

Efektywność funkcjonowania gminnych oczyszczalni ścieków

*Czesław Przybyła, Jerzy Bykowski
Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań*

*Janusz Filipiak
Przedsiębiorstwo Usług Komunalnych, Rokietnica*

1. Wstęp

Ochrona środowiska w zakresie gospodarki wodno-ściekowej powinna polegać na odprowadzeniu do wód lub gleby ścieków o ładunkach zanieczyszczeń dopuszczalnych z punktu widzenia zachowania w środowisku zdolności do samooczyszczenia [1, 13]. Procesy samooczyszczenia są bowiem skutecznym a zarazem najtańszym procesem unieszkodliwiania zanieczyszczeń [3]. Zachowanie warunków do samooczyszczania się odbiorników wiąże się z potrzebą znacznego obniżania ładunków zanieczyszczeń zawartych w odprowadzanych ściekach, do wartości określanych jako dopuszczalne. Obniżanie takie odbywa się w oczyszczalniach ścieków, przy czym z punktu widzenia ochrony środowiska, niezwykle istotna jest efektywność funkcjonowania urządzeń.

2. Cel i metodyka badań

Celem pracy była analiza efektywności funkcjonowania gminnych oczyszczalni ścieków, na przykładzie trzech wybranych obiektów (A, B i C) zlokalizowanych w Wielkopolsce i zróżnicowanych pod względem technologicznym. Do oceny efektywności zastosowano stopień obniżenia trzech podstawowych zanieczyszczeń ścieków (zawiesina ogólna, ChZT i BZT₅), obliczony jako iloraz różnicy wartości parametrów w ściekach surowych i oczyszczonych do jego wartości w ściekach surowych. Wskaźniki podstawowe uzupełniono dwoma wskaźnikami eutroficznymi, a mianowicie: usuwaniem azotu ogólnego oraz fosforu ogólnego. Obliczenia wskaźników podstawowych wyko-

nano dla serii 73 par pomiarów (ścieki surowe i ścieki oczyszczone), w tym 18 dla oczyszczalni (A), 33 dla oczyszczalni (B) i 22 dla oczyszczalni (C). Analizę zanieczyszczeń eutroficznych dla oczyszczalni (A) wykonano na podstawie 8, a w oczyszczalni (C) – 7 par pomiarów.

Praca została wykonywana na podstawie dostępnych opracowań projektowych, obowiązujących przepisów prawa oraz wyników badań laboratoryjnych udostępnionych przez zakłady eksploatujące obiekty. Pobranie i przygotowanie próbek oraz oznaczenia chemiczne wykonano zgodnie ze stosownymi rozporządzeniami [9, 10, 11, 12], obowiązującymi w okresie wykonywania badań.

3. Charakterystyka analizowanych gminnych oczyszczalni ścieków na tle gospodarki wodno-ściekowej gmin

Gmina, na której jest zlokalizowana pierwsza z analizowanych czyszczalni ścieków (A) obejmuje powierzchnię 79 km². W jej granicach znajduje się 10 sołectw, które tworzy 16 wsi. Gmina jest obszarem o wysokiej, na tle innych gmin wiejskich Wielkopolski, dynamice zaludnienia. Pod koniec 2006 roku gminę zamieszkiwało 9,1 tys. osób. Przewidywana liczba mieszkańców w 2010 roku ma wynosić 9,4 natomiast w 2020 roku – 12,3 tys. Rozwój ludnościowy gmina zawdzięcza przede wszystkim wysokiemu przyrostowi migracyjnemu, który w minionym dziesięcioleciu wielokrotnie przewyższał przyrost naturalny. Choć ma ona charakter rolniczy, w ostatnich latach coraz więcej terenów jest przekształcanych pod budownictwo mieszkaniowe i aktywizację gospodarczą [6].

Z analizy opracowań wynika, że gmina zmierza do pełnego zbilansowania gospodarki wodno-ściekowej, w kierunku pełnego zaspokojenia potrzeb ludności i drobnej działalności gospodarczej, na poziomie ok. 12 tysięcy mieszkańców.

Gmina charakteryzuje się wysokim stopniem zwodociągowania. Trzy stacje wodociągowe produkują wodę w podstawowych parametrach zgodną z wartościami określonymi w normie. Gmina posiada również rozbudowaną sieć kanalizacji grawitacyjnej, tłocznej oraz sieć kanalizacji podciśnieniowej.

Na terenie gminy są zlokalizowane dwie oczyszczalnie ścieków. Pierwsza, jest niewielką oczyszczalnią typu „Miniflo” o przepustowości maksymalnej 70,2 m³/d, przystosowaną do odbioru ścieków sieciowych z okolicznych bloków.

Główna w gminie – poddana analizie oczyszczalnia ścieków (A), jest oczyszczalnią mechaniczno-biologiczną o przepustowości średnio dobowej 1200 m³/dobę, co umożliwia przyjęcie i oczyszczenie ścieków pochodzących od ok. 9000 mieszkańców równoważnych. Ścieki przyjmowane przez oczyszczalnię mają charakter wyłącznie bytowy. Oczyszczalnia działa od 1995 roku, kiedy powstał pierwszy bioblok o przepustowości maksymalnej 400 m³/d. Drugi ciąg technologiczny wybudowano i włączono do eksploatacji w 2000 roku. W ten sposób maksymalna przepustowość zwiększona została do 800 m³/dobę. Kolej-

na rozbudowa i modernizacja miała miejsce w 2007 roku, kiedy to dobudowano trzeci bioblok, w wyniku czego maksymalna dobowa przepustowość zwiększyła się do 1560 m³/dobę.

Procesy technologiczne realizowane są w uproszczonym układzie oczyszczalni typu mechaniczno-biologicznej bez sedimentacji wstępnej. Oczyszczalnia zapewnia oczyszczenie ścieków dopływających kanalizacją sanitarną ze wszystkich skanalizowanych obecnie miejscowości w gminie oraz miejscowości, co do których istnieją plany skanalizowania i przyłączenia do analizowanej oczyszczalni. Oczyszczalnia od 30 listopada 2007 roku może przyjmować również ścieki ze zbiorników bezodpływowych w ilości ok. 200 m³/dobę.

Druga z analizowanych oczyszczalni ścieków (B), jest zlokalizowana w gminie obejmującej powierzchnię gminy 108 km², w skład której wchodzi 11 sołectw. Liczba mieszkańców gminy stale rośnie i jest efektem przyrostu naturalnego i ruchów migracyjnych. Stan ludności na dzień 30 czerwca 2007 wyniósł 14 011 osób. Sieć wodociągowa obejmuje swym zasięgiem całą powierzchnię gminy. Od 2002 roku podłączonych jest 99% gospodarstw domowych, a łączna długość sieci wodociągowej w gminie wynosiła 128,9 km [7].

System kanalizacyjny posiada obecnie 6 miejscowości. W pozostałych miejscowościach nie ma systemowej kanalizacji sanitarnej, a ścieki bytowe odprowadzane są do zbiorników bezodpływowych (szamb), okresowo opróżnianych systemem asenizacyjnym.

Obecnie w gminie są eksploatowane dwie oczyszczalnie ścieków, przy czym analizowana (B) odbiera ścieki z 4 miejscowości, o najbardziej rozbudowanej sieci kanalizacji sanitarnej.

Od 2000 do połowy 2008 roku oczyszczalnia funkcjonowała jako oczyszczalnia typu „LEMNA” o średniej dobowej przepustowości 350 m³/dobę. Od sierpnia 2008 roku oczyszczalnia funkcjonuje jako mechaniczno-biologiczna o przepustowości 800 m³/dobę, z możliwością dalszej jej rozbudowy do przepustowości 1600 m³/dobę.

Ostatnia z analizowanych oczyszczalni ścieków (C) jest zlokalizowana w gminie obejmującej powierzchnię 116,6 km², a tworzą ją 5 sołectw oraz 4 osiedla [8]. Obecna liczba mieszkańców wynosi około 13,0 tys., w perspektywie do 18 tys. – w 2015 roku. Gmina nie ma charakteru rolniczego. W ostatnich latach zauważalna jest wyraźna tendencja do zmniejszania się liczby gospodarstw, co spowodowane jest zmianą kwalifikacji gruntów i przeznaczaniem ich przede wszystkim na cele budownictwa mieszkaniowego.

Dane statystyczne wskazują, że do sieci wodociągowej jest podłączonych blisko 100% gospodarstw domowych. Gorzej przedstawia się kwestia

kanalizacji sanitarnej – obecnie przyłączonych jest 50% wszystkich gospodarstw z terenu gminy [2].

Analizowana oczyszczalnia ścieków (C) oddana do eksploatacji w 2002 roku, jest oczyszczalnią mechaniczno-biologiczną o dobowej przepustowości 600 m³/d. Z uwagi na słaby stopień skanalizowania gminy, przyjmowane ścieki o charakterze bytowym, są w 92% dowożone wozami asenizacyjnymi.

4. Analiza efektywności funkcjonowania gminnych oczyszczalni ścieków

Jak wynika z tabeli 1 podstawowe parametry ścieków surowych dostarczanych do trzech analizowanych oczyszczalni były istotnie zróżnicowane. Maksymalne stężenia zawiesiny ogólnej wynosiły od 1616 do 3422 mg/dm³, przy średnich wartościach w przedziale od 549 do 1286 mg/dm³. W analizowanym okresie, minimalne stężenia zawiesiny ogólnej w komunalnych ściekach surowych nie zeszły poniżej progu 300 mg O₂/dm³. Równie zróżnicowane jest chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT), którego maksymalne wartości wynosiły od 2478 do prawie 7500 mg O₂/dm³, a średnie wartości tego parametru w ściekach surowych dostarczanych do analizowanych oczyszczalni wahały się od 808 do 2357 mg O₂/dm³. Na zróżnicowanie parametrów ścieków surowych wskazuje też wskaźnik BZT₅, którego wartości maksymalne wynosiły od 855 do 3564 mg O₂/dm³, przy średnich wartościach od 408 do 850 mg O₂/dm³. Pod względem wymienionych powyżej parametrów, najgorszą jakość wykazywały ścieki surowe dostarczane do oczyszczalni C, jak to już wspomniano uprzednio w 92% dowożone wozami asenizacyjnymi.

Efektywność funkcjonowania oczyszczalni ścieków jest określana na podstawie porównania ładunków zanieczyszczeń w oczyszczonych ściekach z wartościami dopuszczalnymi oraz wskaźników minimalnego usuwania zanieczyszczeń, wskazanymi w stosownych rozporządzeniach.

Z punktu widzenia suwania zawiesiny ogólnej należy uznać analizowane oczyszczalnie za w pełni efektywne, zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi i wydanymi pozwoleniami wodno-prawnymi, jej stężenie w odprowadzanych ściekach nie powinna przekraczać 35÷40 mg/dm³, a minimalny stopień usuwania zanieczyszczeń powinien być większy od 90%.

Tabela 1. Wybrane właściwości ścieków surowych i oczyszczonych oraz stopień oczyszczenia w analizowanych obiektach w latach 2002-2008

Table 1. Selected properties of raw and treated wastewater and the efficiency of removal of pollutants in the objects analyzed in the years 2002-2008

Parametr		Stan ścieków surowych i oczyszczonych											
		oczyszczalnia A				oczyszczalnia B				oczyszczalnia C			
		ścieki surowe	ścieki oczyszczone	zawartość dop. i liczba przekr.	stopień oczyszczenia (%)	ścieki surowe	ścieki oczyszczone	zawartość dop. i liczba przekr.	stopień oczyszczenia (%)	ścieki surowe	ścieki oczyszczone	zawartość dop. i liczba przekr.	stopień oczyszczenia (%)
Zawiesina ogólna (mg/dm ³)	max.	3422	67	35-40 3 (17%)	99,2	1616	138	25-35 14 (42%)	99,9	2260	40	30-35 1 (5%)	99,9
	min.	311	10		84,5	331	4		63,1	306	2		97,0
	średnia	749	28		94,3	549	50		88,7	1286	9		99,0
ChZT (mg O ₂ /dm ³)	max.	2478	195	125 1 (6%)	96,7	3328	400	125 19 (58%)	98,4	7475	105	125 0 (0%)	99,4
	min.	388	49		73,7	818	40		63,8	670	32		93,8
	średnia	808	75		88,3	1324	171		85,4	2357	49		97,1
BZT ₅ (mg O ₂ /dm ³)	max.	1550	42	25 1 (6%)	98,9	855	108	20-25 20 (61%)	98,2	3564	16	20-25 0 (0%)	99,7
	min.	156	5		85,1	356	11		67,8	310	3		97,3
	średnia	408	16		94,4	515	47		90,0	850	7		99,0
Azot og. (mg N/dm ³)	max.	233	96	30 8 (100%)	75,8	brak danych				210	56	30 3 (43%)	99,6
	min.	112	56		14,6					144	1		61,9
	średnia	166	67		46,7					166	21		88,9
Fosfor og. (mg P/dm ³)	max.	28	20	5 7 (87%)	86,8	brak danych				34	4	5 0 (0%)	98,6
	min.	12	3		20,8					12	1		68,5
	średnia	20	8		50,5					19	1,5		87,9

Jak wynika z tabeli 1, w analizowanym okresie we wszystkich badanych oczyszczalniach A, B i C, stwierdzano przekroczenie tego parametru w ściekach odpływających, odpowiednio w 17, 42 i 5% wykonanych pomiarów. Ponadto, w przypadku oczyszczalni B, funkcjonującej jako oczyszczania typu „LEMNA”, obliczony średni stopień efektywności usuwania zawiesiny ogólnej wyniósł 88,7% i nie przekroczył wymaganej wartości 90%. W pozostałych oczyszczalniach osiągnięto wymagany średni stopień efektywności usuwania zanieczyszczeń, przy czym w przypadku oczyszczalni C, charakteryzującej się najgorszymi właściwościami doprowadzanych ścieków surowych, średnia efektywność usuwania zawiesiny ogólnej wyniosła aż 99%. Dalsza analiza tabeli 1 pozwala na stwierdzenie, że w eksploatowanej jako typu „LEMNA” oczyszczalni B, aż w 60% przeprowadzonych pomiarów stwierdzono przekroczenie dopuszczalnej wartości parametrów ChZT i BZT₅. W skrajnych przypadkach, wartości tych parametrów w ściekach oczyszczonych czterokrotnie przekraczały wartości dopuszczalne. Ze względów środowiskowych, w przypadku tej oczyszczalni, decyzję o zmianie od sierpnia 2008 roku technologii oczyszczania ścieków na mechaniczno-biologiczny można uznać za uzasadnioną. Należy jednak zauważyć, że Maślanka i Popławski w pracy dotyczącej analizy efektywności ekonomicznej oczyszczalni ścieków typu „LEMNA” funkcjonującej w gminie Mniów (woj. świętokrzyskie) wykazali korzystną strukturę kosztów eksploatacji oraz dobrą efektywność ekonomiczną tego typu inwestycji. Koszty jednostkowe oczyszczania ścieków w tym obiekcie wynosiły 1,44 zł /m³, co pozwala zalecić stosowanie tego typu oczyszczalni na obszarach wiejskich [5]. Jednostkowy koszt oczyszczenia ścieków w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków A (bez kosztów na sieciach i przepompowniach) wynosił natomiast w roku 2005 – 3,53, w roku 2006 – 4,05 a w roku 2007 – 4,24 złotych za m³/rok.

Analizę środowiskowej efektywności funkcjonowania gminnych oczyszczalni ścieków w oparciu o parametry podstawowe uzupełniono, w przypadku oczyszczalni A i C, o dwa wskaźniki eutroficzne – azot ogólny i fosfor ogólny. Jak wynika z dalszej analizy tabeli 1, w oczyszczalni A – 100% z analizowanych 8 próbek wykazało przekroczenie dopuszczalnego stężenia azotu ogólnego, a 87% stężenia fosforu ogólnego. Natomiast w gminnej oczyszczalni C, na 7 analizowanych próbek nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnego stężenia fosforu ogólnego w odprowadzanych ściekach, a w 43% pobranych próbek występowało przekroczenie dopuszczalnego stężenia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych. Tak pozytywny wynik w oczyszczalni C uzyskano dzięki zastosowaniu w procesie technologii SBR do usuwania związków biogenych, jednak jednostkowy roczny koszt oczyszczenia 1 m³ ścieków na tym obiekcie w 2007 roku przekroczył 7 złotych. Tak wysoki jednostkowy koszt

oczyszczenia ścieków wiązać należy z niepełnym obciążeniem oczyszczalni, które obecnie nie przekracza 200 m³ na dobę.

Na istotną rolę aspektu ekonomicznego w ocenie efektywności inwestycji z zakresu oczyszczania ścieków zwraca uwagę Manteuffel Szoęge [4].

5. Wnioski

1. Ścieki komunalne dostarczane do gminnych oczyszczalni mogą być istotnie zróżnicowane pod względem wartości podstawowych właściwości fizyczno-chemicznych. Iloraz wartości maksymalnej do minimalnej analizowanych parametrów wahał się w przypadku zawiesiny ogólnej od 4,9 do 11,0, chemicznego zapotrzebowania tlenu (ChZT) – od 4,1 do 11,1, a w przypadku biologicznego zapotrzebowania tlenu BZT₅ – od 2,4 do 11,5. Z analizowanych gmin, najgorszą jakością charakteryzowały się ścieki dostarczane do oczyszczalni w 92% wozami asenizacyjnymi.
2. Aktualny stan mechaniczno-biologicznych gminnych oczyszczalni ścieków pozwala na uzyskanie zadawalającej technicznej efektywności funkcjonowania urządzeń. Podstawowe właściwości fizyczno-chemiczne ścieków oczyszczonych mieściły się w decydującej większości wypadków w granicach wymagań norm oraz uzyskanych pozwoleń wodno-prawnych.
3. Badania prowadzone w warunkach Wielkopolski nie potwierdziły wniosków z badań innych autorów o wysokiej technicznej efektywności funkcjonowania oczyszczalni typu „LEMNA”. W około 50% wykonanych pomiarów, podstawowe parametry ścieków oczyszczonych nie spełniały wymagań norm. Ponieważ w zrównoważonym rozwoju środowiska niezwykle ważny jest również aspekt ekonomiczny, stąd w analizach efektywności funkcjonowania gminnych oczyszczalni ścieków należy również brać pod uwagę i ten aspekt.

Literatura

1. **Heidrich Z., Tabernacki J., Sikorski M.:** *Wiejskie oczyszczalnie ścieków*. Wyd. Arkady. 1984.
2. *Konsepca skanalizowania i zwodociągowania gminy C.*
3. **Kuczewski K., Paluch J.:** *Oczyszczanie ścieków bytowo-gospodarczych na terenach wiejskich w oczyszczalniach roślinno-glebowych*. Wyd. AR Wrocław 1997.
4. **Manteuffel Szoęge H.:** *Ocena ekonomicznej efektywności oczyszczalni komunalnych. Rachunek społeczny i rachunek przedsiębiorstwa*. Wyd. SGGW Warszawa. 141, 2001.
5. **Maślanka K., Popławski Ł.:** *Analiza efektywności ekonomicznej oczyszczalni ścieków typu „Lemna” w gminie Mniów w woj. Świętokrzyskim*. Inżynieria Rolnicza. Nr 8 (28): 169-179, 2001.

6. Plan Rozwoju Lokalnego Gminy A.
7. Plan Rozwoju Lokalnego Gminy B na lata 2004 – 2013.
8. Plan Rozwoju Lokalnego Gminy C.
9. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5 listopada 1991 r. w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi (Dz. U. z 1991 r. Nr 116 poz. 503).
10. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 listopada 2002 roku w sprawie warunków jakim muszą odpowiadać ścieki odprowadzane do odbiornika. (Dz. U. z 2002 r. Nr 212 poz. 1799)
11. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 lipca 2004 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. z 2004 r. Nr 168 poz. 1763).
12. 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. z 2004 r. Nr 168 poz. 1763).
13. **Szpindor A.:** *Zaopatrzenie w wodę i kanalizacja wsi*. Wyd. Arkady. Warszawa, 2002.

Technical Effectiveness of Municipal Wastewater Treatment Plants

Abstract

The objective of the presented paper was the analysis of the technical effectiveness of municipal wastewater treatment plants shown on the example of three selected objects (A, B and C) localized in Wielkopolska and differentiated regarding the technological aspect.

The wastewater treatment effectiveness was estimated on the basis of the reduction achieved in three basic wastewater treatment parameters, i.e. in general suspension, requirement for chemical oxygen (RCHO) and requirement for biological oxygen (RBO).

The parameter values were measured both in the raw wastewater and in the purified ones. The difference of these values was divided by the value of the raw wastewater. The received basic indicators were supplemented with two eutrophic properties, i.e. with the reduced values of total nitrogen and total phosphorus. A series of 73 pairs of measurements (in the raw and the purified sewages) were carried out (10 pairs in plant A; 33 pairs in plant B and 29 pairs in plant C). Eutrophic results obtained in plant A included 8 measurements and 7 measurements in plant C.

The presented work was done basing on the available elaborated designs, on the valid legal regulations and on results of laboratory studies made available by institutions using such objects. Sampling and preparation of samples, as well as chemical determinations were done according to the corresponding regulations valid in the period of the above studies.

The investigations have shown that municipal wastewater supplied to municipal treatment plants are significantly differentiated regarding the basic quality properties. The maximal value of total suspension ranged between 4.9 and 11,0; In case of chemical oxygen requirements, the values were 4.1-11.1 and in reference to biological oxygen requirements, the range was 2.4-11.5.

Among the analyzed communes, the worst quality was found in the wastewater supplied to the treatment plants (in 92%) in waste removal carriages. The actual mechanical and biological conditions of the municipal treatment plants permits to obtain a satisfactory effectiveness of their work. The basic parameters of the purified wastewater, in the majority of cases, were contained within the limits of the required standards and according to the legal permissions obtained by the wastewater treatment plants.

Studies carried out in conditions of Wielopolska did not confirm the conclusions drawn by other authors regarding the technical effectiveness of the "Lemna" type treatment plants. There, in about 50% of measurements, the basic parameters of the purified wastewater did not meet the required standards.

Since in the balanced environment development, the economic aspect is also very important, therefore, in the analysis referring to the effectiveness of the functioning of municipal wastewater treatment plants, the economic aspect must be also taken into consideration.

