

TADEUSZ ŻABA\*

## KOSZTY NIEZAWODNOŚCI

## THE COST OF RELIABILITY

## Streszczenie

Każde przedsiębiorstwo wodociągowe prowadzi systematyczne działania inwestycyjno-reмонтowe, których celem jest zapewnienie wysokiej niezawodności systemu. Powoduje to konieczność ponoszenia dużych nakładów na tę działalność, które bezpośrednio wpływają na opłaty za pobór wody i odprowadzanie ścieków. Ustalenie właściwej proporcji nakładów związanych z zapewnieniem odpowiedniego poziomu niezawodności a koniecznością systematycznego rozwoju infrastruktury technicznej jest bardzo trudne, a niejednokrotnie wyeliminowanie tylko jednego z możliwych zagrożeń powoduje konieczność znacznych nakładów finansowych.

W artykule przedstawiono wpływ kosztów poprawy niezawodności poszczególnych elementów systemu wodociągowego na koszty ponoszone przez odbiorcę wody. Jako przykłady przedstawiono budowę zbiorników retencyjnych wody uzdatnionej, renowację magistrali wodociągowej oraz montaż agregatów prądotwórczych na zakładzie uzdatniania wody. Analizy dokonano na podstawie kosztów poszczególnych rozwiązań uwzględniających ceny zaproponowane przez firmy wykonawcze w ramach organizowanych przetargów.

*Słowa kluczowe: niezawodność, koszty, infrastruktura, renowacja*

## Abstract

Each Water Works undertakes planned investment-repair activities to ensure high reliability of its system. Due to high expenditures being necessary on these activities, they have a direct impact on water supply and wastewater collection fees. Establishing an optimal proportion between expenditures related to high reliability and systematical upgrades of the technical infrastructure is a difficult task; often elimination of just one of the possible threats leads to substantial increase of costs.

The paper shows how the maintenance costs influence the costs of final product. The author of the paper investigates the above problems giving the construction of the treated water retention tanks, renovation of water-main and fitting up the treatment plant with power units as examples. The analysis is based on the prices offered by tenders within the invited bids.

*Keywords: reliability, costs, infrastructure, renovation*

\* Dr inż. Tadeusz Żaba, Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji S.A. w Krakowie.

## 1. Wstęp

Niezawodność systemu wodociągowego definiowana jest jako zdolność systemu do realizacji swoich funkcji w określonych warunkach istnienia i eksploatacji w ciągu założonego czasu [2, 3, 7]. Każde z przedsiębiorstw wodociągowych czyni starania, aby eksploatowany system był w jak najwyższym możliwym stopniu odporny na różnego rodzaju zakłócenia, które mogą się pojawić w trakcie jego eksploatacji. Działania te rodzą określone skutki finansowe, które w końcowym rozrachunku muszą znaleźć przełożenie na opłaty za pobór wody i odprowadzanie ścieków. Praktycznie każde przedsiębiorstwo wodociągowe staje przed dylematem, ile środków w budżecie przeznaczyć na poprawę niezawodności oraz które z działań stają się aktualnie niezbędne. Jest to szczególnie istotne w ostatnim okresie, gdzie mamy do czynienia z coraz częstszymi anomaliami pogodowymi, a dotychczas stosowane metody oceny niezawodności mogą okazać się niewystarczające.

## 2. Koszty eksploatacji systemu wodociągowego

Przedsiębiorstwo wodociągowe działa w określonych ramach finansowych, na które składają się przychody i wydatki. Przychody określają wpływy z opłat za wodę i ścieki, natomiast wydatki są pochodną kosztów oraz planowanych inwestycji. Podstawowym kryterium podziału kosztów w aspekcie decyzyjnym jest zachowanie elementarnego kosztu względem wielkości produkcji. Koszty utrzymania systemu wodociągowego możemy podzielić na stałe i zmienne.

Koszty stałe stanowią tę część kosztów działalności przedsiębiorstwa, która nie ulega zmianie w pewnych przedziałach wielkości produkcji przedsiębiorstwa, tj. jego zdolności wytwórczej lub usługowej. Koszty stałe kształtują się zatem w wysokości niezmiennej w poszczególnych okresach. Koszty te w przeliczeniu na jednostkę produkcji lub sprzedaży usług (w zależności od rodzaju działalności), czyli tzw. koszty jednostkowe, w miarę jej wzrostu będą maleć aż do momentu wykorzystania pełnej mocy produkcyjnej czy usługowej. Przekroczenie tej wielkości będzie już związane z doinwestowaniem firmy w przypadku rozrostu lub modernizacji (np. zakup nowej maszyny, urządzenia).

Koszty zmienne ulegają zmianie proporcjonalnie do zmiany wielkości produkcji. Ten wzrost może następować w sposób proporcjonalny w miarę zwiększania produkcji, może postępować szybciej – mamy wówczas do czynienia z tzw. kosztami zmiennymi progresywnymi, lub może postępować wolniej – wówczas występują tzw. koszty zmienne degresywne. W przypadku ograniczenia produkcji i sprzedaży koszty zmienne ulegają odpowiednio zmniejszeniu natomiast ich udział jednostkowy rośnie. Zachowują się jak liniowa funkcja względem wielkości, a jednostkowy koszt zmienny jest wielkością stałą [6].

W całości kształt tych kosztów wpisują się również koszty związane z systematycznymi remontami, modernizacją oraz rozbudową poszczególnych elementów systemu zaopatrzenia w wodę. Zwykle takie działania podyktowane są z jednej strony wymogami technicznymi, a z drugiej koniecznością zmniejszenia liczby awarii oraz poprawy parametrów systemu.

Należy zaznaczyć, że nie istnieje prosty i dokładny sposób podziału kosztów, ponieważ część kosztów posiada zarówno część stałą, jak i zmienną. Typowym przykładem kosztów mieszanych są koszty remontów, zużycia mediów oraz koszty ochrony środowiska, które tylko częściowo są zależne od wielkości produkcji. Ogólnie można uznać, że zmienność lub stałość kosztów ma charakter względny.

### 3. Możliwe kierunki poprawy niezawodności

Jednym z głównych czynników pozwalających na niezawodną pracę systemu wodociągowego jest zasilanie w energię elektryczną. W ostatnim okresie na skutek różnych zjawisk atmosferycznych, takich jak silne mrozy, opady śniegu oraz ulewne deszcze w wielu przypadkach można było stwierdzić, iż tradycyjnie stosowane dwustronne zasilanie w energię elektryczną okazało się niewystarczające. Dlatego coraz więcej przedsiębiorstw wodociągowych rozważa montaż agregatów prądotwórczych. Możliwość zasilania w energię elektryczną kluczowych elementów systemu wodociągowego stała się podstawowym wyzwaniem w czasie ostatnich powodzi, które w bieżącym roku nawiedziły niektóre rejony naszego kraju. Zwykle sprawność dostawy energii elektrycznej nie zależy od przedsiębiorstwa wodociągowego, a uwarunkowana jest ona wieloma czynnikami występującymi na rozległym terenie.

Kolejnym ważnym aspektem wpływającym na niezawodność dostawy wody jest remont i modernizacja sieci wodociągowej. Najczęściej stosowaną metodą remontu kapitalnego jest tradycyjna wymiana wykopowa polegająca na ułożeniu nowego przewodu obok starego, który zostaje wyłączony z eksploatacji. Drugą, równolegle stosowaną do wymiany przewodów, technologią remontową jest renowacja przewodów połączona z modernizacją uzbrojenia. Możemy mieć do czynienia również z sytuacją rozbudowy sieci, gdzie na skutek zwiększonego zapotrzebowania na wodę projektowana i budowana jest nowa sieć, o wyższych parametrach w zakresie przepustowości, często układana w nowej trasie, a zastępująca sieć aktualnie pracującą [11].

Remonty i modernizacje sieci wodociągowej wpływają nie tylko na jej sprawność techniczną, ale również ograniczają lub wręcz likwidują możliwość skażenia wody wodociągowej [1].

### 4. Analiza techniczna kosztów konkretnych przypadków

Do analizy kosztów inwestycyjnych związanych z poprawą niezawodności systemu wybrano rzeczywiste przypadki występujące w wodociągach krakowskich.

#### 4.1. Montaż agregatu prądotwórczego jako zasilanie awaryjne Zakładu Uzdatniania Wody Rudawa

Każdy z zakładów uzdatniania wody zasilany jest dwoma niezależnymi torami energetycznymi średniego napięcia. Obiekty te zasilane są z niezależnych stacji zasilających będących w gestii Zakładu Energetycznego. Stacje te zlokalizowane są w różnych rejonach miasta. W podobny sposób rozwiązane jest zasilanie energetyczne zakładu Rudawa. Ze względu na fakt, iż zakład pracuje bezpośrednio na miejską sieć wodociągową z pominięciem zbiorników retencyjnych, w sytuacji wyłączenia zasilania w energię elektryczną pompowni ZUW Rudawa mogą wystąpić przejściowe problemy z pokryciem pełnego zaopatrzenia w wodę z powodu lokalnych spadków ciśnienia w północno-zachodniej części Krakowa. Awarie zasilania energetycznego stanowią częstą przyczynę przerwania pracy pompowni [8].

Biorąc powyższe pod uwagę, przygotowano program wyposażenia rozdzielni głównej zakładu w odpowiedni agregat prądotwórczy pozwalający na zapewnienie normalnego funkcjonowania obiektu przy pracy z założoną wydajnością. Program ten składa się z trzech podstawowych części:

- 1) przystosowanie istniejącej rozdzielni głównej do pracy z agregatem prądotwórczym,
- 2) zakup agregatu o odpowiedniej mocy,
- 3) montaż i uruchomienie agregatu.

W tabeli 1 zestawiono szacunkowe koszty poszczególnych operacji.

Tabela 1

#### Koszty wyposażenia rozdzielni ZUW Rudawa w agregat prądotwórczy

Lp.	Opis działania	Koszt szacunkowy [zł]
1	Przystosowanie rozdzielni do pracy z agregatem	50 000
2	Zakup agregatu o mocy 700 kW	470 000
3	Montaż i uruchomienie agregatu	50 000
Razem		570 000

Jak wykazano w tabeli, inwestycja ta wymaga nakładu 570 000 zł. Jest to koszt poprawy niezawodności pracy zakładu, a co za tym idzie koszt poprawy niezawodności pracy systemu zaopatrzenia w wodę zasilanego z ZUW Rudawa, który przy założeniu zapewnienia ciągłości pracy obiektu na podstawie istniejących zasilań energetycznych można by pominąć.

#### 4.2. Remont sieci wodociągowej

Jako przykład posłuży remont sieci wodociągowej o średnicy 800 mm, o długości 1100 mb części pierwszej oraz 900 mb części drugiej rurociągu o średnicy 400 mm, w której pewien fragment był założony jako rękaw. Obie te sieci wykonano z rur stalowych w 1972 r. Ze względu na zagospodarowanie terenu zdecydowano o przeprowadzeniu remontu metodą bezrozkopową. Zdecydowano o wyborze wykonawcy na postawie przetargu nieograniczonego. W przetargu dopuszczono stosowanie różnych metod renowacji, a ich dobór zależał od oferenta. Do przetargu zgłosiło się ośmiu oferentów. Ceny za realizację przedmiotowego zakresu prac zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2

#### Zestawienie cen na renowację wytypowanych odcinków sieci wodociągowej

Numer oferty	Oferowana cena za część I [zł]	Oferowana cena za część II [zł]
1	550 000	410 000
2	5 420 000	417 350
3	719 409	346 800
4	555 830	440 300
5	–	325 884
6	927 900	–
7	1 598 031	547 800
8	1 670 000	–

Przedstawione ceny obrazują koszt realizacji zadania przy zastosowaniu różnych technik renowacji sieci wodociągowej. Jak widać z zestawienia tabelarycznego, zaproponowane oferty cenowe różnią się znacznie. Ze względu na fakt, iż głównym elementem wyboru wykonawcy przy założeniu spełnienia wszystkich wymagań jest cena zdecydowano o wyborze najtańszego wykonawcy. W związku z powyższym łączna cena remontu wyniosła 960 000 zł.

Przeprowadzony remont pozwoli na przedłużenie o około 20 do 30 lat okresu eksploatacji przedmiotowych odcinków sieci [5] oraz wydatnie wpłynie na poprawę parametrów jakościowych oraz zmniejszy liczbę awarii wodociągowych występujących w tym rejonie [10].

#### 4.3. Budowa zbiorników retencyjnych wody przeznaczonej do spożycia

Magazynowanie wody przeznaczonej do spożycia stanowi element poprawiający parametry pracy systemu wodociągowego, pozwala na optymalizację pracy zakładów uzdatniania i dzięki temu uzyskanie oszczędności energii elektrycznej oraz stanowi czasowe źródło zaopatrzenia w wodę w sytuacjach awaryjnych [4].

W krakowskim systemie wodociągowym woda do odbiorców dostarczana jest za pośrednictwem systemu dystrybucji, na który składa się złożona sieć wodociągowa z 48 zbiornikami wody, które zgrupowane są w 11 zespołów. Pomimo takiej liczby zbiorników, istnieją problemy z zapewnieniem odpowiedniej rezerwy dla dynamicznie rozwijającej się północnej części miasta. W celu poprawy niezawodności dostawy wody w ten rejon oraz ustabilizowania pracy zakładów uzdatniania planowana jest w północnym rejonie miasta budowa dwóch zbiorników wody uzdatnionej o pojemności 15 000 m<sup>3</sup> każdy.

Zbiorniki zostały usytuowane w miejscu, które zapewnia możliwość grawitacyjnego zasilania w wodę rejonów znajdujących się w ich strefie oddziaływania. Wybór lokalizacji podyktowany był usytuowaniem terenu oraz możliwościami jego pozyskania. Niestety teren planowanej budowy nie posiada infrastruktury energetycznej, co wymaga budowy odpowiednich linii zasilających. Podnosi to dodatkowo koszty planowanej inwestycji. Aktualnie trwają prace projektowe i według szacunków wstępnych koszt wybudowania zespołu zbiorników wyniesie około 75 mln zł.

### 5. Analiza ekonomiczna opisanych przypadków

Realizacja każdego z opisanych przypadków jest technicznie uzasadniona i stanowi ważny element podnoszenia niezawodności systemu zaopatrzenia w wodę. Każdy z analizowanych przypadków rodzi również określone skutki finansowe w postaci dodatkowych kosztów dla przedsiębiorstwa.

#### 5.1. Koszty eksploatacji agregatu prądotwórczego

Analizując koszty eksploatacji należy przyjąć, iż dla zachowania sprawności urządzenia wymaga ono dokonywania systematycznych czynności obsługowych oraz okresowego uruchomienia. W tabeli 3 przedstawiono szacunkowe koszty eksploatacji.

Tabela 3

#### Szacunkowe koszty eksploatacji agregatu prądotwórczego

Lp.	Rodzaj kosztu	Obliczenia	Wartość miesięczna
1	Zużycie paliwa	210 l/h × 1 h pracy miesięcznie	945 zł
2	Miesięczne przeglądy	3 h × 100 zł	400 zł
3.	Koszty przeglądów okresowych	1 × na 2 lata – koszt 10 000 zł	417 zł
Łączny koszt miesięcznej eksploatacji			1820 zł

Do przedstawionych kosztów należy doliczyć koszt amortyzacji. Przy założeniu 10% stopy amortyzacji oraz produkcji ZUW Rudawa na poziomie 600 000 m<sup>3</sup> miesięcznie montaż i eksploatacja agregatu będą powodowały wzrost kosztów wody o 0,01 zł. W rzeczywistości koszty te będą wyższe, gdyż w dziesięcioletnim okresie amortyzacji należy przewidzieć koszt części i robocizny do ewentualnych napraw. Oczywiście przedstawiony rachunek nie uwzględnia kosztów pracy agregatu w przypadku braku napięcia zasilającego zakład. Jednostkowy wzrost kosztów nie wygląda może na duży, ale biorąc pod uwagę, iż w taryfie na 2010 rok spółka podniosła cenę wody o 0,20 zł, stanowi to już 5% podwyżki.

### 5.2. Koszty remontu sieci wodociągowej

W opisanym przypadku remontu sieci trudniej jest dokonać rachunku kosztów, gdyż jako typowy remont koszty jego wykonania wliczone są bezpośrednio do bieżących kosztów dystrybucji wody. Analizowany odcinek sieci wodociągowej zasila około 50 tys. mieszkańców miasta. Przepływa przez niego 160 m<sup>3</sup> wody na godzinę. Przy tych założeniach, zakładając 20-letni okres eksploatacji, mamy do czynienia z szacunkowym wzrostem ceny wody o ok. 0,03 zł/m<sup>3</sup>. Dotyczy to wyboru najtańszej oferty. Przy zastosowaniu innej techniki renowacji wzrost kosztów byłby wyższy. Jest to oczywiście szacunek wzrostu kosztów, gdyż nie prowadzi się kalkulacji kosztów dystrybucji wody z podziałem na poszczególne odcinki sieci. Analiza pozwala natomiast na pokazanie skali problemu.

### 5.3. Koszty eksploatacji zbiorników

W tym przypadku, zakładając 40 letnią amortyzację oraz przepływ całości wody uzdatnionej na ZUW Rudawa przez zbiorniki, mamy do czynienia z jednostkowym wzrostem ceny wody o około 0,26 zł. Jest to szacunek kosztów i zakładamy, iż rozstrzygnięcie przetargowe na etapie wyboru wykonawcy będzie zawierało się niższą niż szacowana kwota. Niezależnie od amortyzacji doliczyć należy jednak również koszty eksploatacji, energii itp. Natomiast uruchomienie zbiorników pozwoli bardziej optymalnie gospodarować pracą pompowni, co wpłynie na obniżenie kosztu jednostkowego wody wychodzącej z zakładu uzdatniania.

## 6. Wnioski

Przedstawione przykłady obrazują, iż dążenie do poprawy niezawodności skutkuje koniecznością poniesienia określonych, niejednokrotnie wysokich wydatków. Zwykle wydatki te nie wpływają bezpośrednio na wzrost przychodów przedsiębiorstwa, niemniej pozwalają na bezpieczne wykonywanie funkcji, jaką przed spółką stawiają mieszkańcy, którzy coraz rzadziej wyrażają aprobatę na przerwy w dostawie wody. W związku z powyższym wydatki na poprawę niezawodności pracy systemu muszą rodzić pewne skutki dla taryfy opłat za wodę i ścieki. Idealnym rozwiązaniem byłaby sytuacja, w której gmina jako odpowiedzialna za zaopatrzenie mieszkańców w wodę i odprowadzenie ścieków określałaby wymagania w zakresie wskaźnika niezawodności systemu oraz akceptowałaby z tym związane koszty w postaci przyjęcia planu remontów i modernizacji zawierającego odpowiednie przedsięwzięcia, a będącego podstawą do opracowania wniosku taryfowego.



## Literatura

- [1] Berger M., Ways M., *Poszukiwanie przecieków sieci wodociągowych*, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2003.
- [2] Kwietniewski M., Rak J., *Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce*, Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa 2010.
- [3] Kwietniewski M. i in., *Niezawodność wodociągów i kanalizacji*. Arkady, Warszawa 1993.
- [4] Knapik K., *Dynamiczne modele w badaniach sieci wodociągowych*, Politechnika Krakowska, Kraków 2000.
- [5] Kuliczkowski J., *Strategia optymalnej odnowy przewodów wodociągowych w Krakowie*, 2004.
- [6] Marzec J., *Rachunek kosztów w zarządzaniu przedsiębiorstwem*, Polskie Towarzystwo Ekonomiczne Oddział Warszawski, Warszawa 1997.
- [7] Wieczysty A., *Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych*, cz. I i II, *Teoria niezawodności i jej zastosowania*, Politechnika Krakowska, Kraków 1990.
- [8] Wójcik W., Covar A.P., *Analiza niezawodności pompowni ścieków na sieci kanalizacyjnej w Austin USA*, *Ochrona Środowiska* nr 3–4, 1988, 36-37.
- [9] Rak J., *Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę*, Polska Akademia Nauk, Lublin 2005.
- [10] Żaba T., *Redukcja strat i poprawa jakości wody w podsystemie dystrybucji w aspekcie prowadzonych prac remontowych – analiza lat 2000–2005*, Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej NOT, Wisła 2006.
- [11] Żaba T., *Procedury likwidacji sieci wodociągowej w powiązaniu z niezawodnością systemu zaopatrzenia w wodę*, Konferencja Politechnika Krakowska, 2010.