

*Krzysztof Chmielowski, Stefan Satora, Andrzej Wałęga*

**SKUTECZNOŚĆ OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW  
NA PRZYKŁADZIE OCZYSZCZALNI  
DLA MIASTA KRYNICA-ZDRÓJ**

***THE EFFICIENCY OF THE SEWAGE TREATMENT  
BASED ON THE EXAMPLE OF THE SEWAGE TREATMENT  
PLANT FOR THE CITY OF KRYNICA-ZDRÓJ***

**Streszczenie**

W artykule przedstawiono skuteczność oczyszczania ścieków na przykładzie oczyszczalni dla miasta Krynica-Zdrój. Badania przeprowadzono w okresie od stycznia 2006 do grudnia 2007 roku. Analizie fizykochemicznej poddano następujące wskaźniki zanieczyszczenia ścieków: BZT<sub>5</sub>, ChZT<sub>Cr</sub>, zawiesinę ogólną, azot ogólny oraz fosfor ogólny. Obliczono współczynnik niezawodności działania oczyszczalni WN dla każdego z badanych wskaźników. Określono liczbę wystąpień przekroczeń dopuszczalnych wartości wskaźników w stosunku do wartości dopuszczalnej przedstawionej w pozwoleniu wodno-prawnym. Zbadano ponadto skuteczność zmniejszenia wskaźników w badanym okresie. Dodatkowo przedstawiono ilość ścieków dopływająca do oczyszczalni w poszczególnych miesiącach badanego okresu. Przeprowadzone badania wykazały znaczną efektywność usuwania zanieczyszczeń. Średnia redukcja opisywanych wskaźników kształtowała się na poziomie: BZT<sub>5</sub> – 95,03%, ChZT<sub>Cr</sub> – 90,98%, zawiesina ogólna – 94,76%, azot ogólny – 79,79%, fosfor ogólny – 63,5%.

**Słowa kluczowe:** ścieki, oczyszczalnia ścieków, skuteczność zmniejszania zanieczyszczeń

**Summary**

*The paper presents the efficiency of the sewage treatment based on the example of the sewage treatment plant for Krynica-Zdrój. The research was carried out from January 2006 to December 2007. The following sewage pollution indexes*

were physico-chemically tested:  $BOD_5$ ,  $COD_{Cr}$ , total suspended solids, general nitrogen and general phosphorus. The reliability coefficient (RC) was calculated for each of the analyzed indexes. The amount of the transgressions of the admissible index values in relation to the water law permission was defined. Moreover, the effectiveness of the indexes' decrease in the tested period was analyzed. Additionally the amount of sewage flowing into the treatment plant in each months of the tested period was presented. The carried out research showed the high efficiency of the pollutants' removal. The average reduction of the tested indexes balanced on the level of:  $BOD_5$  – 95,03%,  $COD_{Cr}$  – 90,98%, total suspended solids – 94,76%, general nitrogen - 79,79%, general phosphorus – 63,5%.

**Key words:** sewage, sewage treatment plant, efficiency of the pollutants' decrease

## WSTĘP

W życiu każdego człowieka woda stanowi nieodzowny element jego egzystencji. W gospodarstwie domowym zużywana jest ona przez nas codziennie do podstawowych czynności w ilości zróżnicowanej od wielu czynników [Obarska-Pempowiak 1996; Sikorski 1989, Sikorski 1994]. Z tak zużytej wody powstają ścieki bytowe. Zawierają one znaczne ilości zanieczyszczeń, które uniemożliwiają odprowadzenie ich do naturalnych odbiorników. Problem oczyszczania ścieków jest nadal aktualny i wymaga dalszych działań. Rozwój gospodarczy, wzrost produkcji przemysłowej, intensyfikacja rolnictwa, wzrost ilości przyłączy wodociągowych, poprawiających warunki sanitarne budynków mieszkalnych, wszystko to wpływa na większe zużycie wody i jednocześnie powstawanie coraz to większych ilości ścieków bytowych. Mimo, że w ostatnich latach obserwuje się mniejsze zużycie jednostkowe wody na mieszkańca [Bergel 2005], to znaczne dysproporcje pomiędzy wybudowanymi wodociągami i kanalizacją stanowią poważny problem [Klugiewicz, Totczyk 1995; Ciupa 1995; Błaszczuk 1999; Eymontt 2000; Pawełek i in. 2004].

Równoległe z budową kanalizacji muszą powstawać oczyszczalnie ścieków, które zapewnią odpowiednią jakość ścieków odprowadzanych do odbiorników. W ciągu ostatnich lat podwyższa się liczba budowanych oczyszczalni, zarówno dużych, jak i małych przydomowych. Według danych statystycznych w latach 2003-2005 zrealizowano łącznie 17 375 km sieci kanalizacyjnej. Również w tym okresie wybudowano 112 nowych oczyszczalni, 78 obiektów zmodernizowano i 108 modernizacji prowadzonych łącznie z rozbudową oczyszczalni ścieków – to wyniki przedstawione w sprawozdaniu z wykonania Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych. Podsumowując, do końca 2005 r. zrealizowano 323 inwestycje [Terek 2006].

Ważne jest ponadto, żeby istniejące oczyszczalnie usuwały zanieczyszczenia w stopniu już zadowalającym. Wobec czego ważne są prowadzone na bieżąco pomiary i analizy wyników badań zmierzające do oceny efektywności usuwania zanieczyszczeń. Redukcja zanieczyszczeń ścieków dopływających do

oczyszczalni zależna jest od zastosowanej technologii, stanu technicznego obiektów, ilości i jakości ścieków dopływających.

Oczekuje się obiektów oczyszczania ścieków, które charakteryzują się wysoką sprawnością, skutecznością i niezawodnością procesu oczyszczania w pełnym zakresie obciążenia. Dobrze funkcjonujące systemy kanalizacji zbiorczych i indywidualnych przyczynią się do ochrony wód powierzchniowych, gruntowych i podziemnych przed zanieczyszczeniem oraz mają istotny wpływ na stan środowiska naturalnego.

### CEL PRACY I METODYKA BADAŃ

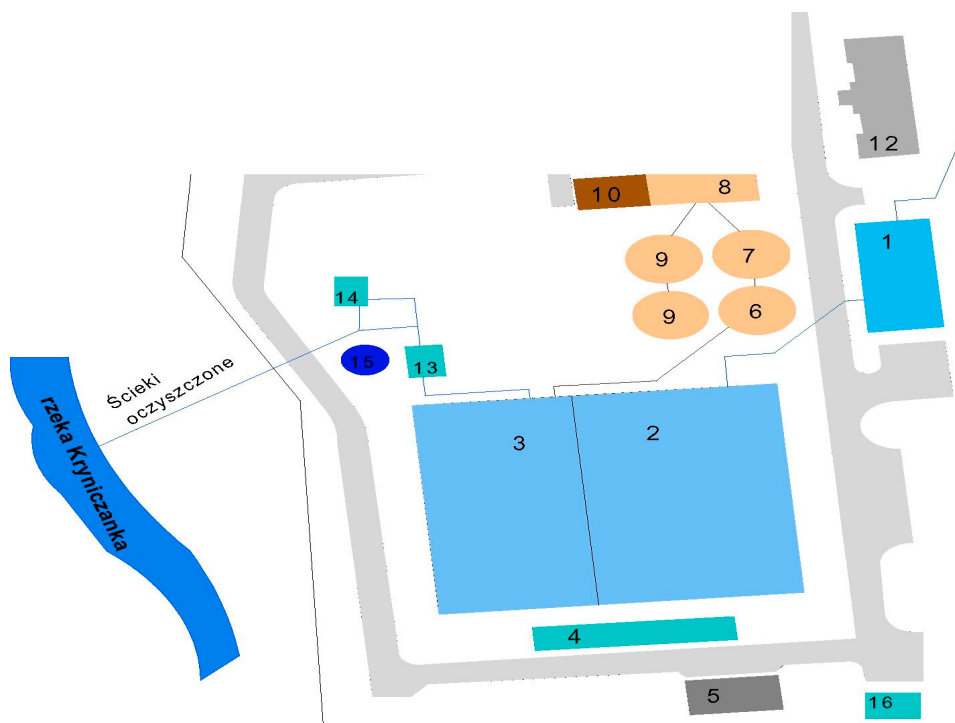
Celem artykułu było określenie skuteczności usuwania zanieczyszczeń w oczyszczalni ścieków w Krynicy Zdrój. Badano następujące wskaźniki zanieczyszczeń: BZT<sub>5</sub>, ChZT<sub>Cr</sub>, zawiesinę ogólną, azot ogólny oraz fosfor ogólny. Okres badań obejmował przedział czasowy od marca 2006 do grudnia 2007 roku. Dane dotyczące wartości wskaźników w ściekach surowych i oczyszczonych pozyskane zostały z laboratorium znajdującego się przy oczyszczalni. Na podstawie wartości wskaźników zanieczyszczenia ścieków surowych i oczyszczonych określono skuteczność zmniejszenia ich wartości.

Ponadto określono ilość przekroczeń wartości dopuszczalnych wskaźników w stosunku do przedstawionych w pozwoleniu wodno-prawnym wydanym przez stosowny organ. Określono dodatkowo ilość ścieków dopływających do oczyszczalni w okresie badawczym.

### OPIS OBIEKTU BADAŃ

Badana oczyszczalnia ścieków zlokalizowana jest w województwie małopolskim w Krynicy Zdrój. Przepływ średni dobowy wynosi 14 000 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>. Do oczyszczalni dopływają ścieki sanitarne z miejskiej sieci kanalizacyjnej. W pierwszym etapie ścieki dopływają do hali krat, skąd przepływają przez wszystkie obiekty technologiczne ciągu technologicznego (rys. 1).

Do oczyszczalni doprowadzane są również ścieki dowożone z szamb do punktu zlewnego oraz odcieki z kanalizacji zakładowej oczyszczalni. Przed halą krat zainstalowana jest krata rzadka, chroniąca obiekty przed większymi zanieczyszczeniami. Ścieki przepływają przez mechaniczne kraty łukowe (gęste), a następnie przez piaskowniki o ruchu okrężnym, gdzie następuje oddzielenie ze ścieków zawiesiny łatwoopadłej. Z piaskowników mechanicznie oczyszczone ścieki dopływają do komór osadu czynnego. Są to wielofunkcyjne reaktory do usuwania związków węgla, azotu i fosforu. Ścieki surowe wprowadzane są do strefy beztlenowej (komora defosfatacji) o stężeniu tlenu 0 gO<sub>2</sub>·m<sup>-3</sup>.



**Rysunek 1.** Schemat oczyszczalni ścieków w Krynicy Zdrój (1 – budynek krat i piaskowników, 2 – blok biologicznego oczyszczania, 3 – osadnik wtórny, 4 – stacja dawkowania flokulanta, 5 – budynek stacji transformatorowej, 6 – pompownia osadu nadmiernego, 7 – zbiornik osadu, 8 – budynek technologiczny, 9 – zamknięte komory fermentacyjne, 10 – kotłownia, 11 – magazyn osadu odwodnionego, 12 – budynek administracyjny 13 – punkt pomiarowy, 14 – komora kontaktowa i budynek chloratora, 15 – pompownia wód nadosadowych, 16 – magazyn chloru)

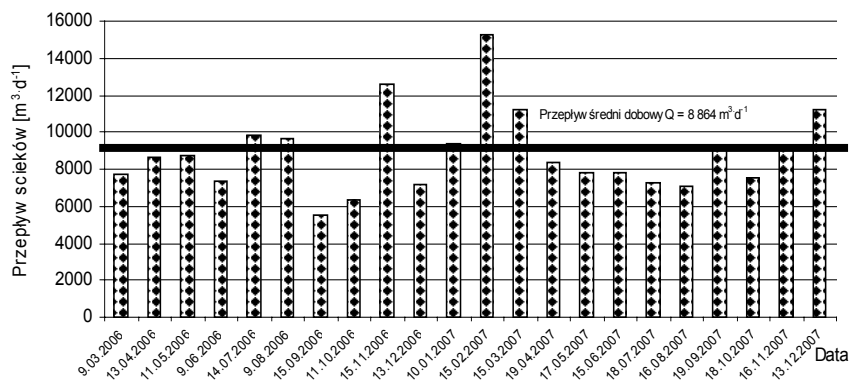
**Figure 1.** Scheme of the treatment plant in Krynica Zdrój (1 – building with grids and sand-separators, 2 – biological treatment block, 3 – secondary settlement tank, 4 – flocculant's dosage station, 5 – transformer station building, 6 – excess sludge pumping station, 7 – sludge collector, 8 – technological building, 9 – closed fermentation chambers, 10 – boiler room, 11 – dehydrated sludge repository, 12 – administration building, 13 – measuring point, 14 – catalyst chamber and chlorinator building, 15 – sludge supernatant pumping station, 16 –chlorine repository)

Do tej strefy wprowadza się też osad czynny z osadników wtórnych za pomocą pompy recyrkulacyjnej. Zachodzi tutaj proces defosfatacji biologicznej, tzn. uwalniania fosforanów z wysokoenergetycznych wiązań komórek bakteryjnych osadu czynnego do roztworu i jednoczesna absorpcja substancji organicznej. Ścieki wraz z osadem recyrkulowanym płyną następnie do komory niedo-

tlenionej (denitryfikacji). Do tej komory tłoczony jest również recyrkulat z dużą ilością azotanów z komory napowietrzania (nityfikacji). Dopływające w recyrkulacji azotany ulegają redukcji do azotu gazowego, w wyniku czego następuje obniżenie zawartości azotu ogólnego w ściekach. Pożądane stężenie tlenu w tej strefie wynosi ok.  $0,5 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ . Ze strefy niedotlenionej osad i ścieki dopływają do komory napowietrzania (nityfikacji) o stężeniu tlenu około  $2 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ . W warunkach tlenowych następuje utlenianie związków organicznych i nityfikacja związków azotu do azotynów i azotanów. Jednocześnie zachodzi tutaj proces budowy masy komórkowej bakterii, tworzenie wiązań wysokoenergetycznych i pobieranie rozpuszczonych w cieczy fosforanów, które zostaną usunięte wraz z tzw. osadem nadmiernym. Komory nityfikacji są napowietrzane za pomocą rusztu z dyfuzorami gumowymi, do których tłoczone jest powietrze z dmuchaw wyporowych. Ilość powietrza regulowana jest płynnie, zmianą obrotów. Z komory tlenowej ścieki przepływają do osadników wtórnych, gdzie następuje oddzielenie zawieszin osadu czynnego od ścieków oczyszczonych. Ścieki oczyszczone odpływają z oczyszczalni kanałem otwartym, na którym zainstalowany jest przepływomierz elektromagnetyczny.

## WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Na rysunku 2 przedstawiono ilość ścieków dopływających do oczyszczalni w Krynicy Zdrój w okresie od marca 2006 roku do grudnia 2007 roku.

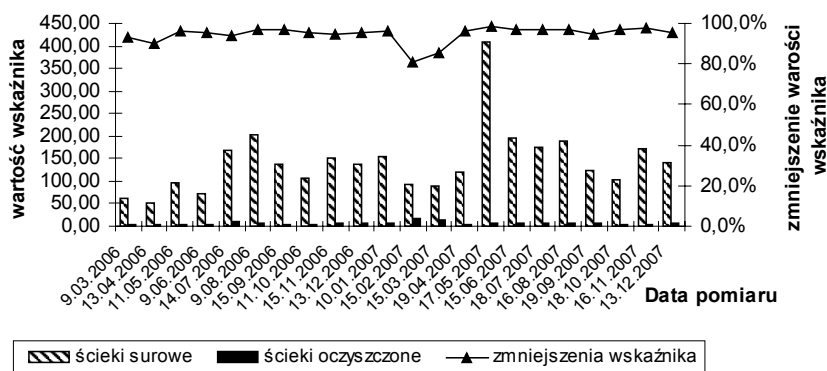


**Rysunek 2.** Zestawienie przepływów przez oczyszczalnię w Krynicy Zdrój w badanym okresie

**Figure 2.** Comparison of the flows in the treatment plants in Krynica Zdrój in the tested period

Na podstawie danych zawartych na rysunku 2 można stwierdzić, że przepływ minimalny wyniósł  $5\,500\text{ m}^3\text{d}^{-1}$  podczas gdy przepływ maksymalny ukształtował się na poziomie  $15\,229\text{ m}^3\text{d}^{-1}$ . Wartość średnia przepływu ścieków przez oczyszczalnię uplasowała się na poziomie  $8864\text{ m}^3\text{d}^{-1}$ .

W dalszej części rysunkach od 3 do 7 przedstawiono wyniki badań dotyczące wartości analizowanych wskaźników w ściekach surowych i oczyszczonych oraz skuteczność ich zmniejszenia.

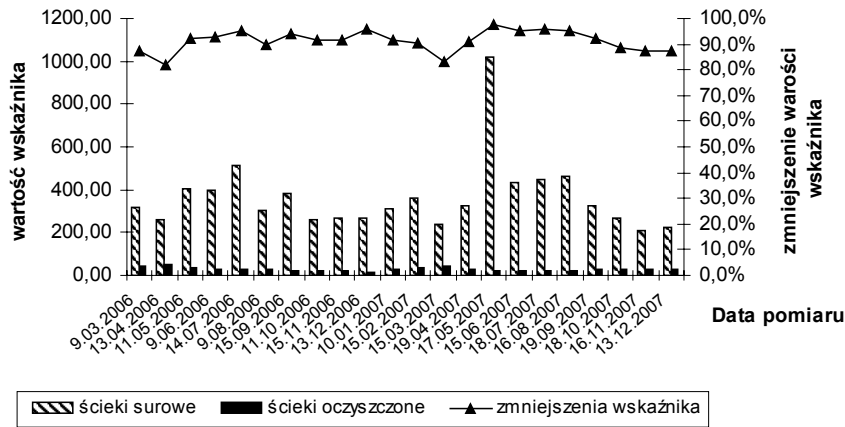


**Rysunek 3.** Wartość BZT<sub>5</sub> ścieków surowych i oczyszczonych oraz skuteczność jego zmniejszenia

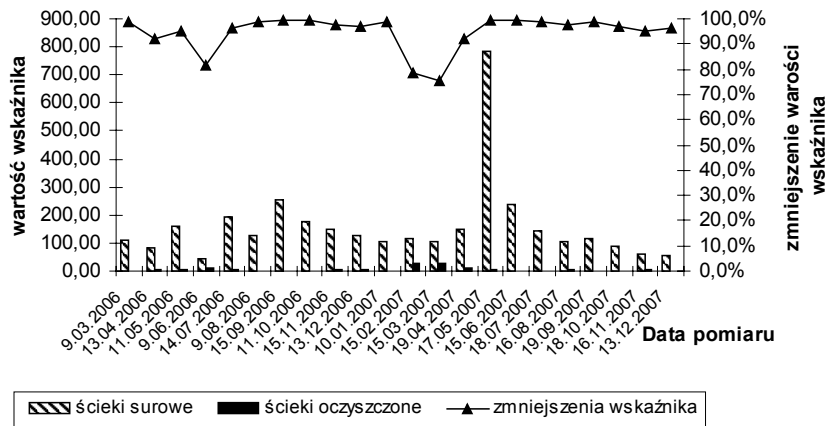
**Figure 3.** Comparison of BOD<sub>5</sub> values of raw sewage and treated sewage and effectiveness of its reducing

Analizując dane zawarte na rysunku 3, można stwierdzić, że wartość BZT<sub>5</sub> ścieków surowych wahała się w przedziale od 52 do 409 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, wartość średnia uplasowała się na poziomie 143 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Zaobserwowano bardzo niskie wartości BZT<sub>5</sub> ścieków oczyszczonych, które wahały się od 3,0 do 18,0 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Wartość średnia tego wskaźnika w ściekach oczyszczonych wyniosła 6,0 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Są to bardzo niskie wartości, biorąc pod uwagę, że dopuszczalna wartość tego wskaźnika według pozwolenia wodno-prawnego wynosi 25 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Na 22 analizowane próbki ścieków oczyszczonych nie stwierdzono żadnych przekroczeń wartości dopuszczalnej. Skuteczność zmniejszenia BZT<sub>5</sub> wahała się od 81,2 do 98,2%. Średnia skuteczność zmniejszenia BZT<sub>5</sub> wyniosła 94,7%.

Na rysunku 4 przedstawiono dane dotyczące wartości ChZT<sub>Cr</sub> w ściekach surowych i oczyszczonych oraz skuteczność zmniejszenia tego wskaźnika. Minimalna wartość ChZT<sub>Cr</sub> w ściekach surowych wyniosła 213 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> podczas gdy wartość maksymalna wyniosła 1017 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Średnia wartość ChZT<sub>Cr</sub> w ściekach surowych ukształtowała się na poziomie 365 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>.



**Rysunek 4.** Wartość  $ChZT_{Cr}$  ścieków surowych i oczyszczonych oraz skuteczność jego zmniejszenia  
**Figure 4.** Comparison of COD values of raw sewage and treated sewage and effectiveness of its reducing

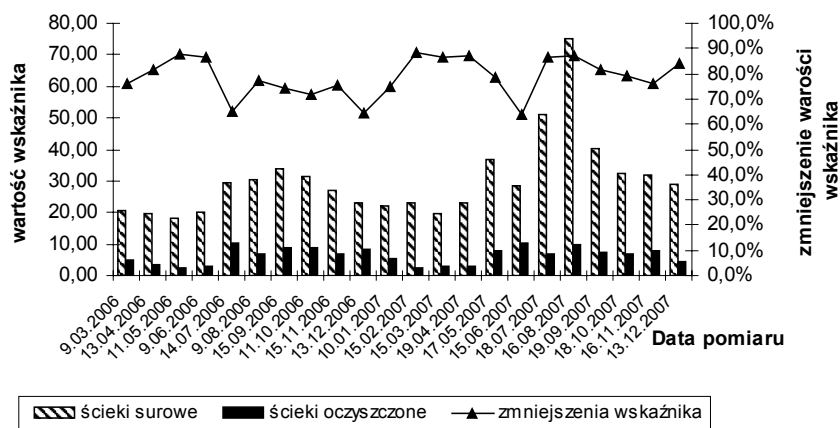


**Rysunek 5.** Stężenie zawiesiny ogólnej ścieków surowych i oczyszczonych oraz skuteczność jej zmniejszenia  
**Figure 5.** Comparison of total suspended solids values of raw sewage and treated sewage and effectiveness of its reducing

Wartości  $\text{ChZT}_{\text{Cr}}$  w ściekach oczyszczonych mieściły się w granicach od 11,4 do 47  $\text{mgO}_2\text{dm}^{-3}$ . Wartość średnia  $\text{ChZT}_{\text{Cr}}$  w ściekach oczyszczonych wyniosła 27,9  $\text{mgO}_2\text{dm}^{-3}$ . Wartość dopuszczalna przedstawiona w pozwoleniu wodno-prawnym wynosi 125  $\text{mgO}_2\text{dm}^{-3}$ . Nie stwierdzono żadnych przekroczeń wartości dopuszczalnej na 22 zbadanych próbek ścieków. Skuteczność zmniejszenia  $\text{ChZT}_{\text{Cr}}$  wahała się od 82,0 do 97,7%. Średnia skuteczność zmniejszenia  $\text{ChZT}_{\text{Cr}}$  wyniosła 91,2%.

Analizując dane z rysunku 5, można stwierdzić że minimalne stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach surowych wyniosło 45  $\text{mgdm}^{-3}$ , podczas gdy wartość maksymalna ukształtowała się na poziomie 786  $\text{mgdm}^{-3}$ . Wartość średnia zawiesiny ogólnej w ściekach surowych dla badanego okresu wyniosła 159  $\text{mgdm}^{-3}$ . Stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych mieściło się w granicach od 1 do 26  $\text{mgdm}^{-3}$ . Wartość średnia zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych uplasowała się na poziomie 6  $\text{mgdm}^{-3}$ . Wartość dopuszczalna przedstawiona w pozwoleniu wodno-prawnym wynosi 35  $\text{mgdm}^{-3}$ . Nie stwierdzono żadnych przekroczeń wartości dopuszczalnej na 22 pobrane próbki ścieków. Skuteczność zmniejszenia zawiesiny ogólnej wahała się od 75,6 do 99,6%. Średnia skuteczność zmniejszenia tego wskaźnika wyniosła 94,8%.

Rysunek 6 przedstawia dane dotyczące stężenia azotu ogólnego w ściekach surowych i oczyszczonych oraz skuteczność zmniejszenia tego wskaźnika.



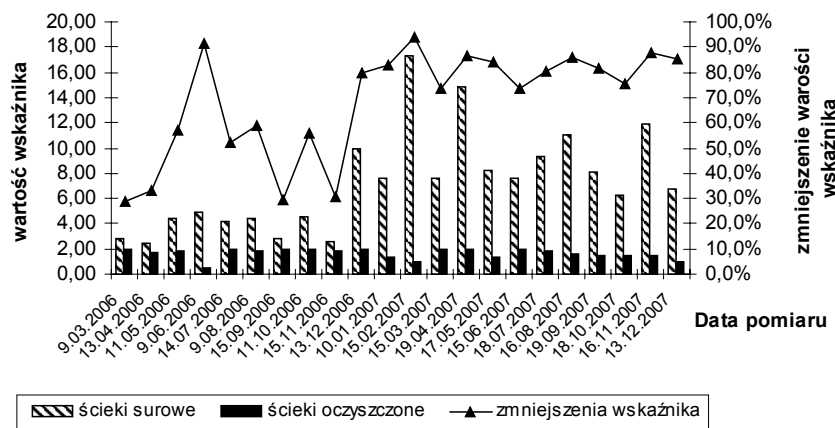
Rysunek 6. Stężenie azotu ogólnego ścieków surowych i oczyszczonych oraz skuteczność jego zmniejszenia

Figure 6. Comparison of total nitrogen values of raw sewage and treated sewage and effectiveness of its reducing



Minimalne stężenie azotu ogólnego w ściekach surowych wyniosło  $18,1 \text{ mgN}_{\text{og}} \text{ dm}^{-3}$ , podczas gdy wartość maksymalna wyniosła  $74,9 \text{ mgN}_{\text{og}} \text{ dm}^{-3}$ . Średnie stężenie azotu ogólnego w ściekach surowych ukształtowało się na poziomie  $30,3 \text{ mgN}_{\text{og}} \text{ dm}^{-3}$ . Stężenie azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych mieściło się w granicach od 2,2 do  $10,3 \text{ mgN}_{\text{og}} \text{ dm}^{-3}$ . Wartość średnia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych wyniosła  $6,3 \text{ mgN}_{\text{og}} \text{ dm}^{-3}$ . Wartość dopuszczalna tego wskaźnika przedstawiona w pozwoleniu wodno-prawnym wynosi  $15 \text{ mgN}_{\text{og}} \text{ dm}^{-3}$ . Nie stwierdzono żadnych przekroczeń wartości dopuszczalnej na 22 pobrane próbki ścieków. Skuteczność zmniejszenia azotu ogólnego wahała się od 63,9 do 88,6%. Średnia skuteczność zmniejszenia azotu ogólnego wyniosła 78,8%.

Na rysunku 7 zestawiono dane dotyczące stężenia fosforu ogólnego w ściekach surowych i oczyszczonych oraz skuteczność zmniejszenia tego wskaźnika. Minimalne stężenie fosforu ogólnego w ściekach surowych wyniosło  $2,5 \text{ mgP}_{\text{og}} \text{ dm}^{-3}$ , podczas gdy wartość maksymalna wyniosła  $17,3 \text{ mgP}_{\text{og}} \text{ dm}^{-3}$ . Średnie stężenie fosforu ogólnego w ściekach surowych ukształtowało się na poziomie  $7,3 \text{ mgP}_{\text{og}} \text{ dm}^{-3}$ . Stężenie fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych mieściło się w granicach od 0,4 do  $2,0 \text{ mgP}_{\text{og}} \text{ dm}^{-3}$ . Wartość średnia fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych wyniosła  $1,6 \text{ mgP}_{\text{og}} \text{ dm}^{-3}$ . Wartość dopuszczalna przedstawiona w pozwoleniu wodno-prawnym wynosi  $2 \text{ mgP}_{\text{og}} \text{ dm}^{-3}$ . Stwierdzono 6 wartości równych dopuszczalnej na 22 pobrane próbki ścieków. Skuteczność zmniejszenia fosforu ogólnego wahała się od 28,8 do 94,1%. Średnia skuteczność zmniejszenia fosforu ogólnego wyniosła 68,6%.



**Rysunek 7.** Stężenie fosforu ogólnego ścieków surowych i oczyszczonych oraz skuteczność jego zmniejszenia

**Figure 7.** Comparison of total phosphate values of raw sewage and treated sewage and effectiveness of its reducing

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników badań sformułowano następujące wnioski:

1. Średnia ilość ścieków dopływających do oczyszczalni wyniosła  $8864 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ .
2. Średnia skuteczność zmniejszenia  $\text{bzt}_5$  w oczyszczalni ukształtowała się na bardzo wysokim poziomie – 94,7%. Nie stwierdzono żadnych przekroczeń wartości dopuszczalnej, co świadczyć może o poprawnej pracy oczyszczalni, zarówno części mechanicznej jak i biologicznej.
3. Średnia skuteczność zmniejszenia  $\text{chzt}_{\text{cr}}$  w oczyszczalni ukształtowała się również na bardzo wysokim poziomie – 91,2% i podobnie, jak w przypadku  $\text{bzt}_5$ , nie stwierdzono żadnych przekroczeń wartości dopuszczalnej.
4. Średnia skuteczność zmniejszenia zawiesiny ogólnej w oczyszczalni wyniosła 94,7%, co stanowi bardzo dobry wynik i świadczy o tym, że proces sedimentacji zachodzi z dużą efektywnością. Nie stwierdzono żadnych przekroczeń wartości dopuszczalnej.
5. Średnia skuteczność zmniejszenia azotu ogólnego w oczyszczalni wyniosła 78,8%. Nie stwierdzono żadnych przekroczeń wartości dopuszczalnej.
6. Średnia skuteczność zmniejszenia fosforu ogólnego w oczyszczalni ukształtowała się na poziomie 68,6%. Nie stwierdzono przekroczeń wartości dopuszczalnej.

## BIBLIOGRAFIA

- Bergel T. *Optymalizacja jednostkowego dopływu ścieków jako warunek prawidłowego funkcjonowania wiejskich systemów kanalizacyjnych*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 11/2005, 2005, s. 23–25.
- Błaszczak P. *Stan obecny i perspektywy rozwoju kanalizacji w Polsce*. Materiały konferencyjne nt. Stan obecny i perspektywy rozwoju inżynierii sanitarnej i gazownictwa. Warszawa 1999, s. 37–45.
- Ciupa R. *Porównanie kosztów budowy, eksploatacji i osiągniętych efektów oczyszczania wybranych typów małych oczyszczalni ścieków w północno-wschodniej Polsce*. Techniczno-technologiczne aspekty użytkowania małych oczyszczalni ścieków. Materiały z VIII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo Technicznej z cyklu „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”. Pod redakcją Elżbiety H. Grygorczuk-Petersons. Kontenerowe i Przydomowe Oczyszczalnie Ścieków. Białystok 1995, s. 143–147.
- Eymontt A. *Możliwości zastosowania nowych materiałów i rozwiązań technicznych w projektowaniu i wykonawstwie systemów odprowadzania ścieków na wsiach*. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, z. 72, 2000, s. 341–350.
- Klugiewicz J. Totczyk G. *Zastosowanie kontenerowych oczyszczalni ścieków z TZB na terenach rolniczo-przemysłowych*. Techniczno-technologiczne aspekty użytkowania małych oczyszczalni ścieków. Materiały z VIII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo Technicznej z cyklu „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”. Pod redakcją Elżbiety H. Grygorczuk-Petersons. Kontenerowe i Przydomowe Oczyszczalnie Ścieków. Białystok 1995, s. 119–127.

- Terek K. *Bilans krajowego oczyszczania*. Przegląd komunalny 11(182), 2006.
- Obarska-Pempowiak H. *Analiza efektywności usuwania zanieczyszczeń w oczyszczalniach wodno-roślinnych i gruntowo-roślinnych w województwie gdańskim*. 1996.
- Sikorski M. *Przegląd procesów, metod i urządzeń do oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych możliwych do zastosowania w warunkach wiejskich*. Zagadnienia Techniki Sanitarnej Wsi. Oczyszczanie ścieków wiejskich, procesy, urządzenia, eksploatacyjne. Materiały konferencyjne. Wrocław 1989.
- Sikorski M. *Charakterystyka ścieków wiejskich i sposób ich unieszkodliwiania*. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie. Częstochowa 1994.
- Pawełek J., Kaczor G., Bergel T. *Wybrane zagadnienia ilościowo-jakościowe ścieków bytowych odprowadzanych wiejskimi systemami kanalizacyjnymi*. Ogólnopolska konferencja naukowo – techniczna pt. „Kanalizacja wsi – stan obecny, perspektywy rozwoju”. Poznań–Puszczykowo 2004, s 1–24.

Dr inż. Krzysztof Chmielowski,  
Dr hab. inż. Stefan Satora prof. UR,  
Dr inż. Andrzej Wałęga  
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej  
Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Recenzent: *Prof. dr hab. Jan Kempański*