

Iwona Skoczko • Rafał Miłaszewski • Agnieszka Kisto • Sylwia Zadrożna

## ZALEŻNOŚĆ KOSZTÓW EKSPLOATACJI STACJI UZDATNIANIA WODY PODZIEMNEJ W SUWAŁKACH OD JEJ WYDAJNOŚCI

---

Iwona Skoczko, dr hab. inż. – Politechnika Białostocka

Rafał Miłaszewski, prof. dr hab. inż. – Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie

Agnieszka Kisto, mgr inż. – Politechnika Białostocka

Sylwia Zadrożna, mgr inż. – Politechnika Białostocka

adres korespondencyjny:

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok

e-mail: wb.ktwiios@pb.edu.pl

### THE RELATIONSHIP BETWEEN THE OPERATING COSTS OF THE GROUND WATER TREATMENT STATION IN SUWAŁAKI AND ITS CAPACITY

**SUMMARY:** The objective of the article was to define a mathematical model for the relationship between the unit costs of operating an underground water treatment plant and its capacity. This model was formulated on the example of the underground water treatment station in Suwałki, Poland. The station is also described in the article. The article discusses the theoretical and practical basis for determining this relationship. Mathematical models for this relationship were established for the years 2010, 2011 and 2012. They show that the unit operating costs decrease with an increasing capacity. The relationships discussed in the article may be used as indicative guidelines when designing a groundwater treatment plant of similar capacity and technology.

**KEYWORDS:** ground waters, water treatment plant, unit costs

---

## Wstęp

Wody podziemne stanowią jeden z elementów naturalnego obiegu wody w przyrodzie. Krążenie wód podziemnych jest częścią cyklu hydrologicznego, tak więc należy je rozpatrywać łącznie z obiegiem wód w atmosferze i w obrębie wód powierzchniowych. Powstają przede wszystkim wskutek infiltracji części wód opadowych i powierzchniowych w głąb ziemi.

Zasadniczym czynnikiem stanowiącym o przydatności wody naturalnej do określonego celu jest jej skład fizykochemiczny i bakteriologiczny. Skład fizykochemiczny i bakteriologiczny wód podziemnych jest zmienny i zależy od wielu czynników, do których zalicza się między innymi czas kontaktu z warstwami skalnymi, porę roku, ilości i jakości wód opadowych, zagospodarowanie zlewni, ukształtowanie i pokrycie terenu<sup>1</sup>.

Wody podziemne ze względu na duże zasoby oraz wysoką jakość są bardzo ważnym źródłem zaopatrzenia w wodę do picia. Duże znaczenie gospodarcze oraz występujące powszechnie zagrożenie wód podziemnych wymuszają prowadzenie stałej kontroli ich jakości przez zorganizowanie systemu monitoringu wód podziemnych. Bezpieczna dla zdrowia woda musi spełniać parametry określone w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 20 kwietnia 2010 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi<sup>2</sup>.

Współcześnie cena wody pokrywa koszty jej ujmowania, uzdatniania i dostarczania do odbiorcy. Jednak przedsiębiorstwa wodociągowe muszą modernizować istniejące urządzenia oraz wprowadzać nowe technologie uzdatniania wody. Zabiegi te w znaczący sposób poprawiają jakość wody dostarczanej do naszych domów i chronią środowisko, jednak powodują wzrost cen. Należy też zauważyć, iż na koszt „wyprodukowania” wody wpływa szereg czynników, takich jak koszty budowy ujęcia, stacji uzdatniania wody, sieci przesyłowych, a także koszty eksploatacji tych systemów. Ze względu na wzrost cen wody i zwiększenie udziału kosztów jej zużycia w budżecie gospodarstw domowych, radykalnie zmieniła się też mentalność społeczeństwa, które zaczyna szanować ten drogi-cenny dar natury<sup>3</sup>.

Ustawodawca określa warunki, jakie powinna spełniać woda dostarczana ludziom na potrzeby socjalno-bytowe. Tylko wody najlepszej jakości mogą być dostarczane bezpośrednio do odbiorców komunalnych: do picia i na cele gospodarcze. Pozostałe wody muszą zostać poddane uzdatnianiu<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Ł. Weber, *Eksploatacja stacji uzdatniania wody podziemnej, cz. 1, Rodzaje i eksploatacja systemów napowietrzania ciśnieniowego wody podziemnej*, „Technologia Wody” 2010 nr 1.

<sup>2</sup> Dz.U. nr 72 poz. 466.

<sup>3</sup> R. Miłaszewski, I. Skoczko, E. Waszkiewicz, *Koszty budowy i eksploatacji stacji uzdatniania wód podziemnych*, „Technologia Wody” 2013 nr 3.

<sup>4</sup> Ł. Weber, *Eksploatacja stacji uzdatniania wody podziemnej, cz. 2, Kontrola stanu źróź filtracyjnych*, „Technologia Wody” 2010 nr 4.

Obecny poziom wiedzy technicznej pozwala na uzdatnianie wód nawet najbardziej zanieczyszczonych, ale jest to nieekonomiczne, gdyż koszty uzdatniania rosną nieproporcjonalnie wraz ze stopniem zanieczyszczenia wody. Względny ekonomiczny przemawiają za ujmowaniem wód najlepszych jakościowo. Dla zasadniczej większości wód głębinowych uzdatnianie ogranicza się do redukcji zawartości związków żelaza i manganu. Takie uzdatnianie jest technicznie stosunkowo proste<sup>5</sup>.

## Charakterystyka systemu wodociągowego i stacji uzdatniania wody w Suwałkach

System wodociągowy Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Suwałkach dostarcza uzdatnioną wodę prawie do wszystkich mieszkańców miasta Suwałki (70 tys.). Rocznie produkuje się ponad 3 mln m<sup>3</sup> wody (około 8 tys. m<sup>3</sup> dziennie), z czego sprzedaje się około 2,5 mln m<sup>3</sup>. W większości (2 mln m<sup>3</sup>) woda dostarczana jest gospodarstwom domowym. Na cele produkcyjne przeznaczają się około 60 tys. m<sup>3</sup> wody<sup>6</sup>.

Stacja uzdatniania wody jest ważnym elementem systemu wodociągowego w Suwałkach. Pracuje ona automatycznie w układzie dwustopniowego pompowania wody i jednostopniowej filtracji na wielowarstwowym złożu. Woda ujmowana jest z 19 studni głębinowych z osadów czwartorzędowych, przykrytych naprzemianległymi kompleksami przepuszczalnymi i nieprzepuszczalnymi. Średni czas eksploatacji studni w ciągu doby wynosi 15,5 godziny<sup>7</sup>.

Główne problemy z uzdatnianiem wody w Suwałkach były związane z ponadnormatywną zawartością związków żelaza i manganu oraz z jej mętnością. Wykorzystując te parametry zaprojektowano technologię oczyszczania opartą głównie na aeracji, filtracji i dezynfekcji<sup>8</sup>.

Eksploatacja systemów wodociągowych jest bardzo kosztowna. Na całkowite koszty eksploatacji tych systemów składają się: koszty materiałów, koszty energii elektrycznej, koszty remontów kapitałnych i bieżących, koszty ogólne i koszty amortyzacji na odtwarzanie. Największe koszty są związane z uzdatnianiem wody, ze względu na koszt obsługi urządzeń, mających zapewnić odpowiednią jakość wody oraz konieczność stosowania odczynników chemicznych<sup>9</sup>.

<sup>5</sup> Z. Dziembowski, *Ekonomika przedsiębiorstwa komunalnego*, Warszawa 1983.

<sup>6</sup> Zakład Usług Projektowych „Eko-Geo” M. Tatarata w Suwałkach, *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych rejonu Suwałk*, Suwałki 1993; R. Miłaszewski, I. Skoczko, E. Waszkiewicz, op. cit.

<sup>7</sup> Ibidem.

<sup>8</sup> I. Skoczko, A. Kisło, *Costs of municipal water treatment plant in the big Polish town in the Podlasie Province for the years 2012-2014*, „Journal of Ecological Engineering” 2015 nr 16

<sup>9</sup> R. Miłaszewski, *Metody określania kosztów środowiskowych i zasobowych spowodowanych użytkowaniem wód*, „Rocznik Ochrony Środowiska” 2009 nr 24

## Metoda badawcza

Celem przedstawionych w artykule badań było określenie zależności pomiędzy jednostkowymi kosztami eksploatacji a wydajnością stacji uzdatniania wody podziemnej w Suwałkach.

Przy wyliczaniu kosztów eksploatacji stacji uzdatniania wody podziemnej istnieje możliwość wykonania wykresu punktowego, który przedstawia zależność jednostkowych kosztów eksploatacji (wyrażonych w zł/m<sup>3</sup>/d) w zależności od wydajności stacji (wyrażonej w m<sup>3</sup>/d). Na postawie powstałej smugi punktów można określić kształt krzywej. Punkty na wykresie układają się w smugę hiperboli.

Model matematyczny funkcji potęgowej dla hiperboli jest następujący:

$$i = \frac{A}{Q^B} \quad (1)$$

gdzie:

k – jednostkowe koszty eksploatacji stacji uzdatniania wody [zł/m<sup>3</sup>/d],

Q – wydajność stacji uzdatniania wody podziemnej [m<sup>3</sup>/d],

A, B – współczynniki regresji [wartość bezwymiarowa].

Za pomocą programu komputerowego Microsoft Office Excel istnieje możliwość wykreślenia krzywej, a także obliczenia współczynników regresji dla danej krzywej, w efekcie czego otrzymuje się model szczegółowy.

W ten sposób wyznaczono krzywą, a także obliczono współczynniki regresji dla jednostkowych kosztów eksploatacji stacji uzdatniania wód podziemnych. Według dotychczasowych badań opisanych w literaturze fachowej<sup>10</sup>, zależność jednostkowych kosztów eksploatacji stacji uzdatniania wody podziemnej od ich wydajności, dla poziomu cen 2003 roku, można przedstawić za pomocą następującego wzoru:

$$k = \frac{1,2827}{Q^{0,1959}} \quad (2)$$

gdzie:

Q – wydajność stacji uzdatniania wody podziemnej [m<sup>3</sup>/d].

Przy stosowaniu jednostkowych kosztów eksploatacji stacji uzdatniania wód podziemnych, określonych za pomocą wzoru (2), w celu sprowadzenia ich wielkości do poziomu określonego roku można posługiwać się wskaźnikami przeliczeniowymi cen produkcji budowlano-montażowej ustalonymi przez GUS i zestawionymi w tabeli 1.

Przykładowo, wydajność stacji uzdatniania wody w Suwałkach wynosi 600 m<sup>3</sup>/h i 14400 m<sup>3</sup>/d, stąd koszt jednostkowy, dla poziomu cen 2003 roku, określony według wzoru (2) można opisać w następujący sposób:

$$k = \frac{1,2827}{14400^{0,1959}} = 0,19 \text{ [zł/m}^3\text{]} \quad (3)$$

<sup>10</sup> E. Rauba, *Koszty operatorów usług wodnych w Polsce*, w: M. Cygler, R. Miłaszewski (red.), *Materiały do studiowania ekonomiki zaopatrzenia w wodę i ochrony wód*, Białystok 2008.

Tabela 1

Wskaźniki przeliczeniowe cen produkcji budowlano–montażowej z lat 2004-2012

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Wskaźnik [%]	103,5	102,1	101,0	102,5	104,2	103,5	102,6	104,3	100,3

Źródło: *Ochrona środowiska. Informacje i opracowania statystyczne*, Warszawa 2012.

Wskaźnik przeliczeniowy, z poziomu cen 2003 roku na poziom cen 2012 roku, obliczony na podstawie danych z tabeli 1, wynosi:

$$W = *1,035*1,021*1,01*1,025*1,042*1,035*1,026*1,043*1,003 = 1,2663 \quad (4)$$

Stąd jednostkowy koszt eksploatacji stacji uzdatniania wody podziemnej w Suwałkach, dla poziomu cen 2012, roku wynosi:

$$k = 0,19 \cdot 1,2663 = 0,24 \text{ [zł/m}^3\text{]} \quad (5)$$

Powyższa wielkość wskaźnika jednostkowego kosztu uzdatniania wody podziemnej w stacji uzdatniania wody w Suwałkach została określona na podstawie orientacyjnego wzoru (2), pochodzącego z literatury fachowej oraz wskaźników przeliczeniowych cen produkcji budowlano-montażowej określonych przez GUS.

## Określenie zależności jednostkowych kosztów eksploatacji stacji uzdatniania wody podziemnej w Suwałkach od jej wydajności

Na podstawie modelu matematycznego, opisanego za pomocą wzoru (1), określono, przy wykorzystaniu danych otrzymanych z Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Suwałkach, indywidualne zależności jednostkowych kosztów eksploatacji stacji uzdatniania wody podziemnej w Suwałkach od wydajności tej stacji. Zależności te opracowano dla lat 2010, 2011 i 2012 i zaprezentowano za pomocą wzorów (6), (7), (8).

Tabela 2

Koszty eksploatacji stacji uzdatniania wody podziemnej w Suwałkach w 2010 roku

Wydajność SUW [Q]	Roczne koszty eksploatacji	Jednostkowe koszty eksploatacji
[m <sup>3</sup> /rok]	[zł/rok]	[zł/m <sup>3</sup> ]
5256000	1173754,18	0,22

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z PWiK w Suwałkach.

$$k = \frac{1173754,18}{5256000} = 0,22 \text{ [zł/m}^3\text{]} \quad (6)$$

Tabela 3

Koszty eksploatacji stacji uzdatniania wody podziemnej w Suwałkach w 2011 roku

Wydajność SUW [Q]	Roczne koszty eksploatacji	Jednostkowe koszty eksploatacji
[m <sup>3</sup> /rok]	[zł/rok]	[zł/m <sup>3</sup> ]
5256000	1202481,32	0,23

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z PWiK w Suwałkach.

$$k = \frac{1202481,32}{5256000} = 0,23 \text{ [zł/m}^3\text{]} \quad (7)$$

Tabela 4

Koszty eksploatacji stacji uzdatniania wody podziemnej w Suwałkach w 2012 roku

Wydajność SUW [Q]	Roczne koszty eksploatacji	Jednostkowe koszty eksploatacji
[m <sup>3</sup> /rok]	[zł/rok]	[zł/m <sup>3</sup> ]
5256000	1222374,21	0,23

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych otrzymanych z PWiK w Suwałkach.

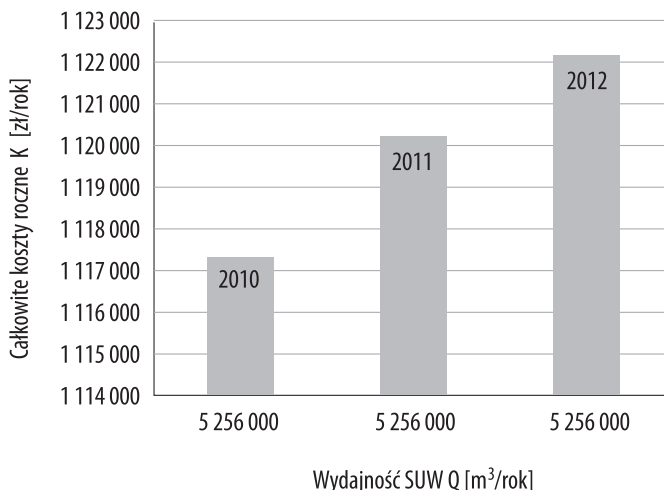
$$k = \frac{1222374,21}{5256000} = 0,23 \text{ [zł/m}^3\text{]} \quad (8)$$

Jak wynika z danych przedstawionych w tabelach 2, 3 i 4 jednostkowe koszty uzdatniania wody na stacji w Suwałkach kształtowały się w latach 2010-2012 w granicach 0,22-0,23 zł/m<sup>3</sup>. Wartości te są zbliżone do orientacyjnej wartości jednostkowego kosztu uzdatniania wód podziemnych, określonego dla wydajności stacji uzdatniania wody podziemnej w Suwałkach na podstawie informacji z literatury fachowej oraz wskaźników przeliczeniowych GUS za pomocą wzorów (3), (4) i (5).

W latach 2010-2012 wydajność stacji uzdatniania wody podziemnej w Suwałkach kształtowała się na stałym poziomie, wynoszącym 5 256 000 m<sup>3</sup>/rok. Wielkości całkowitych rocznych kosztów uzdatniania wód podziemnych w stacji uzdatniania wody w Suwałkach przedstawiono na rysunku 1, za pomocą diagramu słupkowego,.

Pomimo stałej wydajności stacji uzdatniania wody podziemnej w Suwałkach, koszty jej eksploatacji wzrosły w latach 2010-2012 około 5% (rysunek 1). Prawdopodobnie jest to spowodowane wzrostem cen rynkowych chemikaliów oraz energii elektrycznej, jak również wzrostem kosztów utrzymania stacji i wynagrodzeń personelu.

Rysunek 1  
Wykres zależności całkowitych kosztów rocznych SUW w Suwałkach od jej stałej wydajności w latach 2010-2012



## Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych w pracy analiz możliwe było sformułowanie następujących wniosków:

1. Procesy uzdatniania wód podziemnych są bardzo kosztowne. Koszty te stanowią znaczną część kosztów eksploatacji całego przedsiębiorstwa ze względu na wysokie koszty obsługi urządzeń, mających zapewnić odpowiednią jakość wody.
2. Określone w artykule wskaźniki mają charakter orientacyjny i w przypadku ich wykorzystania w kolejnych latach eksploatacji stacji uzdatniania wody w Suwałkach będą wymagały weryfikacji za pomocą wskaźników przeliczeniowych cen produkcji budowlano-montażowej.
3. Utworzone modele matematyczne jednostkowych kosztów eksploatacji mogą być stosowane do prognozowania kosztów we wstępnej fazie projektowania stacji uzdatniania wody. Zakres stosowalności wzorów ogranicza się do stacji o wydajności zbliżonej do wydajności stacji uzdatniania wody podanej analizie.
4. Z analizy sformułowanych w artykule analitycznych zależności wynika, że jednostkowe koszty eksploatacji stacji uzdatniania wody podziemnej maleją w miarę wzrostu jej wydajności.

## Literatura

- Dziembowski Z., *Ekonomika przedsiębiorstwa komunalnego*, Warszawa 1983
- Miłaszewski R., *Metody określania kosztów środowiskowych i zasobowych spowodowanych użytkowaniem wód*, „Rocznik Ochrony Środowiska” 2009 nr 24
- Miłaszewski R., Skoczko I., Waszkiewicz E., *Koszty budowy i eksploatacji stacji uzdatniania wód podziemnych*, „Technologia Wody” 2013 nr 3
- Raubia E., *Koszty operatorów usług wodnych w Polsce*, w: M. Cygler, R. Miłaszewski (red.), *Materiały do studiowania ekonomiki zaopatrzenia w wodę i ochrony wód*, Białystok 2008
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 20 kwietnia 2010 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. nr 72, poz. 466)
- Skoczko I., Kisko A., *Costs of municipal water treatment plant In the big Polish town In the Podlasie Province for the years 2012-2014*, “Journal of Ecological Engineering” 2015 nr 16
- Weber Ł., *Eksploatacja stacji uzdatniania wody podziemnej, cz. 1, Rodzaje i eksploatacja systemów napowietrzania ciśnieniowego wody podziemnej*, „Technologia Wody” 2010 nr 1
- Weber Ł., *Eksploatacja stacji uzdatniania wody podziemnej, cz. 2, Kontrola stanu złóż filtracyjnych*, „Technologia Wody” 2010 nr 4
- Zakład Usług Projektowych „Eko-Geo” M. Tatarata w Suwałkach, *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych rejonu Suwałk*, Suwałki 1993