

*Ryszard Ślizowski, Krzysztof Chmielowski*

## **SKUTECZNOŚĆ ZMNIEJSZENIA ZANIECZYSZCZEŃ ŚCIEKÓW W OCZYSZCZALNI „KUJAWY”**

### ***EFFECTIVENESS OF SEWAGE POLLUTANTS' REDUCTION IN „KUJAWY” SEWAGE TREATMENT PLANT***

#### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono skuteczność zmniejszenia zanieczyszczeń ścieków w Zakładzie Oczyszczania Ścieków „KUJAWY”. Oczyszczalnia „KUJAWY” przeznaczona jest do oczyszczania ścieków bytowych z dzielnicy Nowa Huta dla miasta Krakowa. Przepustowość oczyszczalni wynosi  $80\,000\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ .

Badania przeprowadzono w okresie od 01.04.2006 do 31.03.2007 roku. Analizy wyników dokonano na podstawie stężenia ścieków surowych i oczyszczonych. Analizie poddano trzy wskaźniki zanieczyszczeń z grupy podstawowej:  $\text{BZT}_5$ ,  $\text{ChZT}_{\text{Cr}}$  i zawiesinę ogólną oraz dwa z grupy eutroficznej: azot ogólny i fosfor ogólny.

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników określono średnią skuteczność zmniejszenia wskaźnika  $\text{BZT}_5$  na poziomie 98,5%.  $\text{ChZT}_{\text{Cr}}$  – 96,0%, zawiesiny ogólnej – 98,2%, azotu ogólnego – 73,7% oraz fosforu ogólnego – 91,4%.

**Słowa kluczowe:** ścieki bytowe, oczyszczalnia ścieków, skuteczność oczyszczania

#### **Summary**

*The article presents effectiveness of sewage pollutants' reduction in Sewage Treatment Plant „KUJAWY”. Treatment plant “KUJAWY” is meant to neutralise living sewage from Nowa Huta quarter for Krakow city. Capacity of the treatment plant is  $80\,000\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ . The research was carried out in the period from 01.04.2006 to 31.03.2007. Results' analysis was performed on the basis of raw and treated sewage concentration. Three pollutants' indexes from the basic group were analysed:  $\text{BOD}_5$ ,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  and total suspended solids and two indexes from the eutrophic group: general nitrogen and general phosphorus. Basing on the results'*

*analysis, mean effectiveness of BOD<sub>5</sub> reduction was defined on the level of 98,5%, COD<sub>Cr</sub> – 96,0%, total suspended solids– 98,2%, general nitrogen– 73,7% and general phosphorus – 91,4%.*

**Key words:** *living sewage, sewage treatment plant, treatment effectiveness*

## WSTĘP

Ścieki nieoczyszczone wprowadzone do wód płynących, stojących czy też do gruntu stanowią poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego. Ścieki bytowe to mieszanina wody z różnego rodzaju substancjami organicznymi i nieorganicznymi. Substancje w ściekach bytowych występują w postaci stałej i rozpuszczonej oraz w różnym stopniu zdyspergowanych – od dużych cząstek do zawiesin koloidalnych. Głównym składnikiem ścieków bytowych są fekalia ludzkie, odpadki żywności, mydła, środki piorące i czyszczące, papier, szmaty, żużel i popiół [Osmulska-Mróz 1995].

Zanieczyszczenia zawarte w ściekach można podzielić na [Sikorski 1988]:

– łatwe do oddzielenia, charakteryzujące się gęstością mniejszą, równą lub większą od gęstości wody, do których należą zanieczyszczenia makrodyspersyjne oraz zawiesiny i emulsje,

– trudne do oddzielenia, do których zalicza się zanieczyszczenia w postaci koloidalnej, molekularnej i roztworów jonowych.

Ścieki bytowe charakteryzują się dużą zmiennością wskaźników zanieczyszczeń [Sikorski 1989, 1994a, 1994b]. Tak duża zmienność wskaźników zanieczyszczeń wynika przede wszystkim z ilości wody zużywanej na 1 mieszkańca, ładunku zanieczyszczeń, czasu przetrzymania ścieków oraz warunków klimatycznych [Bernacka 1984; Heidrich, Witkowski 1993]. Skład ścieków zależy od ludzkiej aktywności i zmienia się zależnie od godziny, dnia i pory roku [Hartman 1997]. Ilość ścieków zależy od wielu czynników, między innymi od sposobu poboru wody, standardu wyposażenia mieszkań w instalację wodno-kanalizacyjną, jak również od rodzaju sieci kanalizacyjnej i samej oczyszczalni. Obecnie stosowane układy technologiczne w oczyszczalniach ścieków realizują różny stopień oczyszczenia ścieków, który można przedstawić następująco [Królikowski 1995]:

– stopień I – usunięcie ciał pływających i zawiesin łatwo opadających,

– stopień II – usunięcie 90–96% wszystkich zawiesin oraz ich zmineralizowanie (nawet do 98% rozpuszczonych związków organicznych),

– stopień III – usunięcie w znacznym stopniu związków biogenych, tj. azotu i fosforu, które powodują zwiększenie żyzności wód odbiorników, ich zarastanie, a tym samym wtórne zanieczyszczenie produktami rozkładu roślin,

– stopień IV – usunięcie prawie wszystkich ciał rozpuszczonych i bakterii, umożliwienie wtórnego wykorzystania wody odzyskanej dla potrzeb przemysłu i gospodarki.

W III stopniu oczyszczania ścieków istotne jest uzyskanie wysokiej skuteczności zmniejszenia stężenia azotu ogólnego i fosforu ogólnego. Fosfor podobnie jak azot należy do pierwiastków biogennych. Zawartość fosforu w ściekach jest ważna, gdyż przyjmuje on z reguły rolę czynnika krytycznego, którego przekroczone stężenie w wodach powoduje intensywny wzrost glonów [Hartman 1997]. Przy biologicznym usuwaniu fosforu nie można z reguły utrzymać w sposób niezawodny wartości kontrolowanej dla fosforu ogólnego. Należy z tego powodu przewidywać dodatkowo dodawanie koagulantu. Dawka koagulantu powinna być uzależniona od sprawności usuwania fosforu drogą biologiczną [Bever i in. 1997].

### **CEL BADAŃ I METODYKA BADAŃ**

Celem artykułu było określenie skuteczności zmniejszenia zanieczyszczeń ścieków w oczyszczalni „Kujawy” w Krakowie. Badania przeprowadzono w okresie od 01.04.2006 do 31.03.2007 roku. Analizę wyników przeprowadzono na podstawie stężenia ścieków surowych, oczyszczonych mechanicznie oraz oczyszczonych biologicznie. Analizie fizykochemicznej poddano trzy wskaźniki z grupy podstawowej: BZT<sub>5</sub>, ChZT<sub>Cr</sub> i zawiesinę ogólną oraz dwa z grupy eutroficznej: azot ogólny i fosfor ogólny. Wartości stężeń poszczególnych zanieczyszczeń wykonało laboratorium przy oczyszczalni „Kujawy”. Na podstawie stężeń zanieczyszczeń w ściekach surowych i oczyszczonych dokonano analizy skuteczności zmniejszania zanieczyszczeń w badanym okresie.

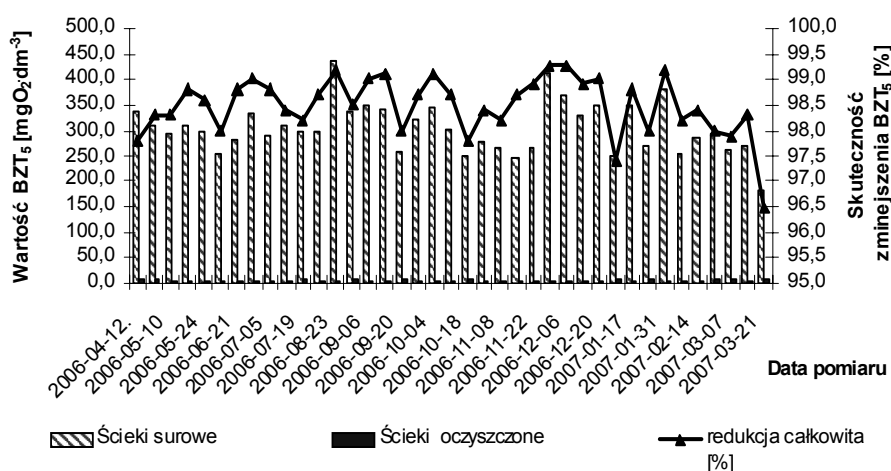
### **TECHNOLOGIA OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW W ZOŚ „KUJAWY”**

Oczyszczalnia „KUJAWY” przeznaczona jest do oczyszczania ścieków bytowych z dzielnicy Nowa Huta dla miasta Krakowa. Przepustowość oczyszczalni wynosi 80 000 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>. Ścieki dopływające do oczyszczalni „KUJAWY” w pierwszej kolejności poddawane są oczyszczaniu mechanicznemu, a następnie biologicznemu ze wspomaganie chemicznym w zakresie usuwania fosforu. Oczyszczanie mechaniczne polega na usuwaniu ze ścieków zanieczyszczeń pływających i wleczonych na kratkach rzadkich, wytrąceniu zawiesiny mineralnej (piasku) i tłuszczu w piaskowniku napowietrzonym. Następnie oczyszczaniu na kratkach gęstych. Układ taki jest rzadko spotykany, gdyż krata gęsta powinna być zlokalizowana przed piaskownikiem w celu zatrzymania odpowiednich zanieczyszczeń. W dalszym etapie ze ścieków następuje wytrącanie zawiesiny łatwo opadającej poprzez wstępną sedymentację w osadnikach wstępnych. Oczyszczenie biologiczne stanowi reaktor biologiczny, w którym prowadzony jest proces niskoobciążonego osadu czynnego wg technologii BARDENPHO – zmodyfikowany. Proces prowadzony jest z zastosowaniem recyrkulacji wewnętrznej

i zewnętrznej. Na drodze recyrkulacji zewnętrznej wprowadzony został proces predenitryfikacji osadu recyrkulowanego, którego celem jest odtlenienie osadu recyrkulowanego i usunięcie azotanów zawartych w tym osadzie. W celu wspomaganie procesu usuwania związków azotu i fosforu na drodze biologicznej w warunkach deficytu węgla organicznego przewidziano prowadzenie procesu hydrolizy osadu wstępnego dla produkcji lotnych kwasów tłuszczowych. Zaprojektowano ponadto możliwość dodatkowego strącania fosforu koagulantem siarczanem żelaza jako proces wstępnego strącania. Po reaktorze biologicznym zaprojektowane zostały osadniki wtórnych w celu zatrzymania osadu nadmiernego [Wójcik 2007].

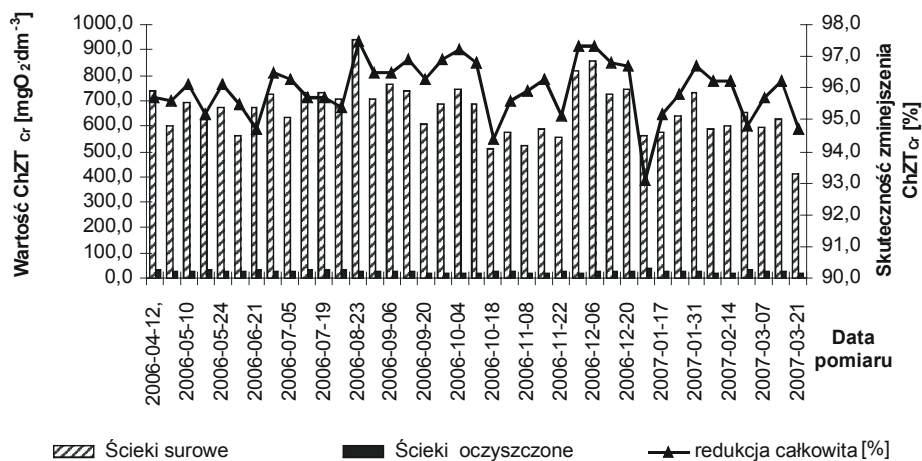
### WYNIKI BADAŃ I ANALIZA

Na rysunkach 1–5 przedstawiono stężenia zanieczyszczeń w ściekach surowych, oczyszczonych oraz procent redukcji badanych wskaźników zanieczyszczeń.



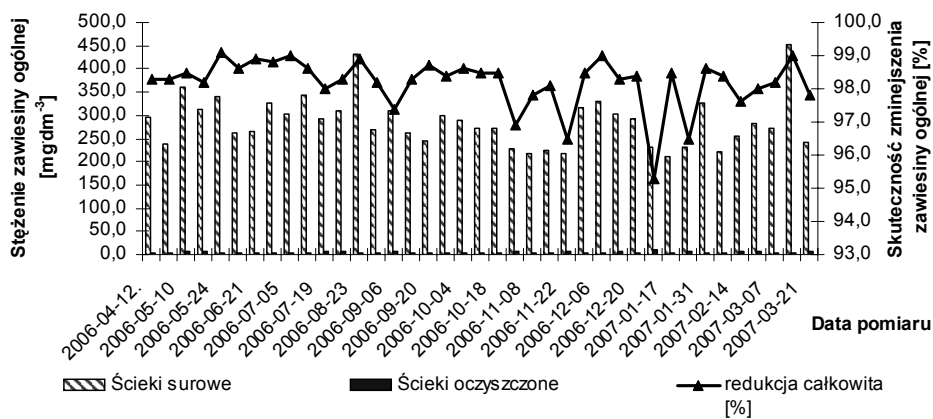
**Rysunek 1.** Wartości BZT<sub>5</sub> ścieków surowych i oczyszczonych oraz skuteczność jego zmniejszenia

**Figure 1.** BOD<sub>5</sub> values for raw and treated sewage and effectiveness of its reduction



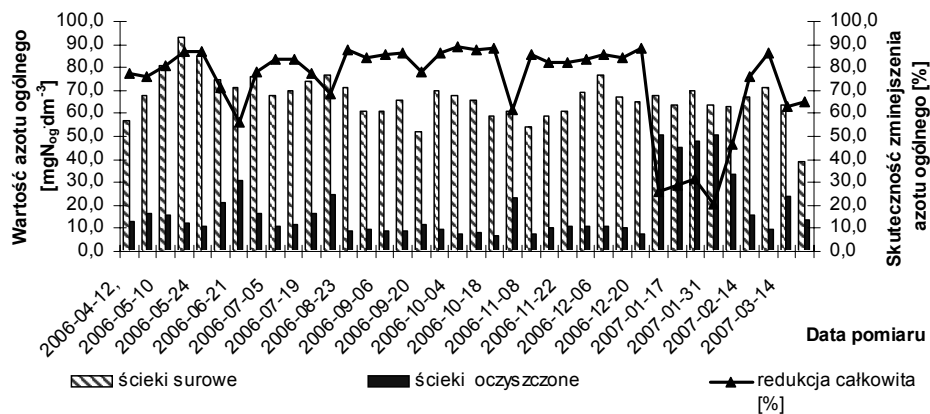
**Rysunek 2.** Wartości  $ChZT_{Cr}$  ścieków surowych i oczyszczonych oraz skuteczność jego zmniejszenia

**Figure 2.**  $COD_{Cr}$  values for raw and treated sewage and effectiveness of its reduction



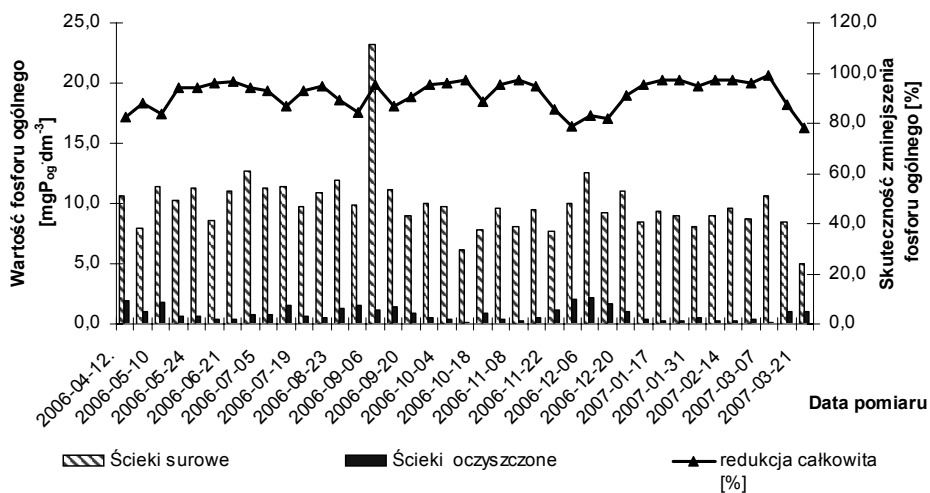
**Rysunek 3.** Stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach surowych i oczyszczonych oraz skuteczność jej zmniejszenia

**Figure 3.** Concentration of total suspended solids for raw and treated sewage and effectiveness of its reduction



**Rysunek 4.** Stężenie azotu ogólnego w ściekach surowych i oczyszczonych oraz skuteczność jego zmniejszenia

**Figure 4.** Concentration of general nitrogen for raw and treated sewage and effectiveness of its reduction



**Rysunek 5.** Stężenie fosforu ogólnego w ściekach surowych i oczyszczonych oraz skuteczność jego zmniejszenia

**Figure 5.** Concentration of general phosphorus for raw and treated sewage and effectiveness of its reduction

Na podstawie uzyskanych stężeń zanieczyszczeń ścieków surowych oraz oczyszczonych dokonano analizy dotyczącej wartości minimalnych, średnich stężeń oraz maksymalnych. Ponadto określono średnie minimalne i maksymalne skuteczności zmniejszenia badanych zanieczyszczeń.

Z rysunku 1 można zauważyć, że wartości BZT<sub>5</sub> w ściekach surowych kształtowały się od 181,0 do 440,0 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, a średnia wartość wyniosła 304,3 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Ścieki oczyszczone odznaczały się wartościami BZT<sub>5</sub> od 2,5 do 7,3 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Średnia wartość BZT<sub>5</sub> ścieków oczyszczonych wyniosła 4,4 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Analizując skuteczność zmniejszenia BZT<sub>5</sub>, można stwierdzić, że kształtowała się ona na wysokim poziomie od 96,5 do 99,3 %, a średnia skuteczność wyniosła 98,5%. W rozpatrywanym okresie nie stwierdzono w ściekach oczyszczonych przekroczeń wartości BZT<sub>5</sub> w stosunku do wartości dopuszczalnej (15 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>) przez obowiązujące pozwolenie wodno-prwane.

Z rysunku 2 można odczytać, że wartości ChZT<sub>Cr</sub> w ściekach surowych kształtowały się od 414,0 do 940,0 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, a średnia wartość wyniosła 662,8 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Ścieki oczyszczone odznaczały się wartościami ChZT<sub>Cr</sub> od 20,6 do 38,5 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Średnia wartość ChZT<sub>Cr</sub> ścieków oczyszczonych wyniosła 26,0 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Analizując skuteczność zmniejszenia ChZT<sub>Cr</sub>, można stwierdzić, że kształtowała się podobnie jak w przypadku BZT<sub>5</sub> na wysokim poziomie od 93,1 do 97,5%, a średnia skuteczność wyniosła 96,0%. W rozpatrywanym okresie nie stwierdzono w ściekach oczyszczonych przekroczeń wartości ChZT<sub>Cr</sub> w stosunku do wartości dopuszczalnej (125 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>) przez obowiązujące pozwolenie wodno-prwane.

Analizując dane z rysunku 3, można zauważyć, że stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach surowych wahało się od 212,0 do 454,0 mg·dm<sup>-3</sup>, a średnie stężenie wyniosło 286,1 mg·dm<sup>-3</sup>. Ścieki oczyszczone odznaczały się stężeniem zawiesiny ogólnej od 2,8 do 11,0 mg·dm<sup>-3</sup>. Średnie stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych wyniosło 5,0 mg·dm<sup>-3</sup>. Analizując skuteczność zmniejszenia zawiesiny ogólnej, można stwierdzić, że kształtowała się ona na wysokim poziomie od 95,3 do 99,1%, a średnia skuteczność wyniosła 98,2%. W rozpatrywanym okresie nie stwierdzono w ściekach oczyszczonych przekroczeń stężenia zawiesiny ogólnej w stosunku do wartości dopuszczalnej (35 mg·dm<sup>-3</sup>) przez obowiązujące pozwolenie wodno-prwane.

Poddając analizie dane z rysunku 4, można zauważyć, że stężenie azotu ogólnego w ściekach surowych wahało się od 39,0 do 93,0 mgN<sub>og</sub>·dm<sup>-3</sup>, a średnie stężenie wyniosło 67,2 mgN<sub>og</sub>·dm<sup>-3</sup>. Ścieki oczyszczone odznaczały się stężeniem azotu ogólnego od 7,0 do 51,0 mgN<sub>og</sub>·dm<sup>-3</sup>. Średnie stężenie azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych wyniosło 17,5, mgN<sub>og</sub>·dm<sup>-3</sup>. Analizując skuteczność zmniejszenia azotu ogólnego, można stwierdzić, że kształtowała się ona na poziomie od 20,4 do 88,8 %, a średnia skuteczność wyniosła 73,7%. W rozpatrywanym okresie stwierdzono w ściekach oczyszczonych 9 przekroczeń stężenia zawiesiny ogólnej w stosunku do wartości dopuszczalnej

( $22,5 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) przez obowiązujące pozwolenie wodno-prwane. Liczba wszystkich próbek wyniosła 38 szt.

Z rysunku 5 można zauważyć, że stężenie fosforu ogólnego w ściekach surowych kształtowało się od  $5,0$  do  $23,3 \text{ mgP}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ , a średnie stężenie wyniosło  $10,0 \text{ mgP}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Ścieki oczyszczone odznaczały się stężeniem fosforu ogólnego od  $0,1$  do  $2,2 \text{ mgP}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Średnia wartość fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych wyniosła  $0,8 \text{ mgP}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Analizując skuteczność zmniejszenia fosforu ogólnego, można stwierdzić, że kształtowała się ona na poziomie od  $78,2$  do  $99,0\%$ , a średnia skuteczność wyniosła  $91,4\%$ . W rozpatrywanym okresie stwierdzono w ściekach oczyszczonych 5 przekroczeń stężenia fosforu ogólnego w stosunku do wartości dopuszczalnej ( $1,5 \text{ mgP}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) przez obowiązujące pozwolenie wodno-prwane. Liczba wszystkich próbek wyniosła 39 szt.

W tabeli 1 zestawiono wartości średnich stężeń zanieczyszczeń w ściekach surowych i oczyszczonych oraz średnią skuteczność zmniejszania poszczególnych wskaźników.

**Tabela 1.** Zestawie średnich wartości zanieczyszczeń oraz skuteczności ich usuwania  
**Table 1.** Comparison of mean pollutants' values and effectiveness of their reduction

Wskaźnik	Jednostka	Średnia wartość wskaźnika		Średnia skuteczność usuwania zanieczyszczeń [%]
		ścieki surowe	ścieki po biologicznym oczyszczeniu	
BZT <sub>5</sub>	$\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$	304,3	4,4	98,5
ChZT <sub>Cr</sub>	$\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$	662,8	26,0	96,0
zawiesina ogólna	$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$	286,1	5,0	98,2
azot ogólny	$\text{mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$	67,2	17,5	73,7
fosfor ogólny	$\text{mgP}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$	10,0	0,8	91,4

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników badań sformułowano następujące wnioski:

– Średnia skuteczność zmniejszenia BZT<sub>5</sub> w oczyszczalni ukształtowała się na bardzo wysokim poziomie  $98,5\%$ . Nie stwierdzono żadnych przekroczeń wartości dopuszczalnej, co świadczy o poprawnej pracy oczyszczalni zarówno części mechanicznej jak i biologicznej,



- Średnia skuteczność zmniejszenia  $ChZT_{Cr}$  w oczyszczalni ukształtowała się również na bardzo wysokim poziomie 96% i podobnie jak w przypadku  $BZT_5$  nie stwierdzono żadnych przekroczeń wartości dopuszczalnej,
- Średnia skuteczność zmniejszenia zawiesiny ogólnej w oczyszczalni wyniosła 98,25%, co stanowi bardzo dobry wynik i świadczy o tym, że proces sedimentacji zachodzi z dużą efektywnością. Nie stwierdzono żadnych przekroczeń wartości dopuszczalnej,
- Średnia skuteczność zmniejszenia azotu ogólnego w oczyszczalni wyniosła 73,7%. Stwierdzono 9 na 38 możliwych przekroczeń wartości dopuszczalnej. W okresie od 10.01.2007. do 07.02.2007 r. zaobserwowano zwiększone stężenia azotu ogólnego w odpływie z oczyszczalni. Powodem tego mogła być awaria systemu napowietrzającego reaktor biologiczny,
- W celu uzyskania wysokiej skuteczności zmniejszenia azotu ogólnego należy bezwzględnie utrzymywać odpowiednie stężenie tlenu rozpuszczonego w komorze reaktora biologicznego. Umożliwi to właściwy rozwój bakterii nitryfikacyjnych wymagających dostępności tlenu do życia,
- Średnia skuteczność zmniejszenia fosforu ogólnego w oczyszczalni ukształtowała się na wysokim poziomie 91,4%. Stwierdzono tylko 5 na 39 możliwych przekroczeń wartości dopuszczalnej.

## BIBLIOGRAFIA

- Bernaacka J. *Odprowadzenie i oczyszczanie ścieków z budownictwa jednorodzinne*. Materiały Seminaryjne nr 415. PZITS. Warszawa 1984.
- Bever J., Stein A., Feichmann H. *Zaawansowane metody oczyszczania ścieków*. Projprzem-EKO. Bydgoszcz 1997.
- Heidrich Z., Witkowski A. *Kształtowanie wiejskich systemów zaopatrzenia w wodę, usuwania i oczyszczania ścieków*. Zeszyt Problematyki PZITS nr 672. Technika Sanitarna Wsi, 1993.
- Hartman L. *Biologiczne oczyszczanie ścieków*. Wydawnictwo Instalator Polski. Warszawa 1992.
- Królikowski A. J. *Gospodarka wodno ściekowa na terenach nie zurbanizowanych*. Biuro Badań i Wdrożeń Ekologicznych. Spółka z o.o. Białystok 1992.
- Osmulńska-Mróż B. *Lokalne systemy unieszkodliwiania ścieków – poradnik*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 1995.
- Sikorski M. *Charakterystyka nierównomierności dopływów ścieków bytowo-gospodarczych na przykładzie wybranych obiektów uspołeczniionych gospodarstw rolnych*. Rozprawa doktorska. Wrocław 1988.
- 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 1994a.
- Sikorski M. *Oczyszczanie i oczyszczalnie w Polsce*. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie, nr 4, 1994b.
- Wójcik A. *Efektywność oczyszczania ścieków w Oczyszczalni Ścieków „Kujawy”*. Praca magisterska. Kraków 2007.

*Ryszard Ślizowski Krzysztof Chmielowski*

---

Prof. dr hab. Ryszard Ślizowski  
dr inż. Krzysztof Chmielowski  
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Recenzent: *Prof. dr hab. Jerzy Ratomski*