszic do poziomu 4,5 atm (zakres zmienności 4,3 – 4,9 atm) przyniosła największe efekty techniczne, bowiem średnia intensywność uszkodzeń przewody spadła do poziomu 1,41 [uszk./km·a] (zakres zmienności 1,93 – 0,67 [uszk./km·a] – tabela 3) co równocześnie zmniejszyło koszty eksploatacyjne z tytułu usuwania awarii. Ostatni element budujący sieć analizowanego obszaru przewód Ø 400 charakteryzował się awaryjnością dla I okresu analizy: 0,99 [uszk./km·a] (zakres zmienności 1,57 – 0,42 [uszk./km·a]) oraz dla II okresu: 0,67 [uszk./km·a] (zakres zmienności 1,13 – 0,42 [uszk./km·a]).

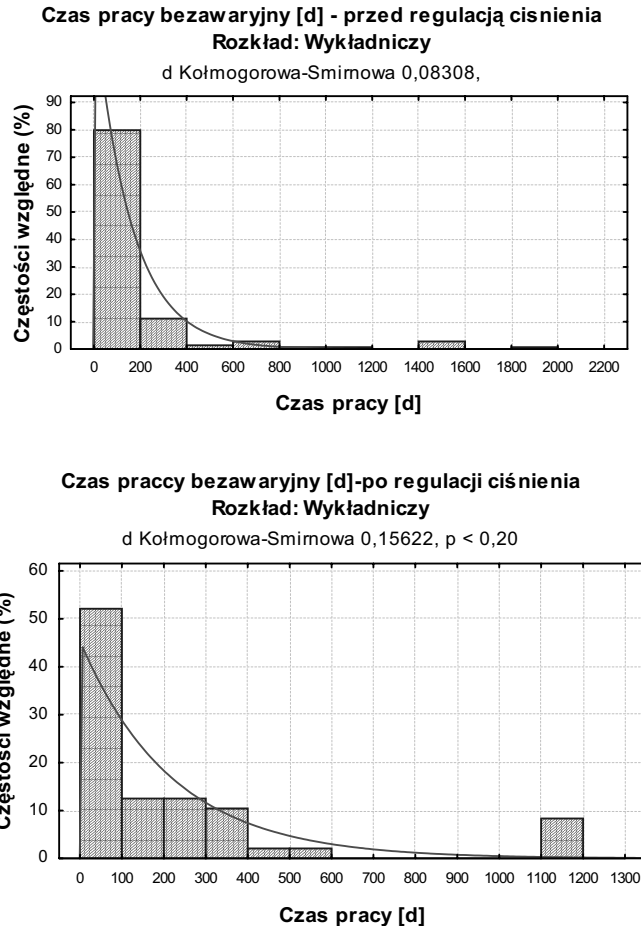
Sprawnie funkcjonujące zespoły Pogotowia Wodociągowego podnoszą niezawodność działania SZW, w wyniku minimalizacji czasu niesprawności uszkodzonych jego elementów. Sprawna interwencja objawia się również zmniejszeniem skutków występujących awarii jak i ryzyka, jakie ponosi przedsiębiorstwo eksploatując tak rozległy i złożony system zaopatrzenia w wodę. Ponadto wdrożony w przedsiębiorstwie nowy system usuwania i rejestracji awarii przyniósł oczekiwane efekty obniżenia awaryjności sieci magistralnej. Podstawowa ideą nowego systemu napraw jest nie tylko przeprowadzenie likwidacji zaistniałego losowo uszkodzenia ale równocześnie dokonanie przeglądu i oceny stanu technicznego systemu dystrybucji, które pozwalają na jednoczesne podejmowanie innych profilaktycznych działań remontowych. Taki system interwencji i przeprowadzanych remontów przez służby techniczne, przyczynił się również do wydłużenia czasu bezawaryjnej eksploatacji sieci (tabela 3). Maksymalny wzrost średniego czasu pracy bezuszkodzeniowej z poziomu 61,79 [d] do poziomu 222,4 [d] (260%) odnotowano dla IV obszaru analizy.

Jedynie w obszarze 6 i 7 badań odnotowano nieznaczny wzrost wielkości parametrów niezawodnościowych (tabela 3). Powyższy fakt tłumaczy przebudowa węzła wodociągowego w rejonie skrzyżowania ulic Łokietka i Strzelców Bytomskich oraz Długiej w roku 2000r, gdzie wykonano przewiązkę z żeliwa sferoidalnego (9160 m), pełniącą funkcje łącznika dotychczas niezależnie pracujących przewodów Ø 500 (prowadzącego wodę do centrum Bytomia) oraz Ø 600 (prowadzącego wodę z SUW Bibiela i Kozłowa Góra w kierunku zachodnich dzielnic Bytomia i Miechowic).

W ramach prowadzonych analiz dokonano identyfikacji rozkładu zmiennych czasów pracy bezawaryjnej i usuwania awarii. Weryfikacji hipotezy H_0 – zmienne mają rozkład wykładniczy - dokonano za pomocą testu Kołmogorowa-Smirnowa. Wyniki testów nie pozwoliły na odrzucenie hipotezy H_0 o wykładniczym rozkładzie bezawaryjnego czasu pracy i czasu usuwania awarii, wydzielonego obszaru dystrybucji wody znajdującego się w gestii eksploatacji Gómośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów S.A. (rys. 2).

Zastosowanie w pompowni Staszic w maju 2004r, układu stabilizacji ciśnienia przyniosło wymierne korzyści nie tylko w aspekcie niezawodności dostawy wody do mieszkańców Radzionkowa i północnych dzielnic Bytomia, ale również ujęciu ekonomicznym poprzez obniżenie kosztów spowodowanych skutkami i usuwaniem awarii. Jednym z przykładów może być zdarzenie z 3.10.2003r., kiedy to na skutek wzrostu ciśnienia o 0,9 atm w godzinach nocnych (przy najmniejszym rozbiore) badany rurociąg uległ dwukrotnie awarii – na części sieci Ø500 i kilkanaście metrów dalej na części Ø600. Pierwsza ze wspomnianych awarii spowodowała duże szkody, ponieważ woda wypływająca z pękniętego rurociągu zalała posesję w garażu, w którym znajdowały się samochody o wysokiej wartości. Mimo, iż przedsiębiorstwo jest ubezpieczone od następstw takich wydarzeń, to jednak były to realne szkody majątkowe. Również w roku 2003 brak stabilności ciśnienia w tym rejonie spowodował kilka przypadków wystąpienia awarii na sieci miejskiej gminy Radzionków. Zdarzenia powyższe spowodowały różnorodne szkody na sieci odbiorców oraz określone koszty ich usunięcia, które na podstawie zapisów KC GPW S.A. zostało zobligowane do pokrycia strat

przedsiębiorstwa gminnego. Następujące po sobie kolejne przypadki szkodliwego wpływu awarii rurociągu na otaczające środowisko i koszty jakie z tego tytułu poniosło przedsiębiorstwo, spowodowały konieczność poszukania szybkiego i skutecznego rozwiązania problemu, którym stała się modernizacja przepompowni Staszic, pozwalająca na stabilizację ciśnienia w sieci wodociągowej. Ponadto odnotowano obniżenie wskaźnika zużycia energii o 11% w skali roku, niezbędnej na wtłoczenie przez przepompownię 1 m³ wody do systemu jej dystrybucji.



Rys.2. Rozkład czasu pracy bezawaryjnej przed i po regulacji ciśnienia w sieci wodociągowej

Fig.2. Time to failure distribution before and after pressure control in water pipe network

6. Podsumowanie i wnioski

1. Przeprowadzone badania i analiza techniczno-niezawodnościowa sieci wodociągowej dostarczającej wodę mieszkańcom Radzionkowa i północnych dzielnic Bytomia, wykazała, iż wysokość ciśnienia panującego w sieci ma bardzo istotny wpływ na uszkodzalność oraz koszty usuwania awarii.
2. Obniżenie ciśnienia, które do maja 2004 utrzymywane było na zbyt wysokim poziomie, spowodowało eliminację uszkodzeń w I, II i III obszarze analizy w ponad trzyletnim okresie badań. Na pozostałym omawianym obszarze obniżenie ciśnienia spowodowało natomiast prawie dwukrotny spadek ogólnej intensywności uszkodzeń rurociągów $\varnothing 600$ (1,71 razy) oraz $\varnothing 400$ (1,55 razy). Również wydłużył się okres bezawaryjnej eksploatacji systemu przy jednoczesnym obniżeniu średniego czasu usuwania awarii dla analizowanego obszaru z poziomu 6,97 godziny do poziomu 6,75 godziny.
3. Wymiernym efektem działań, obejmujących stabilizację ciśnienie w sieci wodociągowej, jest nie tylko zwiększenie niezawodności działania podsystemu dystrybucji i obniżenie ryzyka działalności przedsiębiorstwa, ale także obniżenie kosztów napraw uszkodzeń i obciążeń finansowych z tytułu wypłacanych odszkodowań za wyrządzone szkody. Ponadto wymiernym efektem jest również obniżenie wielkości strat wody i wzrost komfortu życia społeczeństwa.

Bibliografia

- [1] Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trębaczekiewicz H. Niezawodność wodociągów i kanalizacji. Arkady , 20-31, 1993
- [2] Wieczysty A. Niezawodność miejskich systemów zaopatrzenia w wodę. Monografia Politechniki Krakowskiej nr 159,
- [3] Zimoch I., Sołtysik A. Regulacja ciśnienia w sieci wodociągowej jako warunek niezawodnej eksploatacji podsystemu dystrybucji wody. *Materiały Konferencyjne HYDROPREZENTACJE*, 219-232, 2007