

*Krzysztof Chmielowski, Karolina Kurek, Paulina Bąk*

## **EFEKTYWNOŚĆ OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW NA PRZYKŁADZIE OCZYSZCZALNI W LIPNICY WIELKIEJ**

---

## **EFFICIENCY OF WASTEWATER TREATMENT ON THE EXAMPLE IN „LIPNICA WIELKA” SEWAGE TREATMENT PLANT**

### **Streszczenie**

W niniejszej pracy została przedstawiona skuteczność oczyszczania ścieków na oczyszczalni w Lipnicy Wielkiej. Do oczyszczalni dopływają ścieki bytowe systemem kanalizacji grawitacyjnej. Zastosowana na obiekcie, metoda oczyszczania oparta jest na technologii niskoobciążonego osadu czynnego z chemicznym strącaniem fosforu.

Badania zostały przeprowadzone w okresie od marca 2003 roku do czerwca 2010 roku. Analizie poddano próbki ścieków surowych i oczyszczonych. Badano następujące wskaźniki zanieczyszczenia ścieków  $BZT_5$ ,  $ChZT_{Cr}$ , zawiesina ogólna, na których podstawie określono efektywność działania oczyszczalni. Dodatkowo określono ilość ścieków dopływających do oczyszczalni.

Na podstawie wykonanych analiz i otrzymanych wyników określono średnią skuteczność usuwania zanieczyszczeń: dla  $BZT_5$  wyniosła ona 96,23%, dla  $ChZT_{Cr}$  -91,42%, a zawiesina ogólna była równa 95,71%. Wyniki te dowodzą, iż oczyszczalnia ścieków w Lipnicy Wielkiej skutecznie zmniejsza ilość szkodliwych dla środowiska zanieczyszczeń. Zaobserwowano również, iż w okresie badań ilość dopływających ścieków w badanym okresie zaobserwowano niedostateczną ilość ścieków dopływających do oczyszczalni co wskazuje na jej niedociążenie hydrauliczne.

**Słowa kluczowe:** *skuteczność usuwania zanieczyszczeń, ścieki bytowe, SBR*

### Summary

*In the article presents effectiveness of sewage treatment in Sewage Treatment Plant in Lipnica Wielka. The domestic sewage follow into the Sewage Treatment Plant in gravity system. The method used for sewage treatment is based on the active sludge method with chemical precipitation of phosphor. The research was carried out in the period from March 2009 to June 2010. The analysis was performed on samples of raw and treated sewage. Three indicators of pollutants were analysed: BOD<sub>5</sub>, COD, total suspended solids. Furthermore was determined the volume of sewage flowing into the sewage treatment plant.*

*Basing on the results analysis, effectiveness of BOD<sub>5</sub> reduction was defined on the level of 96,23%, COD- 91,42% and total suspended solids – 95,71%. Also it was observed that research of volume of sewage flowing into the sewage treatment plant, were indicated a hydraulically underload.*

**Key words:** *treatment effectiveness, domestic sewage, SBR (Sequencing Batch Reactor)*

### WSTĘP

Oczyszczanie ścieków jest bardzo poważnym problemem, który dotyczy obszarów wiejskich i miejskich. W dalszym ciągu, zwłaszcza na terenach wiejskich znaczna część gospodarstw domowych korzysta z tzw. szamb. W wielu przypadkach szamba ze względu na przestarzałą konstrukcję nie posiadają szczelnego dna, w wyniku czego ścieki z dużą łatwością przedostają się do gleby. Dodatkowo bardzo często, ścieki są świadomie odprowadzane na pola uprawne, lub do potoków czy innych odbiorników wodnych. W ten sposób zostają zanieczyszczone wody powierzchniowe oraz podziemne, a z nich zanieczyszczenia przedostają się do przydomowych studni powodując pogorszenie jakości wód oraz stanowiąc realne zagrożenie dla zdrowia ludzi [Bergier T. i in., 2010].

Ilość ścieków powstających w gospodarstwach wiejskich zależy bezpośrednio od ilości zużytej na różne potrzeby i cele wody. Przyjmuje się, że ilość ścieków produkowana na jednego mieszkańca mieści się w przedziale od 0,05-0,25 m<sup>3</sup>·M<sup>-1</sup> [Heidrich Z., 1999]. Tworzą one nietrwały układ polidyspersowany, w którym w zależności od wielkości, ciała rozproszone oscylują od grubych do wysokodyspersowanych (jony i cząsteczki) [Chojnacki A., 1972]. Ścieki bytowe są bardzo niebezpieczne dla środowiska gdyż są one bogate w gnijące i fermentujące substancje organiczne, bakterie i wirusy. Skład, właściwości i ilość ścieków zmieniają się w ciągu roku, tygodnia, dnia i godziny [Bergier T. i in., 2010]. Do podstawowych wskaźników określających jakość ścieków zaliczamy między innymi: BZT<sub>5</sub>, ChZT, zawiesinę ogólną, a do wskaźników eutrofizacji zaliczamy: azot ogólny, fosfor. Biochemiczne zapotrzebowanie na tlen jest oznaczeniem służącym do określenia stężenia zanieczyszczeń organicznych oraz oceny

skuteczności pracy urządzeń i procesów biochemicznych zachodzących podczas oczyszczania [Hemanowicz W. i in., 1999]. Drugim istotnym parametrem jest chemiczne zapotrzebowanie na tlen. Przyjmuje się, że ChZT jest miarą ilości związków organicznych obecnych w ściekach, umownie oznacza on ilość tlenu  $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , która zostaje pobrana z utleniacza (warunki umowne) na utlenienie związków organicznych i niektórych nieorganicznych zawartych w ściekach. W ściekach oprócz substancji rozpuszczonych obecne są koloidy i zawiesiny mineralne oraz organiczne. Rozróżniamy trzy rodzaje zawiesin: ogólne, mineralne (nielotne), lotne. Bardzo ważne jest aby badanie zawiesiny zostało przeprowadzone możliwie szybko, gdyż w wyniku różnych procesów np. samoflokulacji może dojść do zmiany w składzie badanych ścieków [Hemanowicz W. i in., 1999].

Wyróżnić można trzy główne metody oczyszczania ścieków: mechaniczne, biologiczne i chemiczne. Do biologicznych metod zaliczamy metodę złożeń biologicznych i osadu czynnego. Mechanizm oczyszczania metodą osadu czynnego opiera się na dostarczeniu odpowiedniej ilości tlenu i rozwoju mikroorganizmów (bakterii i pierwotniaków). Występują one w postaci kłaczków o wymiarach od 50-100  $\mu\text{m}$ , a ich różnorodność zależy od stopnia obciążenia. Do istotnych czynników wpływających na proces oczyszczania metodą osadu czynnego zaliczamy: czas, ilość zawiesiny, obciążenie komory ładunkiem BZT<sub>5</sub>, obciążenie osadu, wiek osadu, stopień recyrkulacji, stężenie i zapotrzebowanie na tlen w zależności od stopnia rozwoju [Bever J. i in., 1997]. W procesie oczyszczania, związki organiczne są absorbowane na powierzchni kłaczków, a następnie mogą one ulegać utlenieniu lub zostać wykorzystane w procesie biosyntezy nowych komórek. Metoda ta pozwala uzyskać wysoki stopień oczyszczenia ścieków oraz dodatkowo proces przebiega bez uciążliwości zapachowych. Zagrożenie w tej metodzie mogą stanowić larwy komara Chironosmus oraz robaków Aelosoma i Oligochaetos, które zjadają kłaczkosy osadu [Chojnacki A. 1972].

## **CEL I METODYKA BADAŃ**

Celem pracy było przedstawienie skuteczności pracy oczyszczalni w Lipnicy Wielkiej. Badania zostały przeprowadzone od marca 2003 do czerwca 2010 roku. Szczegółowym analizom zostały poddane próbki ścieków surowych i oczyszczonych. Na podstawie przeprowadzonych analiz ścieków określono wartości trzech wskaźników zanieczyszczeń ścieków: BZT<sub>5</sub>, ChZT<sub>Cr</sub> i zawiesinę ogólną. Dysponując wartościami poszczególnych wskaźników dla ścieków surowych i oczyszczonych wyliczono skuteczność zmniejszania zanieczyszczeń ze wzoru:

$$n = \frac{S_s - S_o}{S_s} \cdot 100\% \quad (1)$$

Gdzie:

- n - skuteczność zmniejszania wartości danego wskaźnika [%],
- $S_s$  - wartość danego wskaźnika w ściekach surowych [ $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ],
- $S_o$  - wartość danego wskaźnika w ściekach oczyszczonych [ $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ].

Określono podstawowe statystyki opisowe takie jak: mediana, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności. Dodatkowo określono wskaźniki pracy oczyszczalni: współczynnik niezawodności i technologiczną sprawność oczyszczalni. Ponadto przedstawiono miesięczne dopływy do oczyszczalni w porównaniu z jej przepustowością.

## TECHNOLOGIA OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW W LIPNICY WIELKIEJ

Mechaniczno-biologiczna oczyszczalnia ścieków została wybudowana w liczącej ponad 5600 mieszkańców Gminie Lipnica Wielka. Projektowana przepustowość oczyszczalni wynosi  $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , a ścieki bytowe z gospodarstw dopływają do oczyszczalni w systemie grawitacyjnym. W pierwszym etapie (część mechaniczna oczyszczania) ścieki poddawane są mechanicznej obróbce w celu wyeliminowania ciał stałych i dużych zawiesin mineralno-organicznych. Drugi etap (część biologiczna oczyszczania) polega na usunięciu zanieczyszczeń biologicznych metodą osadu czynnego w reaktorze porcjowym SBR (Sequencing Batch Reactor), gdzie w jednej komorze następują w ciągu cyklicznych fazy:

1. napełnienie reaktora SBR ściekami,
2. napowietrzenie/mieszanie ścieków, podczas którego zachodzą reakcje biologiczne,
3. sedymentacja,
4. dekantacja,

Reaktor pełni podwójną funkcję, wykorzystywany jest jako komora osadu czynnego oraz komora sedymentacyjna (osadniki) [Bever J. i in., 1997]. Zaletami reaktorów SBR są [Łomotowski J., Szpindor A., 1999]:

- możliwości zmiany warunków tlenowych na anoksydacyjne lub beztlenowe,
- brak osadników i pomp wykorzystywanych do recyrkulacji osadu czynnego,
- prosta obsługa,
- eliminowanie biogenów w jednym zbiorniku.

## WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Na rysunkach 1-3 oraz w tabelach 1-2 zostały przedstawione wartości zanieczyszczeń w ściekach surowych, oczyszczonych oraz stopień redukcji badanych wskaźników.

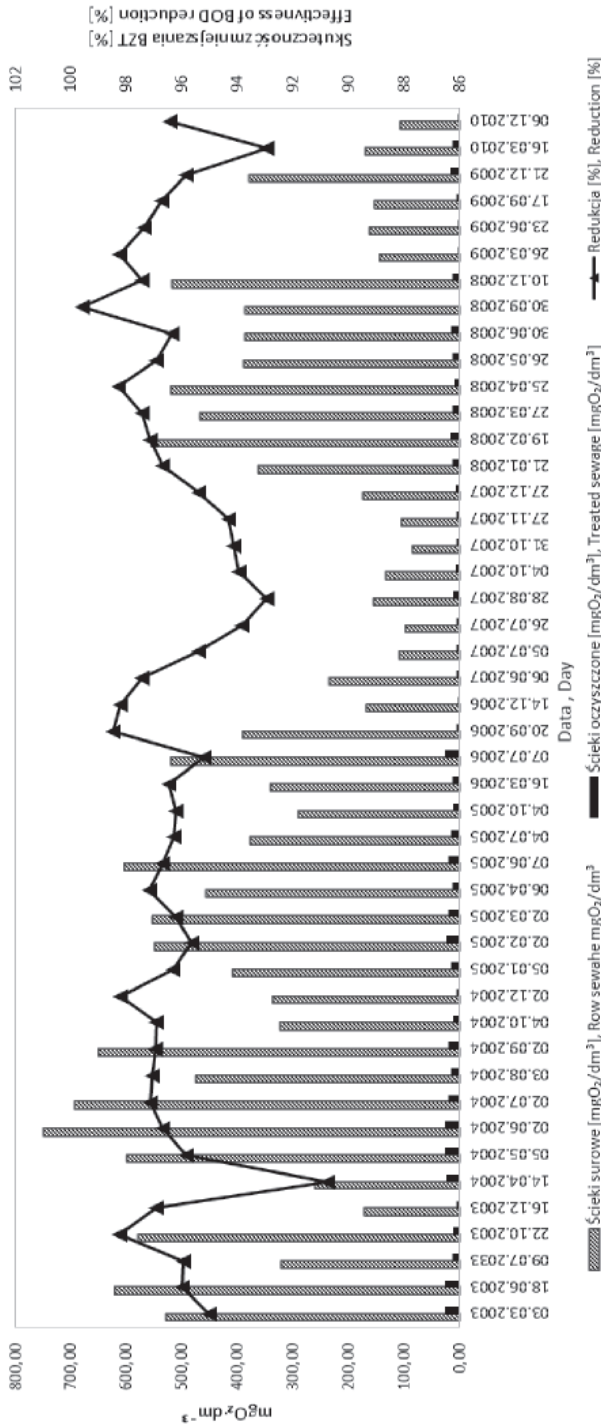
Z rysunku 1 można odczytać, iż maksymalna wartość BZT<sub>5</sub> w ściekach surowych wyniosła 750,25 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, a minimalna 85 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Wartość średnia tego parametru była równa 338,35 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Dla ścieków oczyszczonych wartości BZT<sub>5</sub> kształtowały się w przedziale od 26,40 do 1,70 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, natomiast wartość średnia wyniosła 11,82 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Tylko jeden pomiar wskazywał na przekroczenie dozwolonego poziomu BZT<sub>5</sub>, który zgodnie z Rozporządzeniem [2006] powinien wynosić 25 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> (tab. 1). Porównując otrzymane wyniki z literaturą [Chmielowski K. 2011, Chmielowski K. i in., 2009a, Chmielowski K. i in., 2009b] można zauważyć, iż poziom tego wskaźnika w ściekach oczyszczonych utrzymywał się na podobnym poziomie.

Redukcja BZT<sub>5</sub> kształtowała się na wysokim poziomie od 90,77% do 99,56% przy średniej wartości równej 96,23% (tab.2). Minimalny stopień redukcji BZT<sub>5</sub>, dla tej wielkości oczyszczalni zgodnie z Rozporządzeniem [2006] powinien zawierać się w przedziale 70-90%.

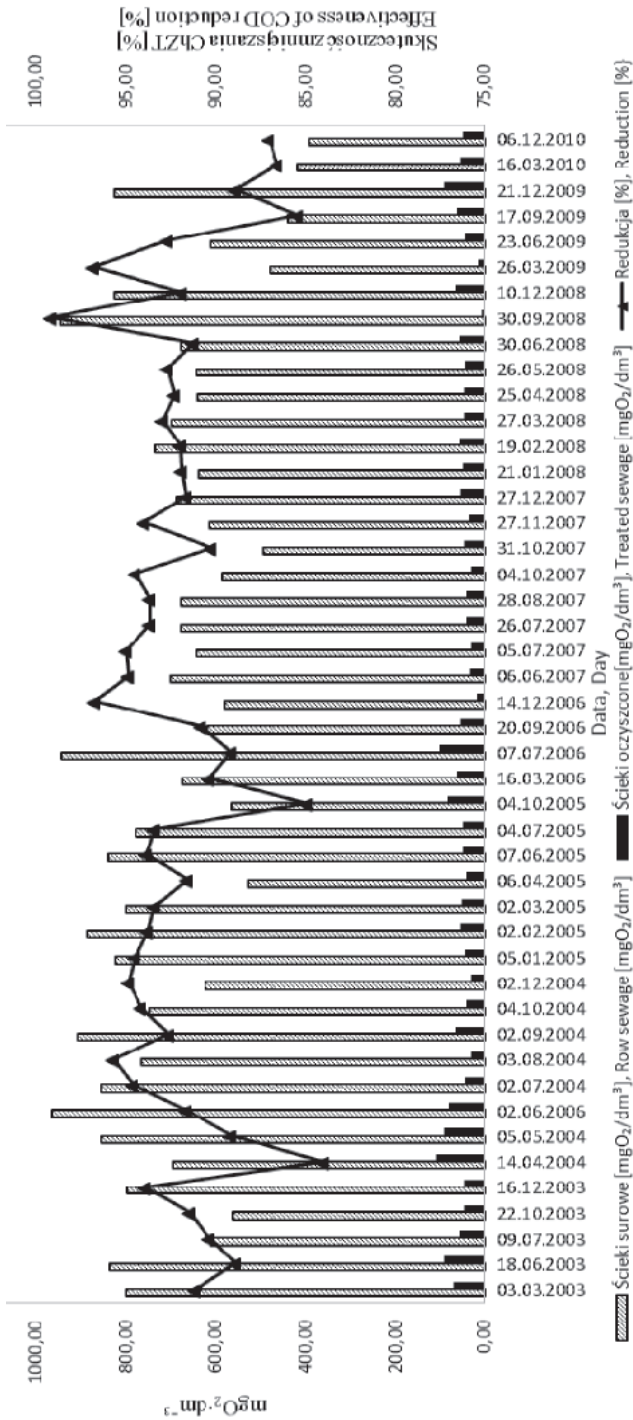
Zgodnie z ryciną nr 2 wartości ChZT<sub>Cr</sub> w ściekach surowych zawierały się w przedziale od 393,26 do 965,79 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, a średnia wartość wyniosła 666,00 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> i była ona niższa w stosunku do wartości podawanych przez literaturę [Chmielowski K. i in., 2009a, Chmielowski K. 2011]. Wartości ChZT<sub>Cr</sub> dla ścieków oczyszczonych kształtowały się od 8 do 111,36 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, a średnia wartość tego parametru była równa 55,00 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> (tab.1). Zgodnie z Rozporządzeniem [2006] wartość dopuszczalna ChZT<sub>Cr</sub> w ściekach oczyszczonych powinna być nie większa niż 125 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, w żadnej z wykonywanych analiz nie została ona przekroczona.

Analizując redukcję wskaźnika ChZT<sub>Cr</sub>, można stwierdzić, iż utrzymywała się ona podobnie jak w przypadku BZT<sub>5</sub> na wysokim poziomie i wyniosła od 84 do 99,16 %, a jego wartość średnia wyniosła 91,42% (tab. 2), nie przekraczając tym samym wartości dopuszczalnej [Rozporządzenie 2006]

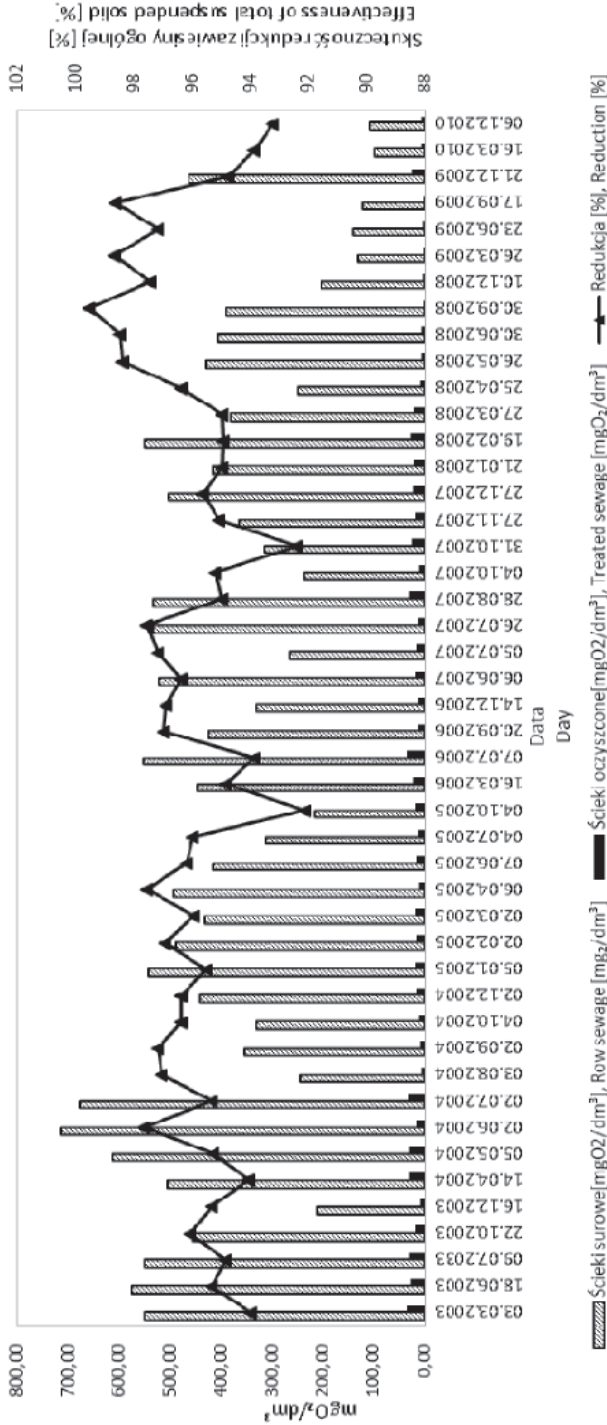
Z ryciny nr 3 wynika, że maksymalne stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach surowych wyniosło 713,73 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> a minimalne 98 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Wartość średnia była równa 369,11 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. W przypadku ścieków oczyszczonych stężenie to mieściło się w przedziale od 1,7 do 34 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, a wartość średnia wyniosła 15,68 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> (tab. 1). Dopuszczalne stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach po oczyszczeniu zgodnie z Rozporządzeniem [2006] wynosi 35 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, w żadnej z analizowanych próbek wymagany poziom nie został przekroczony.



**Rysunek 1. Wartość BZT<sub>5</sub> w ściekach surowych i oczyszczonych oraz skuteczność redukcji jego wartości**  
**Figure 1. BOD<sub>5</sub> values for raw and treated sewage and effectiveness of its reduction**



**Rysunek 2.** Wartość ChZT w ściekach surowych i oczyszczonych oraz skuteczność redukcji jego wartości  
**Figure 2.** COD values for raw and treated sewage and effectiveness of its reduction



**Rysunek 3.** Stężenie zawiesiny ogólnej dla ścieków surowych i oczyszczonych oraz skuteczność redukcji jej stężenia  
**Figure 3.** Concentration of total suspended solids for raw and treated sewage and effectiveness of its reduction



Redukcja stężenia zawiesiny ogólnej w procesie oczyszczania powinna wynosić 90% [Rozporządzenie 2006]. Skuteczność zmniejszania zawiesiny ogólnej wyniosła maksymalnie 99,54%, minimalnie 92,13%, a wartość średnia była równa 95,71 % (tab.2).

**Tabela 1.** Wartości dopuszczalne i rzeczywiste, wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych

**Table 1.** Volumes of reduction of indicators in sewage

Parametry Indicators	Wartość dopuszczalna [mg·dm <sup>-3</sup> ]* The limit value [mg·dm <sup>-3</sup> ]*	Wartość rzeczywista na odpływie [mg·dm <sup>-3</sup> ] The real value [mg·dm <sup>-3</sup> ]			Statystyka opisowa		
		średnia	max.	min.	Mediana [mg·dm <sup>-3</sup> ]	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
<b>BZT<sub>5</sub></b> <b>BOD<sub>5</sub></b>	25	11,82	26,40	1,70	12,00	7,17	0,60
<b>ChZT</b> <b>COD</b>	125	55,00	111,36	8,00	51,26	21,57	0,40
<b>Zawiesina ogólna</b> <b>Total suspended solids</b>	35	15,68	34,00	1,70	16,00	8,96	0,57

\*Wytyczne zgodne z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24.06.2011r.

\* Standards in accordance with the Decree of the Minister of Environment from 24.06.2011 r.

**Tabela 2.** Ocena pracy oczyszczalni ścieków w Lipnicy Wielkiej  
**Table 2.** Evolution of wastewater treatment plants in Lipnica Wielka

Parametry Indicators	Wymagana skuteczność oczyszczania [%]* The required treatment efficiency [%]	Rzeczywista skuteczność oczyszczania [%] Real treatment efficiency [%]			Wskaźnik pracy oczyszczalni	
		średnia.	max.	min.	Współczynnik niezawodności WN**	Technolog. sprawność P <sub>sw</sub> ***
<b>BZT<sub>5</sub></b> <b>BOD<sub>5</sub></b>	90	96,23	99,56	90,77	0,48	0,95
<b>ChZT</b> <b>COD</b>	75	91,42	99,16	84,00	0,44	0,98
<b>Zawiesina ogólna</b> <b>Total suspended solids</b>	90	95,71	99,54	92,13	0,45	0,98

\*Wytyczne zgodne z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24.06.2011r.

\* Standards in accordance with the Decree of the Minister of Environment from 24.06.2011 r.

\*\*WN=X<sub>sr</sub>/X<sub>dop</sub>; X<sub>sr</sub> - średnia wartość w odpływie z oczyszczalni, X<sub>dop</sub> - wartość dopuszczalna

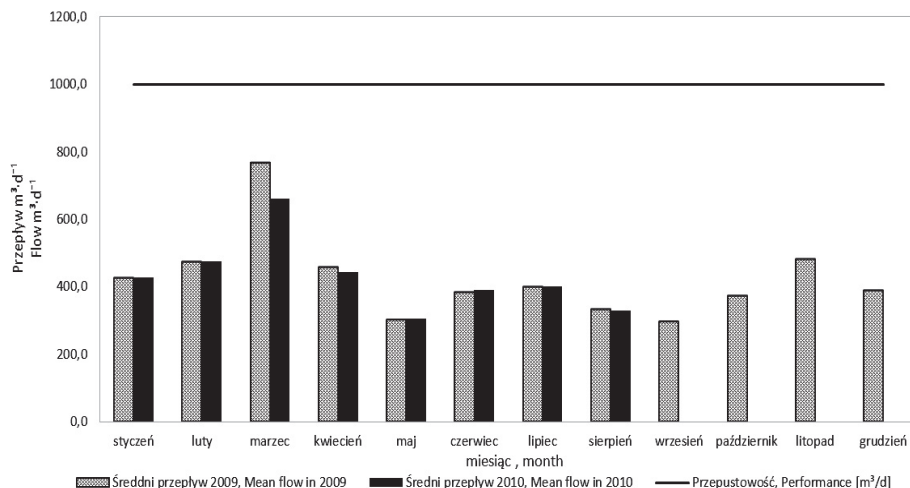
\*\*WN=X<sub>sr</sub>/X<sub>dop</sub>; X<sub>sr</sub> - average value in the effluent from sewage treatment, X<sub>dop</sub> - the limit value

\*\*\*P<sub>sw</sub>=n/N+1; n- liczba wyników badań dla danego wskaźnika zanieczyszczeń z X<sub>dop</sub>, N- liczba wszystkich wyników badań

\*\*\*P<sub>sw</sub>=n/N+1; n- number of test results for a given indicator of pollution X<sub>dop</sub>, N- number of all test results

Przeprowadzona analiza statystyczna potwierdza skuteczną pracę oczyszczalni pod względem usuwania ze ścieków zanieczyszczeń określanych wskaźnikami: BZT<sub>5</sub>, ChZT<sub>Cr</sub> i zawiesiną ogólną. Współczynnik niezawodności ukształtował się na niskim poziomie, odpowiednio dla BZT<sub>5</sub> wynosił 0,48, dla ChZT<sub>Cr</sub> był równy 0,44, a dla zawiesiny ogólnej osiągnął wartość równą 0,45 (tab.2). Dodatkowo wyznaczono wskaźnik technologicznej sprawności, który potwierdził, że oczyszczalnia pracowała z wysoką efektywnością usuwania zanieczyszczeń (tab.2).

Oczyszczalnia w Lipnicy Wielkiej została zaprojektowana na 1000 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>. Średni dopływ ścieków do oczyszczalni w analizowanym okresie wyniósł 425,55 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup> co stanowi 42,55% jej przepustowości (rys. 4). Świadczy to o niedociążeniu hydraulicznym obiektu. Najwyższe wartości średniego przepływu w latach 2009-2010 odnotowano w miesiącach wiosennych (luty, marzec kwiecień), a najniższą wartość odnotowano w miesiącu maju (rys. 4).



Rycina 4. Średnie miesięczne dopływy do oczyszczalni w latach 2009 i 2010

Figure 4. Average volume of flowing into the sewage treatment plant in 2009 and 2010

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Dzięki przeprowadzonym badaniom i zapoznaniu się z technologią oczyszczalni w Lipnicy Wielkiej oraz przeanalizowaniu otrzymanych wyników sformułowano następujące wnioski:

1. Stwierdzono niskie wartości badanych wskaźników w ściekach oczyszczonych. Średnia wartość BZT<sub>5</sub> wyniosła 11,82 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, średnia wartość

ChZT<sub>Cr</sub> ukształtowała się na poziomie 55 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, a średnie stężenie zawiesiny ogólnej wyniosło 15,68 mg·dm<sup>-3</sup>.

2. Średnia redukcja BZT<sub>5</sub> w ściekach oczyszczonych ukształtowała się na wysokim poziomie 96,23%. Średnia redukcja ChZT<sub>Cr</sub> w ściekach po procesie oczyszczenia wyniosła 91,42%. Nie odnotowano żadnych przekroczeń dozwolonych stężeń w ściekach oczyszczonych. Średnia redukcja zawiesiny ogólnej ukształtowała się na poziomie 95,71%. Wysoka efektywność zmniejszania badanych wskaźników świadczy o prawidłowo przebiegającym procesie oczyszczania.

3. W badanym okresie średni dopływ ścieków do oczyszczalni wyniósł 425,55 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>, wartość ta wskazuje, że oczyszczalnia jest niedociążona hydraulicznie, gdyż jej przepustowość wynosi 1000 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>. Biorąc powyższe pod uwagę można zwiększyć obciążenie hydrauliczne oczyszczalni poprzez dołączanie kolejnych odcinków sieci kanalizacyjnej.

4. Stwierdzono niskie wartości współczynników niezawodności oraz wysokie wartości wskaźnika technologicznej sprawności oczyszczalni, co potwierdza poprawną pracę oczyszczalni.

## BIBLIOGRAFIA

- Bergier T., Kronenberg J. Zrównoważony Rozwój – Zastosowania, Fundacja Sendzimira, Wrocław 2010, s. 31- 36.
- Bever J., Stein A., Teichmann H. Zaawansowane metody oczyszczania ścieków, Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1997, s.65-67.
- Chmielowski K., Ślizowski R. Ocena skuteczności usuwania zanieczyszczeń w oczyszczalni ścieków w Tarnowie. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 5/2009. Kraków, 2009a, s. 137-146.
- Chmielowski K., Satora S., Wałęga A. Skuteczność oczyszczania ścieków na przykładzie oczyszczalni dla miasta Krynica-Zdrój, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 9/2009. Kraków, 2009b, s. 73-83
- Chmielowski K. Ocena technologiczna skuteczności i efektywności oczyszczalni ścieków w Proszówkach w gminie Bochnia. Budownictwo i inżynieria środowiska nr 4/2011 zeszyt 58. Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 276. Rzeszów, 2011, s. 37-43.
- Chojnacki A. Technologia wody i ścieków, PWN, Łódź 1972, s.248, 375.
- Heidrich Z. Kanalizacje, WSiP, Warszawa 1999, s.9-11.
- Hemanowicz W., Dojlido J., Dożańska W., Koziorowski B., Zerbe J. Fizykochemiczne badanie wody i ścieków, ARKADY, Warszawa 1999, s. 333.
- Łomotowski J., Szpindor A. Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków, ARKADY, Warszawa, 1999, s.24-25, 209-214.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód i do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. 2006 nr 137 poz. 984) oraz Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 stycznia 2009 roku, które zmieniło rozporządzenie z 2006 roku (Dz. U. 2009 nr 27 poz. 169).

Dr inż. Krzysztof Chmielowski  
Mgr inż. Karolina Kurek  
Mgr inż. Paulina Bąk  
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
al. Mickiewicza 24/28; 30-059 Kraków