

Wpłynęło 12.10.2017 r.
Zrecenzowano 29.01.2018 r.
Zaakceptowano 4.04.2018 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

OCENA SKUTECZNOŚCI PRACY OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W GRYFINIE

**Natalia SZCZERBIŃSKA¹⁾ ABDF, Małgorzata GAŁCZYŃSKA¹⁾ ACDP,
Katarzyna ULAS²⁾ AB, Piotr BURCZYK³⁾ E,
Maria MIKOŁAJCZAK²⁾ A, Marta BUŚKO¹⁾ E**

¹⁾ Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny w Szczecinie, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa

²⁾ Oczyszczalnia ścieków, Przedsiębiorstwo Usług Komunalnych Spółka z o.o. w Gryfinie

³⁾ Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Kujawsko-Pomorski Ośrodek Badawczy w Bydgoszczy

Streszczenie

Polska – wchodząc w strukturę Unii Europejskiej – zobowiązała się do uporządkowania gospodarki ściekowej do końca 2015 r. Dzięki prawidłowej pracy oczyszczalni ścieki odprowadzane do wód odbiornika nie stanowią dla nich zagrożenia. Jest to szczególnie ważne ze względu na potrzebę utrzymania dobrego stanu wód powierzchniowych. Celem badań było określenie efektywności oczyszczania ścieków przez mechaniczno-biologiczną oczyszczalnię ścieków w Gryfinie na podstawie analizy ilości zanieczyszczeń niesionych wraz ze ściekami komunalnymi. Badania przeprowadzono na terenie oczyszczalni ścieków w Gryfinie. Analizy składu ścieków surowych i oczyszczonych obejmowały pięcioletni okres – od 2011 do 2015 r. Analizowano BZT₅, ChZT, zawiesinę ogólną, Nog i P_{og}. Obliczono efektywność pracy oczyszczalni ścieków, skuteczność zmniejszania zanieczyszczeń i wskaźnik technologicznej sprawności oczyszczania. Wyniki badań opracowano statystycznie. Stwierdzono, że średni wskaźnik sprawności oczyszczania ścieków w odniesieniu do zawiesiny ogólnej wyniósł 98,0%, BZT₅ – na poziomie 98,9%, natomiast ChZT – na poziomie 97,4%. Średni wskaźnik sprawności oczyszczania ścieków w odniesieniu do azotu ogólnego oraz fosforu ogólnego wyniósł odpowiednio 89,6% i 96,4%. Ustalono, że efektywność oczyszczalnia ścieków w Gryfinie była bardzo duża i zgodna z przepisami.

Słowa kluczowe: efektywność oczyszczania ścieków, oczyszczalnia ścieków, ścieki oczyszczone, ścieki surowe

Do cytowania For citation: Szczerbińska N., Gałczyńska M., Ulas K., Burczyk P., Mikołajczak M., Buśko M. 2018. Ocena skuteczności pracy oczyszczalni ścieków w Gryfinie. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 18. Z. 2 (62) s. 85–98.

WSTĘP

Kluczowym zadaniem komunalnych oczyszczalni ścieków jest zmiana składu i właściwości ścieków tak, aby ścieki odprowadzane nie stanowiły zagrożenia dla zdrowia ludzi oraz środowiska, zwłaszcza wód naturalnych i gruntów [BOHDZIEWICZ i in. 2015; BUDKOWSKA i in. 2012]. Ścieki nieoczyszczone zawierają m.in. związki biogenne, zawiesiny łatwo opadające i koloidalne, związki refrakcyjne (metale śladowe, pestycydy, herbicydy itp.) oraz drobnoustroje patogenne [BOHDZIEWICZ i in. 2015; JORDANOWSKA, JAKUBUS 2013; PŁUCIENNIK-KOROPCZUK, JAKUBASZEK 2012; SOROKO 2007].

Do oczyszczania ścieków komunalnych i bytowych na obszarach wiejskich i z rozproszoną zabudową stosuje się konwencjonalne i hydrofitowe systemy oczyszczania ścieków [BIAŁOŃCZYK 2002; CZYŻYK i in. 2012]. W porównaniu z oczyszczalniami konwencjonalnymi (np. ze złożami biologicznymi lub osadem czynnym) hydrofitowe oczyszczalnie wymagają zwykle podobnych nakładów inwestycyjnych, lecz są znacznie tańsze i mniej kłopotliwe w eksploatacji [BIAŁOŃCZYK 2002; MIERNIK, WAŁĘGA 2006]. Te proste konstrukcyjnie rozwiązania technologiczne są bardzo powszechnie stosowane ze względu na ich dużą odporność na przeciążenia hydrauliczne i przeciążenia ładunkiem zanieczyszczeń. Decyduje o tym praktycznie bezobsługowa praca i brak urządzeń pobierających energię [SZPINDOR i in. (red.) 1999]. CZYŻYK [2003] oraz MIERNIK i WAŁĘGA [2006] zwracają jednak uwagę, że proces technologiczny hydrofitowych systemów nie gwarantuje stałego poziomu oczyszczania ścieków i wymaga konsekwencji w realizacji założeń eksploatacyjnych. Często efektywność oczyszczania ścieków zmniejsza się z upływem czasu eksploatacji tych oczyszczalni.

Mimo specyfiki gospodarki wodno-ściekowej na obszarach wiejskich, najczęściej do oczyszczania ścieków z kilku wsi, stosuje się konwencjonalne oczyszczalnie ścieków. Te rozwiązania stwarzają lepszą możliwość dostosowania procesu technologicznego do ilości i rodzaju dopływających ścieków. W doborze procesu technologicznego należy się kierować zarówno efektywnością systemu, jak i wysokością nakładów finansowych na jego realizację [SATO i in. 2006]. Ważny jest również właściwy dobór rozwiązania technologicznego umożliwiający zminimalizowanie problemów eksploatacyjnych i uzyskanie wysokiej wydajności oczyszczania ścieków [CHATTERJEE i in. 2016].

Proces oczyszczania ścieków komunalnych jest realizowany aktualnie w 3288 oczyszczalniach w Polsce [GUS 2016], lecz w wielu z nich, np. z powodu innych czynników zewnętrznych (obecność metali ciężkich, małe stężenie tlenu rozpuszczonego w komorach osadu czynnego, mała wartość pH, małe obciążenie osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń), procesy nityfikacji i denityfikacji mogą przebiegać nieprawidłowo [CZYŻYK 2003; MAZURKIEWICZ 2012]. W celu weryfikacji poprawności działania ciągu technologicznego i zachodzących w nim reakcji biologiczno-chemicznych prowadzona jest ciągła kontrola oczyszczalni ścieków.

Warunki, które należy spełnić, aby ścieki odprowadzane z komunalnych oczyszczalni ścieków nie stanowiły zagrożenia dla środowiska naturalnego, definiuje Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. W tym akcie prawnym, oprócz podstawowych parametrów jakości ścieków (BZT₅, ChZT, zawiesina, azot ogólny, fosfor ogólny), podawane są graniczne wartości dla innych zanieczyszczeń, wśród nich dla metali.

Technologiczna różnorodność oczyszczalni ścieków powoduje także zróżnicowanie efektów ich pracy, czyli redukcja ładunku zanieczyszczeń. Pożądany efekt to poziom stwarzający jak najmniejsze zagrożenie, zarówno dla człowieka, jak i całego środowiska przyrodniczego. Dlatego istnieje potrzeba prowadzenia ciągłych i wnikliwych badań, których wyniki umożliwiłyby analizę pracy takich obiektów. Analizy te pozwalają ich eksploatatorom ocenić skuteczność przyjętych rozwiązań technologicznych i konstrukcyjnych [MIERNIK 2007].

Celem niniejszej pracy było określenie efektywności oczyszczania ścieków przez mechaniczno-biologiczną oczyszczalnię ścieków w Gryfinie na podstawie analizy parametrów zanieczyszczeń niesionych wraz ze ściekami komunalnymi.

METODY BADAŃ

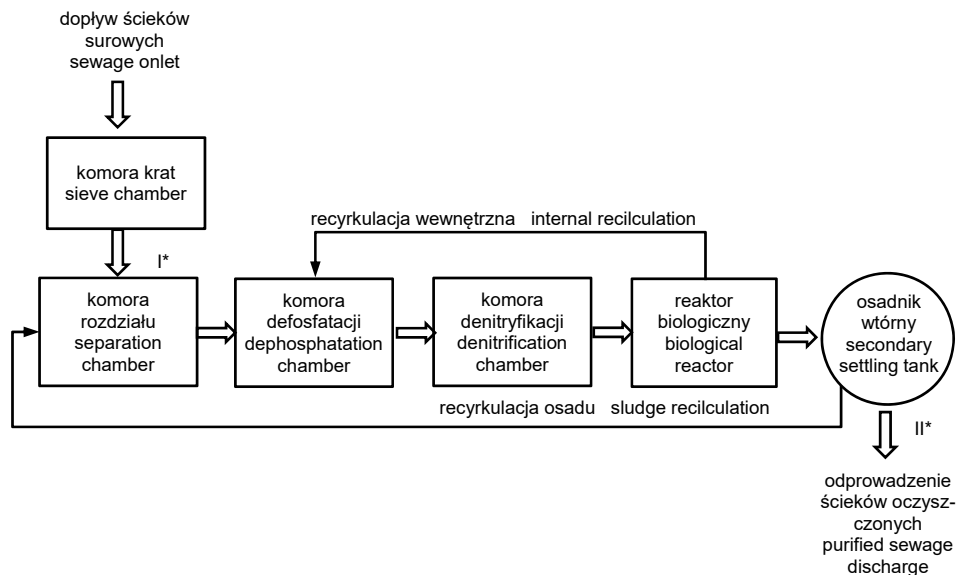
Oczyszczalnia ścieków w Gryfinie jest oczyszczalnią mechaniczno-biologiczną o przepustowości 7500 m³·d⁻¹ (tab. 1). Proces technologiczny prowadzony jest w reaktorze, w którym zachodzi chemiczne strącanie fosforu i biologiczne usuwanie azotu (rys. 1). Po przepłynięciu przez osadnik wtórny ścieki odprowadzane są do rowu melioracyjnego. Głównym odbiornikiem ścieków jest rzeka Odra. Zrzut ścieków oczyszczonych do Odry uregulowany jest pozwoleniem wodnoprawnym. Zostało ono udzielone eksploatatorowi oczyszczalni, którym jest Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej w Gryfinie, przez starostę gryfińskiego [Decyzja... 2009]. Zapisane w nim warunki normujące objętość i skład ścieków oczyszczonych, odprowadzanych do odbiornika, zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Objętość i skład ścieków oczyszczonych, odprowadzanych z oczyszczalni w Gryfinie do rzeki Odry wg pozwolenia wodno-prawnego

Table 1. Volume and composition of treated waste water discharged from sewage treatment plant in Gryfino to Odra River by water-law permission

Objętość ścieków oczyszczonych Volume of treated waste water m ³ ·d ⁻¹	pH Reaction pH	Wskaźnik zanieczyszczenia Pollution indicator				
		BZT ₅ BOD ₅	ChZT COD	zawiesina ogólna total suspended solids	azot ogólny total nitrogen	fosfor ogólny total phosphorus
		mg O ₂ ·dm ⁻³		mg·dm ⁻³		
7500	6,5–9,0	15,0	125,0	35,0	15,0	2,0

Źródło: Decyzja... [2009]. Source: Decyzja... [2009].



Rys. 1. Schemat blokowy oczyszczalni ścieków w Gryfinie; I* = punkt poboru ścieków surowych; II* = punkt poboru ścieków oczyszczonych; lokalizacja stanowisk biosorpcyjnych; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Block diagram of the wastewater treatment plant in Gryfino; I* = point of raw sewage collecting; II* = point of treated sewage collecting, location of biosorption station: source: own study

Ścieki surowe i oczyszczone badane były w latach 2011–2013 pięć razy w miesiącu, natomiast w latach 2014 i 2015 siedem razy w miesiącu, przy czym azot ogólny oznaczany był dwa razy w miesiącu. Wszystkie oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach.

Oznaczenia parametrów charakteryzujących ścieki zostały wykonane w laboratorium przy komunalnej oczyszczalni ścieków w Gryfinie, podlegającej Przedsiębiorstwu Usług Komunalnych Spółka z o.o. w Gryfinie, w którym funkcjonuje system jakości zgodny z normą PN EN ISO/IEC17025. Laboratorium to posiada certyfikat akredytacji Nr AB 1063 w zakresie badań fizykochemicznych wody do spożycia i ścieków.

W próbkach ścieków surowych pobranych po ich mechanicznym oczyszczeniu i w ściekach oczyszczonych, po ich wypływie z osadników (rys. 1), oznaczono:

- BZT₅ metodą elektrochemiczną w zakresie 0,50–6,0 mg O₂·dm⁻³ według PN-EN 1899-2:2002 oraz metodą manometryczną w zakresie 5,0–5000 mg O₂·dm⁻³ według PB-02.00 wydanie 4 z dnia 19.12.2012 r.;
- ChZT-Cr metodą spektrofotometryczną w zakresie 15–5000 mg O₂·dm⁻³ według PB-03.00 wydanie 4 z dnia 21.01.2011 r. na podstawie testu HACH LANGE LCK 314; LCK 514; LCK 014; LCK 1014;

- zawiesinę ogólną metodą wagową w zakresie 5,0–5000 mg·dm⁻³, na podstawie PN-EN 872:2007+Ap1:2007;
- stężenie fosforu ogólnego według PN-ISO 6878:2006 +Ap1:2010P +Ap2:2010P, metodą spektrofotometryczną;
- stężenie azotu ogólnego według PB-01.00 wydanie 5 z dnia 27.12.2011 r. na podstawie testu HACH LANGE LCK 238; LCK 338, metodą spektrometryczną z uwzględnieniem temperatury ścieków;
- pH oznaczono metodą potencjometryczną wg PN-EN ISO 10523:2012.

Efektywność pracy oczyszczalni ścieków w Gryfinie oceniono za pomocą wskaźnika niezawodności technologicznej WN [MIERNIK, WAŁĘGA 2006].

$$WN = \mu x / X_{dop} \quad (1)$$

gdzie:

μx = wartość średnia wskaźnika zanieczyszczenia w ściekach oczyszczonych (mg·dm⁻³),

X_{dop} = wartość dopuszczalna danego wskaźnika zanieczyszczenia w ściekach (mg·dm⁻³).

Skuteczność zmniejszania zanieczyszczeń (sprawność oczyszczania ścieków) określono na podstawie następującego wzoru:

$$\eta = [(S_S - S_O) / S_O] \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie:

η = skuteczność zmniejszania zanieczyszczeń (%),

S_S = wartość wskaźnika w ściekach surowych (mg·dm⁻³),

S_O = wartość wskaźnika w ściekach oczyszczonych (mg·dm⁻³).

Wskaźnik technologicznej sprawności oczyszczania obliczono wg następującego wzoru:

$$P_{sw} = n_s / N \quad (3)$$

gdzie:

n_s = liczba wyników badań zgodnych z wartościami dopuszczalnymi w pozwoleniu wodnoprawnym,

N = liczba wszystkich wyników badań.

W analizach statystycznych wykorzystano program Statistica 12 (StatSoft, Inc.). Dane po sprawdzeniu normalności rozkładu zmiennych (test Kołmogorowa–Smirnowa) i homogeniczności wariancji (test Browna–Forsythe'a) opracowano z zastosowaniem jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA), a istotność różnic między średnimi zweryfikowano testem Tukeya ($\alpha = 0,05$).

WYNIKI I DYSKUSJA

Zgodnie z Rozporządzeniem MŚ [2014] r., oczyszczalnię ścieków w Gryfinie obsługującą równoważną liczbę mieszkańców wynoszącą 56 450, można zakwalifikować pod względem wielkości do trzeciej grupy oczyszczalni, co wiąże się z koniecznością zachowania określonego poziomu wartości wskaźników w ściekach oczyszczonych i określonego poziomu ich redukcji.

W okresie prowadzenia badań ścieki charakteryzowały się obojętnym i lekko zasadowym odczynem. Zakres ich pH wahał się od 7,1 do 8,2 i nie przekraczał wartości określonych w pozwoleniu wodnoprawnym (tab. 1).

Skład biochemiczny ścieków dopływających do tej oczyszczalni z miejscowości położonych na terenach rolniczych (tab. 2) nie odbiegał znacząco od innych opisanych w literaturze [BUGAJSKI, MIELENZ 2008; CHMIEŁOWSKI i in. 2009a; 2012]. Współczynnik zmienności BZT₅ wynosił od 5 do 20%, ChZT – od 10 do 21%, zawiesiny – od 37 do 65%, azotu ogólnego – od 10 do 22%, a fosforu ogólnego – od 16 do 21%. Współczynnik zmienności przyjmował większe wartości i charakteryzował się większym zróżnicowaniem w odniesieniu do ścieków oczyszczonych (BZT₅ 34–60%, ChZT 9–30%, zawiesina 16–33%, azot ogólny 10–36%, a fosfor ogólny 41–108%).

Wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji świadczą, że ścieki te w poszczególnych latach badań różniły się tylko co do wartości dwóch parametrów, tj. BZT₅ ($F = 3,98$ $p = 0,006$) i Nog ($F = 5,66$ $p = 0,0001$). Takich różnic nie stwierdzono w przypadku ChZT ($F = 0,21$ $p = 0,930$), zawiesiny ogólnej ($F = 0,77$ $p = 0,552$) i P_{og.} ($F = 0,47$ $p = 0,756$).

Na podstawie analizy wyników badań składu ścieków oczyszczonych (tab. 2) można stwierdzić, że średnie wartości BZT₅, ChZT, zawiesiny ogólnej, azotu ogólnego oraz fosforu ogólnego mieszczą się poniżej wartości dopuszczalnych określonych w pozwoleniu wodnoprawnym (tab. 1). Zgodnie z jednoczynnikową analizą wariancji parametrów tych ścieków (tab. 2) wartości czterech z nich, tj. BZT₅ ($F = 12,26$ $p < 0,0001$), ChZT ($F = 7,47$ $p = 0,0001$), zawiesiny ogólnej ($F = 2,64$ i $p = 0,044$) i N_{og.} ($F = 7,27$ i $p = 0,0001$) istotnie różniły się w poszczególnych latach badań, w przeciwieństwie do P_{og.} ($F = 2,32$ i $p = 0,068$).

W celu określenia niezawodności technologicznej oczyszczalni ścieków w Gryfinie w okresie od 2011 do 2015 roku obliczono wskaźnik niezawodności w odniesieniu do omówionych wskaźników zanieczyszczenia ścieków i wskaźnik technologicznej sprawności oczyszczania (tab. 2). Średnia wartość wskaźnika niezawodności dla fosforu ogólnego wyniosła 0,30, ChZT – 0,32, zawiesiny ogólnej – 0,34, BZT₅ – 0,41, zaś azotu ogólnego – 0,62. Wartości wskaźnika niezawodności technologicznej poniżej 1,0 świadczą o poprawnym funkcjonowaniu oczyszczalni ścieków. Równie mały wskaźnik niezawodności technologicznej w przypadku ChZT i BZT₅ uzyskali CHMIEŁOWSKI i in. [2009b].

Tabela 2. Charakterystyka składu ścieków w latach 2011–2015**Table 2.** Characteristics of wastewater composition in 2011–2015

Wskaźnik zanieczyszczeń Impurity indicator	Rok Year	Średnia wartość wskaźnika / współczynnik zmienności zakres Average value of the indicator / coefficient of variation range		Wskaźniki niezawodności pracy oczyszczalni ścieków Treatment plant reliability factors	
		ścieki surowe raw sewage	ścieki oczyszczone treated waste water	WN	P_{sw}
1	2	3	4	5	6
BZT ₅ BOD ₅ mg O ₂ ·dm ⁻³	2011	<u>620,0^a / 17,3</u> 440,0–745,0	<u>7,4^a / 33,9</u> 4,3–11,8	0,49	1,00
	2012	<u>579,6^{ab} / 19,6</u> 390,0–765,0	<u>8,5^a / 50,1</u> 4,0–15,0	0,57	1,00
	2013	<u>511,9^b / 18,6</u> 375,0–680,0	<u>9,1^a / 47,5</u> 4,5–16,8	0,61	0,92
	2014	<u>511,3^b / 6,0</u> 454,0–548,0	<u>3,5^b / 60,0</u> 1,2–7,0	0,23	1,00
	2015	<u>525,8^{ab} / 4,9</u> 495,0–562,0	<u>2,0^b / 48,3</u> 0,8–3,6	0,13	1,00
ChZT COD mg O ₂ ·dm ⁻³	2011	<u>1109,0^a / 21,2</u> 767,0–1723,5	<u>43,7^{ac} / 10,2</u> 34,6–48,6	0,35	1,00
	2012	<u>1096,1^a / 18,5</u> 720,0–1430,0	<u>44,9^a / 28,5</u> 31,0–63,9	0,36	1,00
	2013	<u>1089,8^a / 20,6</u> 853,5–1490,5	<u>47,4^a / 30,2</u> 32,5–75,2	0,38	1,00
	2014	<u>1043,3^a / 10,0</u> 881,0–1257,0	<u>32,8^{bc} / 24,2</u> 23,7–53,9	0,26	1,00
	2015	<u>1096,5^a / 13,9</u> 883,0–1287,0	<u>31,0^b / 8,8</u> 26,5–37,3	0,25	1,00
Zawiesina ogólna Total suspended solids mg·dm ⁻³	2011	<u>587,8^a / 24,9</u> 364,0–890,0	<u>10,6^b / 41,8</u> 7,3–22,9	0,30	1,00
	2012	<u>551,4^a / 33,1</u> 320,0–906,3	<u>15,3^a / 63,7</u> 6,5–34,0	0,44	1,00
	2013	<u>644,8^a / 32,1</u> 358,0–972,0	<u>15,3^a / 53,2</u> 6,0–31,0	0,44	1,00
	2014	<u>553,5^a / 15,6</u> 448,0–725,0	<u>11,0^b / 54,0</u> 5,5–25,0	0,29	1,00
	2015	<u>612,9^a / 22,6</u> 437,0–839,0	<u>8,0^b / 37,0</u> 5,0–12,1	0,23	1,00
Azot ogólny Total nitrogen mg·dm ⁻³	2011	<u>87,0^a / 13,7</u> 64,6–108,0	<u>10,6^a / 13,0</u> 7,6–12,4	0,71	1,00
	2012	<u>89,3^a / 13,0</u> 69,7–107,0	<u>10,8^a / 10,3</u> 8,7–12,8	0,72	1,00
	2013	<u>80,0^{ab} / 17,0</u> 63,5–104,3	<u>9,6^{ab} / 25,9</u> 5,5–13,3	0,64	1,00

cd tab. 2

1	2	3	4	5	6
Azot ogólny Total nitrogen mg·dm ⁻³	2014	<u>67,8^b / 22,0</u> 47,0–106,0	<u>7,5^b / 35,8</u> 5,0–14,5	0,50	1,00
	2015	<u>79,0^{ab} / 10,4</u> 66,4–66,4	<u>8,0^b / 12,9</u> 6,5–10,2	0,53	1,00
Fosfor ogólny Total phosphorus mg·dm ⁻³	2011	<u>14,8^a / 17,5</u> 10,7–19,0	<u>0,5^a / 41,0</u> 0,3–1,0	0,25	1,00
	2012	<u>16,1^a / 20,0</u> 12,7–21,4	<u>0,9^a / 67,0</u> 0,4–2,5	0,45	0,92
	2013	<u>15,5^a / 21,9</u> 11,0–20,7	<u>0,53^a / 39,8</u> 0,3–1,1	0,25	1,00
	2014	<u>16,0^a / 15,7</u> 12,2–20,5	<u>0,71^a / 108</u> 0,2–3,0	0,35	0,92
	2015	<u>16,3^a / 20,7</u> 11,7–20,9	<u>0,39^a / 78,5</u> 0,2–1,3	0,20	1,00

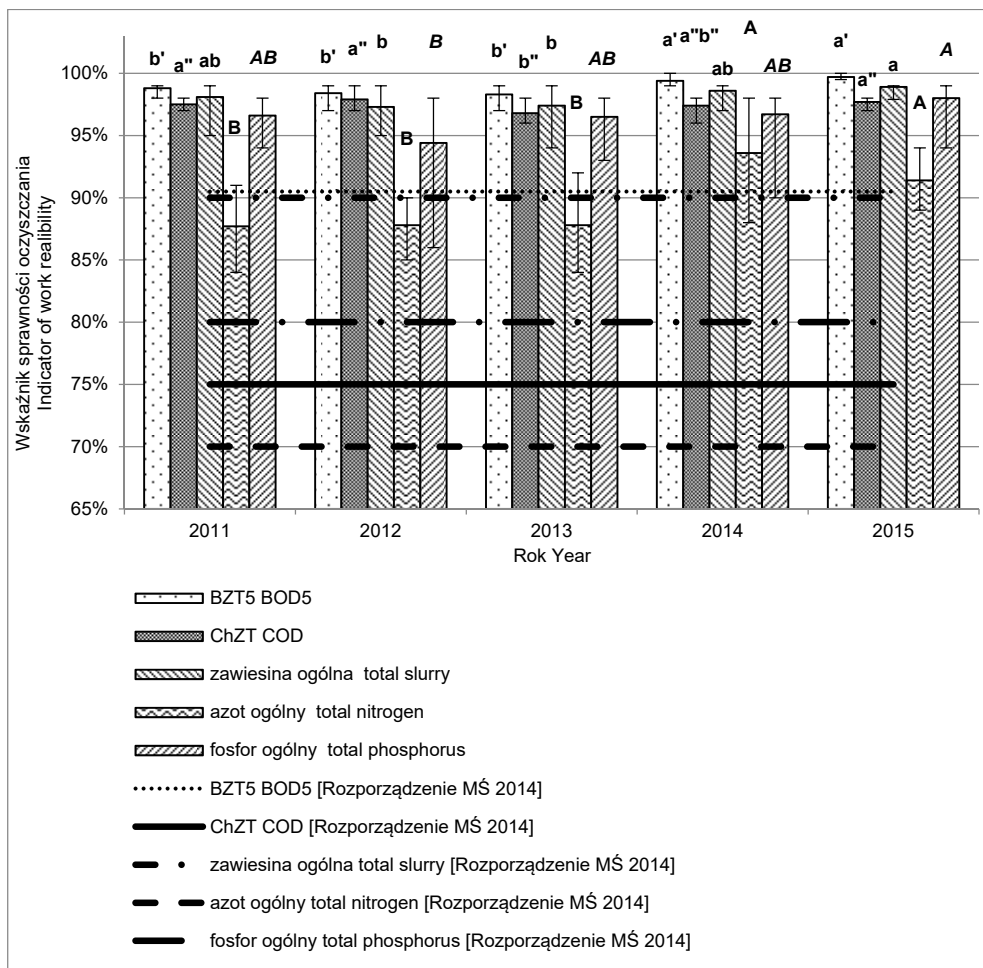
Objaśnienia: średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie ($p < 0,05$).

Explanations: means marked by the same letter are not statistically different ($p < 0.05$).

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Wyniki analizy wskaźnika technologicznej sprawności oczyszczania ścieków świadczą, że tylko w jednym miesiącu w przypadku dwóch parametrów (BZT₅ i fosforu ogólnego) stwierdzono przekroczenie wartości podanych w pozwoleniu wodnoprawnym (tab. 1), odpowiednio w 2013 i 2012 roku.

Ocenę pracy oczyszczalni prowadzi się również na podstawie analizy wyników skuteczności zmniejszania zanieczyszczeń. Średni wskaźnik sprawności oczyszczania ścieków w odniesieniu do zawiesiny ogólnej w latach 2011–2015 wyniósł 98,0%, BZT₅ – na poziomie 98,9%, natomiast ChZT – na poziomie 97,4%. Średni wskaźnik sprawności oczyszczania ścieków dla azotu ogólnego oraz fosforu ogólnego wyniósł odpowiednio 89,6% i 96,4% (rys. 2). Wartości te umożliwiają stwierdzenie, że oczyszczalnia ta osiąga wysoki stopień oczyszczania i spełnia wytyczne Rozporządzenia MŚ [2014]. Uzyskane wartości wskaźnika sprawności oczyszczania ścieków w przypadku zawiesiny były bardzo duże w porównaniu z wartościami podawanymi przez BUGAJSKIEGO i MIELENZA [2008], CHMIEŁOWSKIEGO i in. [2009a; 2016], JORDANOWSKĄ i JAKUBUS [2013] oraz BUDKOWSKĄ i in. [2012]. Autorzy ci uzyskali tylko minimalną wartość stopnia redukcji zawiesiny (tzn. wartości wskaźnika sprawności oczyszczania ścieków) określonego w Rozporządzeniu MŚ [2014]. W oczyszczalni ścieków w Gryfinie uzyskano również wysoką sprawność oczyszczania ścieków w przypadku azotu ogólnego, która w badaniach BUDKOWSKIEJ i in. [2012] oraz BUGAJSKIEGO i MIELENZA [2008] znajdowała się poniżej wyznaczonego stopnia redukcji. SKRZYPIEC i GAJEWSKA [2017] podają wyniki sprawności usuwania azotu organicznego ze ścieków w oczyszczalni hydrofitowej na poziomie 48%. Natomiast CZYŻYK [1994] oraz



Rys. 2. Wskaźnik sprawności oczyszczania ścieków dla podstawowych wskaźników zanieczyszczeń w latach 2011–2015; średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie ($p < 0,05$), słupki prezentują wartości minimalną i maksymalną; źródło: wyniki własne

Fig. 2. Wastewater purification efficiency indicator for basic pollution indicators in 2011–2015; means marked by the same letter are not statistically different ($p < 0.05$), bars show minimum and maximum values; source: own study

KUCZEWSKI i in. [2004] notują, że redukcja azotu ogólnego z wiejskich ścieków komunalnych na złożu glebowo-roślinnym może osiągać 70–80%, jeżeli ich dawki przekraczają 1000 mm.

Prowadzone w podobnych warunkach badania STRZELCZYK i in. [2012] wskazują, że redukcja azotu może wynosić od 80 do nawet 100%. Wysoką sprawność oczyszczania ścieków w odniesieniu do fosforu ogólnego powyżej 90% zaobserwowali również w swoich badaniach CHMIELOWSKI i in. [2012; 2016], JORDA-

NOWSKA i JAKUBUS [2013], IGNATOWICZ i in. [2011], LEWANDOWSKA-ROBAK i in. [2011] oraz MAZURKIEWICZ [2012]. Największą sprawność oczyszczania ścieków w Gryfinie osiągnięto w przypadku BZT₅ i ChZT. Wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji świadczą, że w ostatnich dwóch latach istotnie większą sprawność oczyszczania ścieków zanotowano w odniesieniu do BZT₅ ($F = 13,79$ $p < 0,0001$), N_{og.} ($F = 14,82$ $p < 0,0001$) i P_{og.} ($F = 4,49$ $p = 0,003$), a w 2015 r. dla wszystkich wskaźników (ChZT: $F = 7,00$ $p = 0,0001$), zawiesina ogólna: $F = 4,62$ $p = 0,003$).

W kontroli jakości ścieków surowych i oczyszczonych pomocne może być obliczenie ilorazu ChZT/BZT₅, który dostarcza szacunkowych informacji o podatności związków organicznych zawartych w ściekach na biodegradację [CHMIEŁOWSKI i in. 2016; PŁUCIENNIK-KOROPCZUK, JAKUBASZEK 2012]. Wartość tego ilorazu dla ścieków oczyszczonych w latach 2011–2015 wynosiła od 1,4 do 2,7. Uzyskane wartości ilorazu ChZT/BZT₅ są porównywalne z wartościami podawanymi w literaturze, według których, gdy wartości ilorazu ChZT/BZT₅ < 2 , ścieki uznaje się za łatwo biodegradowalne, a gdy ChZT/BZT₅ > 2 , za trudno biodegradowalne. W ściekach oczyszczonych wartość ilorazu ChZT/BZT₅ według danych literaturowych zwiększa się od 4–6 do 10–12 [KLIMIUK, ŁEBKOWSKA 2003]. W oczyszczalni ścieków w Gryfinie wartość ilorazu ChZT/BZT₅ w ściekach oczyszczonych w latach 2011–2015 wahała się w szerokim zakresie, tj. od 3,4 do 37,0. Średnie wartości tego ilorazu w poszczególnych latach badań istotnie się zwiększały – ok. 6,05 w ciągu trzech pierwszych lat, poprzez wartość 12,3 w 2014 r., do wartości 18,9 w 2015 r. ($F = 13,78$ $p < 0,0001$). Duża wartość ilorazu ChZT/BZT₅ w ściekach oczyszczonych w 2015 r. świadczy o tym, że ścieki te zawierały głównie substancje organiczne trudno biodegradowalne [BUDKOWSKA i in. 2012; WAREŻAK i in. 2013].

WNIOSKI

1. Skład ścieków surowych, dopływających do oczyszczalni w Gryfinie nie różnił się od typowego składu ścieków komunalnych, opisanego w niektórych dostępnych źródłach literatury.

2. Wskaźnik niezawodności technologicznej i technologicznej sprawności oczyszczania w przypadku oczyszczalni ścieków w Gryfinie przyjmował wartości potwierdzające właściwy dobór zastosowanego procesu technologicznego oczyszczania ścieków. Potwierdziły to również wartości redukcji zanieczyszczeń, które przekroczyły wartości dopuszczalne określone w Rozporządzeniu MŚ z dnia 18 listopada 2014 r.

3. Funkcjonowanie oczyszczalni ścieków w Gryfinie w latach 2011–2015 należy wysoko ocenić. Przyczynia się to do skutecznej ochrony jakości wód odbiornika ścieków oczyszczonych – rzeki Odry.

BIBLIOGRAFIA

- BIAŁOŃCZYK J. 2002. Hydrobotaniczne oczyszczalnie ścieków typu Lemna [Hydrobotanical wastewater treatment plants – Lemna-type]. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*. Nr 4 s. 132–136.
- BOHDZIEWICZ J., KAMIŃSKA G., PAWLYTA M., ŁUKOWIEC D. 2015. Comparison of effectiveness of advanced treatment of municipal wastewater by sorption and nanofiltration. Separate processes and integrated systems. *Environment Protection Engineering*. T. 41. P. 2 s. 119–132.
- BUDKOWSKA A., DŁUGOSZ J., GAWDZIK J. 2012. Validation of the operations of wastewater treatment plant in Starachowice. *Archives of Waste Management and Environmental Protection*. Vol. 14. Iss. 3 s. 1–12.
- BUGAJSKI P., KACZOR G. 2008. Ocena działania wybranych przydomowych oczyszczalni ścieków w warunkach zimowych i letnich [Evaluation of operation of some domestic sewage treatment plants under winter and summer conditions]. *Przemysł Chemiczny*. T. 87. Nr 5 s. 424–426.
- BUGAJSKI P., MIELEŃ B. 2008. Ocena pracy oczyszczalni ścieków w Wadowicach przed modernizacją [The assessment of working sewage treatment plant at Wadowice before the modernization]. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 02 s. 129–138.
- CHATTERJEE P., GHANGREKAR M.M., RAO S. 2016. Low efficiency of sewage treatment plants due to unskilled operations in India. *Environmental Chemistry Letters*. Nr 14 s. 407–416.
- CHMIEŁOWSKI K., BAK P., KUREK K. 2012. Sprawność działania oczyszczalni ścieków w Dobczycach [The efficiency of the sewage treatment based on the sewage treatment plant in Dobczyce]. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 03/1 s. 191–200.
- CHMIEŁOWSKI K., BUGAJSKI P., KACZOR G.B. 2016. Comparative analysis of the quality of sewage discharged from selected agglomeration sewerage systems. *Journal of Water and Land Development*. No. 30 s. 35–42. DOI 10.1515/jwld-2016-0019.
- CHMIEŁOWSKI K., SATORA S., WAŁĘGA A. 2009a. 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]. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 09 s. 73–83.
- CHMIEŁOWSKI K., SATORA S., WAŁĘGA A. 2009b. Ocena niezawodności działania oczyszczalni ścieków dla gminy Tuchów [Evaluation of the reliability of the sewage treatment plant for the commune of Tuchow]. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 09 s. 63–72.
- CZYŻYK F. 1994. Wpływ wieloletnich nawodnień ściekami na glebę, wody gruntowe i rośliny [The influence of long-term sewage irrigation on soil, ground water and plants]. *Rozprawy habilitacyjne*. Falenty. Wydaw. IMUZ. ISBN 9788385735199 ss. 76.
- CZYŻYK F. 2003. Badania efektywności pracy oczyszczalni gruntowo-roślinnych i wodno-roślinnych typu "Lemna" [Effectiveness of sewage treatment plants involving soil-vegetable and water-vegetable (Lemna-type) system]. *Ochrona Środowiska*. Nr 2 s. 57–60.
- CZYŻYK F., PULIKOWSKI K., STRZELCZYK M., PAWĘSKA K. 2012. Efektywność oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych w oczyszczalniach gruntowo-roślinnych i glebowo-roślinnych [The efficiency of domestic sewage treatment in ground-plant and soil-plant treatment units]. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 12. Z. 4(40) s. 97–108.
- Decyzja starosty gryfińskiego z dn. 9.11.2009 r. w sprawie pozwolenia wodnoprawnego dla oczyszczalni ścieków w Gryfinie [Decision of Gryfiński district governor dated 9.11.2009 on the water permit for the wastewater treatment plant in Gryfino] 29/I-OŚ/09.
- GUS 2016. Rocznik statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2015 [Statistical yearbook of the Republic of Poland 2015] [online]. Warszawa. Główny Urząd Statystyczny. ISSN 1506-0632 [Dostęp 13.09.2017]. Dostępny w Internecie: http://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosc/5515/2/10/1/publ_oz_rocznik_statystyczny_rp.pdf

- IGNATOWICZ K., NOWICKI Ł., PUCHLIKA M. 2011. Profil zmian stężenia związków węgla, azotu i fosforu w oczyszczalni ścieków komunalnych w Nowej Wsi Elckiej [C, N and P changes profile during municipal wastewater treatment in Elk W.W.T.P.]. *Inżynieria Ekologiczna*. Nr 24 s. 52–63.
- JORDANOWSKA J., JAKUBUS M. 2013. Ładunki zanieczyszczeń oraz efektywność oczyszczania ścieków komunalnych z rejonu Wrześni na przestrzeni lat [Contaminant amounts and effectiveness of sewage treatment from region of września within the compass of years]. *Nauka Przyroda Technologie [Science Nature Technologies]*. Vol. 7. Iss. 3 s. 1–14.
- KLIMIUK E., ŁĘBKOWSKA M. (red.) 2003. *Biotechnologia w ochronie środowiska*. Warszawa Wydaw. Nauk. PWN ISBN 83-01-14067-4 ss. 266.
- KUCZEWSKI K., KWIECIŃSKA K., KOZDRAŚ M. 2004. Zmiany w usuwaniu biogenów ze ścieków bytowo-gospodarczych po wieloletniej eksploatacji oczyszczalni roślinno-glebowej [Changes in nutrient removal from domestic sewage after 7 years exploitation of a plant-soil treatment plant]. *Woda Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 4. Z. 2a (11) s. 547–557.
- LEWANDOWSKA-ROBAK M., GÓRSKI Ł., KOWALKOWSKI T., DĄBKOWSKA-NASKRĘT H., MIESIKOWSKA I. 2011. Wpływ ścieków oczyszczonych odprowadzanych z Oczyszczalni Ścieków w Tucholi na jakość wody w strudze Kicz [The influence of treated sewage discharged from wastewater treatment plant in tuchola on water quality of Kicz stream]. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*. T. 14. Nr 3 s. 209–221.
- MAZURKIEWICZ M. 2012. Usuwanie związków azotu ze ścieków w oczyszczalni w Kostrzynie nad Odrą [Removal of nitrogen compounds in wastewater treatment plant in Kostrzyn]. *Zeszyty Naukowe. Inżynieria Środowiska/Uniwersytet Zielonogórski*. T. 147. Nr 27 s. 5–15.
- MIERNIK W. 2007. Skuteczność oczyszczania ścieków wiejskich w oczyszczalni z reaktorem o działaniu sekwencyjnym [Efficiency of rural wastes treatment in the sewage treatment plant with the sequencing batch reactor]. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 2 s. 71–80.
- MIERNIK W., WAŁĘGA A. 2006. Wpływ czasu eksploatacji na efekty oczyszczania ścieków w oczyszczalni typu Lemna [Influence of operation time the efficiency of on effectiveness at sewage treatment process in Lemna sewage treatment plant]. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 3 s. 39–51.
- PLUCIENNIK-KOROPCZUK E., JAKUBASZEK A. 2012. Podatność ścieków na rozkład biochemiczny w procesach mechaniczno-biologicznego oczyszczania [Susceptibility of wastewater for biochemical decomposition in mechanical-biological wastewater treatment processes]. *Zeszyty Naukowe. Inżynieria Środowiska/Uniwersytet Zielonogórski*. T. 148. Nr 28 s. 73–83.
- PB-01.00 wydanie 5 z dnia 27.12.2011 r. Azot ogólny. (zastosowany test firmy HACH-LANGE LCK 238; LCK 338) [General nitrogen. (applied by the HACH-LANGE LCK 238 test, LCK 338)].
- PB-02.00 wydanie 4 z dnia 19.12.2012 r. Oznaczenie BZT₅ metodą manometryczną [Determination of BZT₅ by a manometric method].
- PB-03.00 wydanie 4 z dnia 21.01.2011 r. Oznaczenie chemicznego zapotrzebowania tlenu metodą chromianową (zastosowany test firmy HACH-LANGE LCK 314; LCK 514; LCK 014; LCK 1014) [Determination of the chemical oxygen demand by the chromate method (applied by the HACH-LANGE LCK 314 test, LCK 514, LCK 014, LCK 1014)].
- PN-EN ISO/IEC17025 Ogólne wymagania dotyczące laboratoriów badawczych i wzorcujących [General requirements for testing and calibration laboratories].
- PN-EN ISO 10523:2012 Jakość wody. Oznaczenie pH [Water quality. Determination of pH].
- PN-EN 1899-2:2002 Jakość wody. Oznaczenie biochemicznego zapotrzebowania tlenu po n dniach (BZTn) – Część 2: Metoda do próbek nierozcieńczonych [Determination of biochemical oxygen demand after n days (BOD) – Part 2: The method for undiluted samples].
- PN-EN 872:2007 +Ap1:2007 Jakość wody. Oznaczenie zawiesin. Metoda z zastosowaniem filtracji przez sączki z włókna szklanego [Water quality. Determination of suspensions. The method using filtration through glass fiber filters].

- PN-ISO 6878:2006 +Ap1:2010P +Ap2:2010P Jakość wody. Oznaczanie fosforu. Metoda spektrometryczna z molibdenianem amonu [Water quality. Determination of phosphorus. Spectrometric method with ammonium molybdate].
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego [Order of the Minister of Environment of 18. November 2014 on the conditions to be conformed for the introduction of sewage into waters or to soil and on substances particularly harmful to the aquatic environment]. Dz.U. 2014 poz. 1800.
- SATO N., OKUBO T., ONODERA T., OHASHI A., HARADA H. 2006. Prospects for a self-sustainable sewage treatment system: A case study on full-scale UASB system in India's Yamuna River Basin. *Journal of Environmental Management*. No 80 s. 198–207.
- SKRZYPIEC K., GAJEWSKA M.H. 2017. The use of constructed wetlands for the treatment of industrial wastewater. *Journal of Water and Land Development*. No. 34 s. 233–240. DOI 10.1515/jwld-2017-0058.
- SOROKO M. 2007. Oczyszczanie ścieków z małej przetwórnicy owocowo-warzywniej w złożach grunto-roślinnych z przepływem pionowym [Treatment of wastewaters from small fruit and vegetable processing plant in the reed bed systems with vertical flow]. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 7. Z. 2b (21) s. 177–184.
- STRZELCZYK M., PULIKOWSKI K., STEINHOFF-WRZEŚNIEWSKA A., PAWĘSKA K. 2012. Ocena skuteczności oczyszczania ścieków wiejskich w środowisku glebowo-roślinnym na podstawie badań lizymetrycznych [An assessment of the efficiency of rural sewage treatment in soil-plant system based on lysimetric studied]. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 12. Z. 4(40) s. 267–279.
- SZPINDOR A., WIERZBICKI K., OBARSKA-PEMPKOWIAK H. (red.) 1999. Gruntowo-roślinne oczyszczalnie ścieków [Soil-plant wastewater treatment]. Warszawa. IBMER. ISBN 83-86264-53-5 ss. 94.
- WAREŻAK T., SADECKA Z., MYSZOGRAJ S. SUCHOWSKA-KISIELEWICZ M. 2013. Skuteczność oczyszczania ścieków w oczyszczalni hydrofitowej typu VF-CW [Efficiency of Wastewater Treatment in Constructed Wetland (Vertical Flow)]. *Rocznik Ochrona Środowiska*. T. 15. Cz. 2 s. 1243–1259.

*Natalia SZCZERBIŃSKA, Małgorzata GAŁCZYŃSKA, Katarzyna ULAS, Piotr BURCZYK,
Maria MIKOŁAJCZAK, Marta BUŚKO*

EFFICIENCY OF SEWAGE TREATMENT PLANT IN GRYFINO

Key words: *efficiency of wastewater treatment, purified sewage, raw sewage, sewage treatment plant*

S u m m a r y

Poland entering the structures of the European Union committed itself to organize wastewater management by the end of 2015. Due to the correct operation of the sewage treatment plant, the sewage discharged into the receiver water does not pose any danger to them. This is especially important because of the need to maintain good surface water quality. The aim of the study was to analyse the amount of pollutants transported with municipal wastewater, to determine the efficiency of wastewater treatment by mechanical-biological sewage treatment plant in Gryfino. The research was carried out on the sewage treatment plant in Gryfino. Analyses of raw and purified wastewater were carried on a five year period from 2011 to 2015. BOD₅, COD, general suspension, total nitrogen and total phosphorus were analyzed. The efficiency of sewage treatment plant operation, efficiency of pollution reduction and the technological wastewater treatment efficiency rate were calculated. The results of the research were statistically analyzed. It was found that the average wastewater treatment

efficiency rate for the total suspended solids was 98.0%, and BOD₅ – 98.9%, and COD – 97.4%. The average efficiency index of wastewater treatment for total nitrogen and total phosphorus was 89.6% and 96.4% respectively. It was found that the efficiency of the wastewater treatment plant in Gryfino was very good and consistent with the regulations.

Adres do korespondencji: dr inż. Piotr Burczyk, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, ul. Czesława 9, 71-504 Szczecin; e-mail: p.burczyk@itp.edu.pl