



## **WSTĘPNE DOŚWIADCZENIA Z EKSPLOATACJI ZMODERNIZOWANEJ MAŁEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW Z FILTREM ŻWIROWYM**

**Zbigniew Mucha, Katarzyna Gosek**

*Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki*

## **THE PRELIMINARY EXPERIENCE WITH THE MODERNIZED SMALL SEWAGE TREATMENT PLANT WITH A GRAVEL FILTER**

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono wyniki badań efektywności oczyszczania oraz warunki pracy małej lokalnej oczyszczalni ścieków po jej modernizacji. Podstawowym kryterium przyjętym w projekcie modernizacji było zwiększenie przepustowości oraz efektywności usuwania zanieczyszczeń w istniejącym układzie technologicznym z grawitacyjnym przepływem ścieków przy założeniu minimalnych kosztów eksploatacji bez zużycia energii elektrycznej. Badana oczyszczalnia składa się z osadnika gnilnego z zainstalowanym w czasie modernizacji wydzielonym filtrem zapobiegającym wypływowi zawiesin z osadnika oraz filtra żwirowego do biologicznego oczyszczania. W czasie modernizacji zwiększona została powierzchnia filtra. Wykonane analizy jakości ścieków potwierdziły wysoką efektywność usuwania zanieczyszczeń organicznych (średnio ponad 90% dla wskaźnika BZT<sub>5</sub> i ponad 85% dla wskaźnika ChZT) oraz zawiesin (średnio ponad 77%) w zmodernizowanej oczyszczalni.

**Słowa kluczowe:** małe oczyszczalnie ścieków, filtr żwirowy, eksploatacja oczyszczalni

### Summary

*The article analyses the efficiency of the treatment process in the small sewage treatment plant with a gravel filter, after its modernization. The basic criterion adopted in modernization was to increase the capacity and efficiency of the existing gravity flow system, assuming the minimal operating costs and no additional power consumption. The sewage treatment plant consists of a septic tank, with a separate filter installed during the modernization that keeps suspended solids in the septic tank and a gravel filter for biological treatment; the filter surface was increased during the modernization. The analysis of the effluent quality confirmed very high treatment efficiency of both organic compounds (average removal of BOD and COD was over 90% and 85%, respectively) and total suspended solids (average removal above 77%) in the modernized wastewater treatment plant.*

**Key words:** *small wastewater treatment plant, gravel filter, operation of wastewater treatment plant*

### WSTĘP

Każdy obiekt mieszkalny czy budynek użyteczności publicznej musi mieć rozwiązany sposób usuwania i oczyszczania ścieków. W dużych skupiskach ludności o rozwiniętej infrastrukturze ścieki odprowadzane są do zbiorczej kanalizacji i oczyszczalni ścieków. Ze względu na ukształtowanie terenu i rozproszenie zabudowy nie zawsze istnieją możliwości podłączenia pojedynczych gospodarstw lub całych osiedli mieszkaniowych do istniejących sieci kanalizacyjnych. Zgodnie z zapisami Dyrektywy Rady 91/271/EWG w miejscach, gdzie budowa systemu kanalizacji zbiorczej nie przyniosłaby korzyści dla środowiska lub powodowałaby nadmierne koszty, należy zastosować systemy indywidualne lub inne odpowiednie rozwiązania zapewniające ten sam poziom ochrony środowiska.

Małe oczyszczalnie ścieków charakteryzują się specyficznymi cechami odróżniającymi je od większych oczyszczalni. Wynikają one zarówno ze zwiększonej nierównomierności dopływu ścieków do oczyszczalni, jak i ze składu ścieków, który zwykle istotnie różni się od typowych ścieków miejskich oczyszczanych w średnich i dużych oczyszczalniach. Dlatego technologia oczyszczania ścieków zastosowana w małej oczyszczalni powinna być dobrana w taki sposób, aby zapewnić w tych warunkach odpowiednie efekty technologiczne przy niewielkich wymaganiach odnośnie obsługi oczyszczalni i przy minimalnych kosztach eksploatacyjnych [Mucha, Mikosz 2009].

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku najłagodniejsze wymagania obowiązują w przypadku odprowadzania ścieków do ziemi w granicach gruntu stanowiącego własność wprowadzającego dla ścieków pochodzących z własnego gospodarstwa domowego lub rolnego

w ilości nie przekraczającej  $5 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  [Rozporządzenie, 2006]. Ograniczenie to ma istotny wpływ na wybór technologii oczyszczania ścieków w najmniejszych, przydomowych obiektach. Oznacza to, że w pozostałych przypadkach ścieki muszą podlegać co najmniej oczyszczaniu mechaniczno-biologicznemu, a przy odprowadzaniu do jezior i ich dopływów dodatkowo wymagane jest usuwanie ze ścieków azotu i fosforu.

Technologie oczyszczania ścieków, które umożliwiają spełnienie wymagań prawnych określonych dla ścieków odprowadzanych z małych oczyszczalni obejmują przede wszystkim złoża biologiczne, osad czynny konwencjonalny lub z przedłużonym napowietrzaniem oraz oczyszczalnie hydrofitowe wykorzystujące procesy zbliżone do występujących w naturalnym środowisku gruntowo-wodnym, a także filtry żwirowo-piaskowe [Mucha, Mikosz 2009].

W literaturze przedmiotu występuje dużo danych dotyczących efektywności oczyszczania ścieków w filtrach piaskowych [Błażejowski 2003, Heidrich 1998, Józwiakowski 2003, Siemieniec, Krzanowski 2001]. Brak jest w literaturze danych dotyczących efektywności oczyszczania ścieków w małych oczyszczalniach z filtrem żwirowym o przepływie pionowym. Przeprowadzono także nieliczne badania efektywności oczyszczania w filtrach o różnym uziarnieniu złoża w warunkach laboratoryjnych [Chmielowski, Ślizowski 2008].

Celem artykułu jest ocena pracy małej oczyszczalni ze złożem żwirowym po jej modernizacji w 2010 roku. Oczyszczalnia przestała prawidłowo pracować z uwagi na kolmatację złoża filtracyjnego piaskowego związaną z dopływem znacznej ilości zawiesin w ściekach po osadniku gnilnym i wymagała modernizacji. Ścieki gromadzone były w osadniku gnilnym, pełniącym funkcję zbiornika bezodpływowego i wywożone taborem asenizacyjnym.

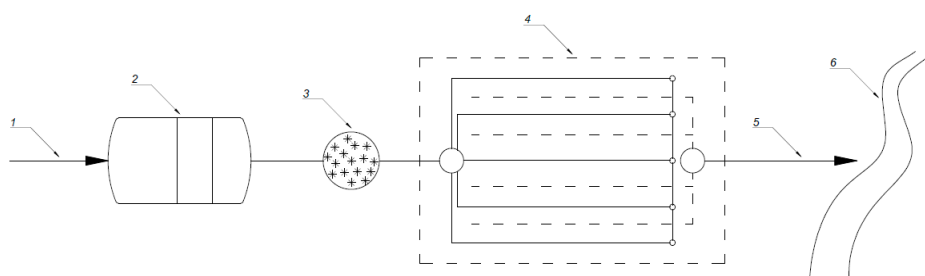
Modernizacja polegała na wymianie wypełnienia i zwiększeniu powierzchni złoża oraz zastosowaniu na odpływie z osadnika gnilnego filtra zabezpieczającego przed odpływem zawiesin.

## OPIS BADANEJ OCZYSZCZALNI

Badana oczyszczalnia znajduje się na terenie zabytkowego Klasztoru Sióstr Norbertanek w Imbramowicach. Jest to mechaniczno-biologiczna oczyszczalnia z osadnikiem gnilnym oraz filtrem żwirowym o przepływie pionowym. Oczyszczalnia została zaprojektowana na przepustowość dobową średnią  $Q_{\text{dśr}} = 3,6 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  i maksymalną  $Q_{\text{dmax}} = 5 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  oraz równoważną liczbę mieszkańców RLM = 42. Do oczyszczalni dopływają ścieki bytowe z klasztoru oraz Domu Pielgrzyma. Do wstępnego mechanicznego oczyszczania oraz fermentacji osadu służy osadnik gnilny wykonany jako monolityczny, żelbetowy zbiornik trzykomorowy o objętości czynnej  $9,6 \text{ m}^3$ . W celu ograniczenia kolmatacji złoża filtracyjnego żwirowego na odpływie z osadnika, w wydzielonym zbiorni-

ku z polietylenu zamontowany został filtr doczyszczający firmy Sotralentz. Filtr ten wypełniony jest kształtkami z tworzywa sztucznego o objętości 200 dm<sup>3</sup> i posiada zasifonowany odpływ.

Filtr żwirowy o powierzchni 250 m<sup>2</sup>, odizolowany od gruntu rodzimego folią składa się z 5 ciągów drenowych rozprowadzających i 4 zbierających o średnicy 110mm ułożonych w warstwie żwirowej o uziarnieniu 16÷32 mm oraz z właściwej warstwy filtracyjnej z drobnego żwirku o uziarnieniu 2÷8 mm i miąższości 0,6m. Ścieki oczyszczone odprowadzane są do rzeki Dłubni. Osad z osadnika gnilnego wywożony jest w stanie płynnym regularnie 3 razy w roku. Schemat technologiczny oczyszczalni przedstawiono na rysunku 1.



**Rysunek 1.** Schemat technologiczny oczyszczalni z filtrem żwirowym (1- dopływ ścieków surowych, 2- osadnik gnilny, 3- filtr zabezpieczający, 4- filtr żwirowy, 5- odpływ ścieków oczyszczonych, 6- odbiornik ścieków- rzeka Dłubnia)  
**Figure 1.** Wastewater treatment plant with a gravel filter (1- sewage inflow, 2- septic tank, 3- separate filter, 4- gravel filter, 5-effluent, 6- the Dłubnia River)

## ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Celem przeprowadzonych badań było określenie efektywności oczyszczania w lokalnej oczyszczalni ścieków po jej modernizacji mającej na celu zwiększenie przepustowości oraz niezawodności usuwania zanieczyszczeń organicznych oraz zawiesin. Badania prowadzono w warunkach pracującej oczyszczalni ścieków przy rzeczywistym obciążeniu hydraulicznym i obciążeniu ładunkiem zanieczyszczeń, które nieznacznie przekraczało obciążenia projektowe. Badania technologiczne prowadzone były w dwóch okresach w listopadzie 2011 i 2012r. Wykonywano pomiary ilości ścieków dopływających oraz badania analityczne jakości ścieków w 11 próbkach po osadniku gnilnym i filtrze zabezpieczającym oraz w ściekach oczyszczonych odpływających do rzeki Dłubni.

Ilość ścieków dopływających do oczyszczalni określana była na podstawie pomiaru ilości zużywanej wody. Woda pobierana jest z własnego ujęcia w po-

stacji studni oraz z sieci wodociągu wiejskiego. Pobór wody jest opomiarowany za pomocą wodomierzy skrzydełkowych. Próbki ścieków do analiz fizyko-chemicznych pobierano ręcznie co pół godziny w godzinach dziennych, a następnie były one zlewane na próbki 3 godzinne. Do chwili zlewania próbki były utrzymywane w stanie schłodzonym, a oznaczenia wykonywane były niezwłocznie po zlaniu próbek ścieków. Badania analityczne próbek ścieków wykonywane były w laboratorium Katedry Technologii Środowiskowych Politechniki Krakowskiej. Oznaczenia fizyko-chemiczne wykonywano według powszechnie stosowanych metod [Hermanowicz W., i in. 1999]. Wykonano analizy jakości ścieków dla podstawowych wskaźników zanieczyszczeń ( $BZT_5$ ,  $ChZT_{Cr}$ , zawiesina ogólna), a w drugim okresie badań także dla substancji biogennych (azot ogólny, azot amonowy i fosfor ogólny).

## WYNIKI BADAŃ

W okresie przed modernizacją oczyszczalni ilość zużywanej na cele bytowe wody w Klasztorze wynosiła średnio  $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Jednostkowa ilość zużywanej wody dla 17 mieszkańców korzystających z wodociągu wynosiła  $90 \text{ dm}^3 \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ . W okresie badań po modernizacji oczyszczalni ilość ścieków dopływających wynosiła średnio  $2,8 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  (zakres od  $2,45$  do  $3,1 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ) w 2011 roku i  $3,85 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  (zakres od  $2,9$  do  $5,1 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ) w roku 2012. Wzrost ilości dopływających ścieków po modernizacji oczyszczalni związany był ze zwiększeniem ilości zużywanej wody do przygotowania posiłków w nowo otwartym Domu Pielgrzyma.

W tabeli 1 przedstawiono zakres oraz wartości średnie stężenia zanieczyszczeń w ściekach po osadniku gnilnym i filtrze zabezpieczającym oraz w ściekach oczyszczonych po filtrze żwirowym.

Wykonane analizy jakości ścieków po osadniku gnilnym wskazują na wysokie stężenie zanieczyszczeń w ściekach. Jakość ścieków dopływających do filtra żwirowego po mechanicznym oczyszczeniu w osadniku gnilnym wskazuje na podatność ścieków na procesy biologicznego oczyszczania. Iloraz  $ChZT/BZT_5$  w ściekach wynosił  $1,1$  do  $1,4$ .

Wykonane analizy jakości ścieków oczyszczonych potwierdzają wysoką efektywność oczyszczania w badanej oczyszczalni z filtrem żwirowym. Ścieki oczyszczone odpływające do rzeki Dłubni w każdym przypadku były bezbarwne, bezwonne i klarowne, a stężenie tlenu wynosiło powyżej  $2 \text{ gO}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ . We wszystkich analizowanych próbkach dla wskaźników  $ChZT$  i zawiesina ogólna oraz dla drugiego okresu badań dla wskaźnika  $BZT_5$  wartości stężeń zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych do odbiornika były niższe od dopuszczalnych wartości według aktualnego pozwolenia wodnoprawnego. W przypadku wskaźnika  $BZT_5$  w pierwszym okresie w 2011r dwie spośród analizowanych próbek nie spełniały wymagań aktualnego pozwolenia wodnoprawnego, prze-

kracząc w odprowadzanych ściekach oczyszczonych wartość  $40 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Średnie wartości stężenia BZT<sub>5</sub> w ściekach oczyszczonych były mniejsze od dopuszczalnej wartości i wyniosły odpowiednio 39,7 i 32,1  $\text{mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ .

**Tabela 1.** Wskaźniki zanieczyszczeń w ściekach po osadniku gnilnym i w ściekach oczyszczonych

**Table 1.** Quality of the septic tank effluent and the final effluent

Wskaźnik zanieczyszczenia Parameter	Okres badań 4-26.11.2011 Zakres/średnia November 4-26, 2011 Range/Average			Okres badań 9-22.11.2012 Zakres/średnia November 9-22, 2012 Range/Average		
	Ścieki po osadniku gnilnym i filtrze zabezp. + seperate filter. After septic tank + seperate filter.	Ścieki oczyszczone po filtrze żwirowym After gravel filter	Stopień usuwania Removal	Ścieki po osadniku gnilnym i filtrze zabezp. + seperate filter. After septic tank + seperate filter.	Ścieki oczyszczone po filtrze żwirowym After gravel filter	Stopień usuwania Removal
BZT <sub>5</sub> BOD <sub>5</sub> $\text{gO}_2 \cdot \text{m}^{-3}$	380-550 470	29,8-55 39,7	91,5%	317-496 405,5	31,4-33,3 32,1	92%
ChZT COD $\text{gO}_2 \cdot \text{m}^{-3}$	433-678,4 557,2	59,5-125 95,2	83%	348,5-590 451	42,8-71,4 57	87,4%
Zawiesina ogólna Total suspended solids $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	66,7-173,3 129,7	15-31,4 23,3	82%	60-152 117	20-37 31	73,5%
Zawiesina po 2h sedymentacji Total suspended solids after 2h sedimentation $\text{ml} \cdot \text{dm}^{-3}$	0,3-2,0	0,0-0,2	-	-	-	-
Azot amonowy Ammonium nitrogen $\text{gN-NH}_4 \cdot \text{m}^{-3}$	-	-	-	70,6-87,4 78,4	48-62,7 54,3	31%
Azot ogólny Total nitrogen $\text{gN} \cdot \text{m}^{-3}$	-	-	-	96,3-100,8 98,8	51,5-68,3 60,1	39%
Fosfor ogólny Total phosphorus $\text{gP} \cdot \text{m}^{-3}$	-	-	-	8,7-9,4 9,2	6,2-8,1 7,2	21,7%

Efektywność usuwania BZT<sub>5</sub> w filtrze żwirowym wynosiła ponad 90%, a ChZT ponad 80%. Efektywność usuwania zawiesiny ogólnej w pierwszym okresie badań, z uwagi na mniejsze obciążenie powierzchni, była wyższa niż w drugim okresie i wynosiła średnio 82%. Średni stopień usuwania azotu wyniósł 39%, a fosforu 21.7%.

Uzyskane wyniki badań efektywności usuwania dla wskaźników BZT<sub>5</sub> i ChZT są wyższe od wartości podanych w opracowaniu Siemieńca i Krzanowskiego [2001] dla filtrów żwirowo-piaskowych o przepływie poziomym i porównywalne z wynikami badań przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych przez Chmielowskiego i Ślizowskiego [2008] w złożu filtracyjnym żwirowym o uziarnieniu 2,5 do 5,0mm i średnicy zastępczej  $d_{10}$  równej 2,84mm. Stopień usuwania zawiesiny ogólnej w filtrze żwirowym badanej małej oczyszczalni wynoszący odpowiednio 82 i 73% był znacznie wyższy od uzyskanego w badaniach laboratoryjnych, w którym stwierdzono 52% usuwania.

Obliczone na podstawie danych zawartych w pracy Chmielowskiego i Ślizowskiego [2008] średnie wartości obciążenia ładunkiem powierzchni złoża doświadczalnego były znacznie wyższe od wartości uzyskanych w badanej małej oczyszczalni. Obciążenie złoża ładunkiem BZT<sub>5</sub> w badaniach Chmielowskiego i Ślizowskiego wynosiło średnio  $11,7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , a zawiesiną  $7,7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ . Obciążenie powierzchni złoża ładunkiem zanieczyszczeń organicznych w badanej małej oczyszczalni wynosiło odpowiednio 5,3 oraz  $6,2 \text{ g BZT}_5\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , a obciążenie powierzchni zawiesiną 1,45 i  $1,8 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  [Mucha 2011, 2012].

Obciążenie hydrauliczne powierzchni złoża w poszczególnych okresach badań wynosiło 11,2 i  $15,4 \text{ dm}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ . Uzyskane wartości obciążenia hydraulicznego powierzchni filtra oraz ładunkiem zanieczyszczeń organicznych i zawiesin wskazują na pracę filtra żwirowego badanej oczyszczalni z pełnym projektowanym obciążeniem.

## WNIOSKI

1. Jak wykazują dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne, mechaniczno-biologiczna oczyszczalnia z osadnikiem gnilnym i złożem żwirowym pracuje poprawnie i uzyskuje stabilną - wysoką efektywność oczyszczania dla podstawowych wskaźników zanieczyszczeń.

2. Stopień usuwania zanieczyszczeń organicznych w filtrze żwirowym w badanych okresach wyniósł średnio ponad 90% dla wskaźnika BZT<sub>5</sub> i ponad 85% dla wskaźnika ChZT. Stopień usuwania zawiesiny ogólnej wyniósł średnio ponad 77%.

3. Uzyskane wyniki badań potwierdzają możliwość stosowania rozwiązań technologicznych z zastosowaniem filtra żwirowego do oczyszczania małej ilości ścieków.

4. Oczyszczalnie z filtrem żwirowym mogą stanowić alternatywę dla małych oczyszczalni ze złożem biologicznym lub osadem czynnym. Oczyszczalnie te zapewniają pełne biologiczne oczyszczanie oraz charakteryzują się prostotą rozwiązań i łatwością obsługi, a także niezawodnością działania, pozwalającą zminimalizować nadzór techniczny w czasie eksploatacji oraz koszty eksploatacji. Oczyszczalnie tego typu mogą być stosowane także w przypadku modernizacji oczyszczalni z filtrami piaskowymi, gdy nastąpi ich kolmatacja.

#### BIBLIOGRAFIA

- Błażejowski, R. (2003). *Projektowanie, budowa i eksploatacja przydomowych oczyszczalni ścieków*. Poznań: Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych.
- Chmielowski, K., Ślizowski, R. (2008). *Wpływ uziarnienia złoża filtrów piaskowych o przepływie pionowym na jakość filtratu*. Przemysł Chemiczny 87/5.
- Heidrich, Z. (1998). *Przydomowe oczyszczalnie ścieków- poradnik*. Warszawa: COIB.
- Hermanowicz, W., Dojlido, W., Dożańska, W., Koziorowski, B., Zerbe, J. (1999). *Fizykochemiczne badanie wody i ścieków*. Warszawa: Arkady, 1999, s.556 ss.
- Jóźwiakowski, K. (2003). *Analiza efektów oczyszczania ścieków bytowych w oczyszczalniach przydomowych na terenach wiejskich na przykładzie wybranych obiektów w województwie lubelskim*. Poznań: Acta Scientiarum Polonorum, ser. Formatio Circumiectus, 2 (1).
- Mucha, Z., Mikosz J. (2009). *Racjonalne stosowanie małych oczyszczalni ścieków zgodnie z kryteriami zrównoważonego rozwoju*. Kraków: Czasopismo Techniczne, seria Środowisko z. 2-Ś/2009, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.
- Mucha, Z. (2011, 2012). *Ocena efektywności oczyszczania ścieków oraz warunków pracy oczyszczalni dla klasztoru sióstr Norbertanek w Imbramowicach*. Kraków.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U.06.137.984., zmiana Dz.U.09.27.169.),
- Siemieniec, A., Krzanowski, S. (2001). *Ocena skuteczności oczyszczania ścieków przez filtry gruntowe w warunkach terenowych*. Poznań-Kiekrz: VII Ogólnopolskie Sympozjum Szkoleniowe.

Dr inż. Zbigniew Mucha  
inż. Katarzyna Anna Gosek  
Katedra Technologii Środowiskowych  
Politechnika Krakowska  
ul. Warszawska 24  
31-155 Kraków  
Tel. 12 6282873  
zmucha1@interia.pl  
gosek.katarzyna@gmail.com