

CHARAKTERYSTYKA ŚCIEKÓW I OSADÓW Z OCZYSZCZALNI KOMUNALNEJ STOSUJĄCEJ TECHNOLOGIĘ FIRMY „BIOPAX”

Elżbieta Królak¹, Elżbieta Biardzka¹, Dorota Bramowicz¹

¹ Zakład Ekologii i Ochrony Środowiska, Instytut Biologii, Wydział Przyrodniczy, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. Prusa 12, 08-110 Siedlce, e-mail: kruell@o2.pl

STRESZCZENIE

Celem badań była ocena redukcji zanieczyszczeń w ściekach komunalnych oraz analiza składu chemicznego osadów ściekowych i odcieków w komunalnej oczyszczalni w Komorach Dąbrownych. Oczyszczanie ścieków oparte jest na technologii firmy BIOPAX. Ocenie poddano odczyn oraz stężenie biogenów w ściekach surowych i oczyszczonych, zawartość materii organicznej oraz azotu i fosforu całkowitego w osadach uwodnionych i ustabilizowanych. Określono także skład odcieków. Stwierdzono, że zastosowana technologia zapewnia skuteczną (na poziomie powyżej 96%) redukcję biogenów w ściekach. Skład chemiczny osadów ściekowych po ich stabilizacji jest typowy dla osadów wytwarzanych w komunalnych oczyszczalniach ścieków, a odcieki włączane do procesu technologicznego nie wpływają negatywnie na proces technologiczny. Ze względu na wysoką redukcję biogenów oczyszczalnie oparte na opisanej technologii wydają się być dobrym rozwiązaniem dla oczyszczania ścieków w małych miejscowościach.

Słowa kluczowe: ścieki, osady, odcieki, efektywność oczyszczania, technologia firmy „BIOPAX”

THE QUALITY OF SEWAGE AND SEWAGE SLUDGE FROM THE MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANT USING „BIOPAX” TECHNOLOGY

ABSTRACT

The aim of the study was the assessment of contaminants reduction from communal sewage and the analysis of the chemical composition of sewage sludge and reject waters from Komory Dąbrowne sewage treatment plant using devices designed and built by BIOPAX Ltd. The scope of the research included assessing the following aspects: reaction (pH), the concentration of nutrients in raw and treated sewage, the concentration of organic matter and the content of total nitrogen and phosphorus in sludge before and after stabilization. The characteristic of reject water was also presented. It was found that technology provides more than 96% reduction of nutrients from the sewage. Chemical composition of stabilized sewage sludge is similar to the communal waste produced in other sewage treatment plants, while the reject waters used in the treatment process do not influence the technological process in an adverse way. Due to its high capacity of nutrient reduction, technology seems to be a useful tool to be applied in small municipal wastewater treatment plants (WWTPs).

Keywords: sewage, sewage sludge, reject water, efficiency, BIOPAX technology

WSTĘP

W ostatnich latach, zgodnie z Krajowym Programem Oczyszczania Ścieków Komunalnych [KPOŚK 2003 i aktualizacje], wzrasta w Polsce liczba oczyszczalni ścieków w aglomeracjach liczących kilka tysięcy mieszkańców. W oczyszczalniach obsługujących aglomeracje do 10 000 RLM zaleca się konwencjonalne biologiczne usuwanie zanieczyszczeń. Nie wszystkie biolo-

giczne oczyszczalnie zapewniają wysoką efektywność usuwania biogenów. W 2013 r. na terenie Polski funkcjonowało 3344 komunalnych oczyszczalni ścieków, w tym 2550 obsługiwało mieszkańców na terenach wiejskich. W grupie oczyszczalni obsługujących wsie zaledwie 442 to oczyszczalnie z podwyższonym usuwaniem biogenów [GUS 2014]. Problem małych oczyszczalni w Polsce nie jest problemem marginalnym w aspekcie ładunku biogenów z nich odprowa-

dzanych. Szacuje się [Sadecka i Waś 2011], że ponad połowa ścieków komunalnych w Polsce, głównie odprowadzanych z miejscowości gminnych, nie jest efektywnie oczyszczana z substancji biogennych. Ładunek azotu i fosforu, wyrażony jako N całkowity i P całkowity, odprowadzany z obszaru Polski do Bałtyku w 2013 roku wynosił odpowiednio: 170,3 tys. ton i 10,5 tys. ton, i mimo wzrostu liczby oczyszczalni ścieków w ostatnich latach nie uległ on wyraźnemu zmniejszeniu. Dla porównania w 1995 roku wynosił on 204,7 tys. ton azotu i 13,2 tys. ton fosforu całkowitego [GUS 2014]. Istnieje zatem potrzeba ograniczenia dopływu ładunku azotu i fosforu do wód powierzchniowych, w tym także zwiększenia efektów oczyszczania ścieków z biogenów w małych oczyszczalniach ścieków.

Jakość oczyszczonych ścieków, ale także osadów ściekowych jest pochodną składu chemicznego ścieków i zależy m.in. od typu oczyszczalni oraz rodzaju oczyszczanych ścieków [np. Bauman-Kaszubska i Sikorski 2014, Bratkowska i in. 2011, Królak i in. 2013, Piotrowska i Wolna-Maruwka 2010, Przybyła i in. 2009]. Monitoring procesów oczyszczania ścieków w małych oczyszczalniach jest ograniczony.

Jednym z rozwiązań zapewniających wysoce efektywne oczyszczanie ścieków ze związków azotu i fosforu jest technologia zaproponowana przez firmę BIOPAX-WBWW Sp. z o.o. [internet: www.biopax.pl]. Efekty oczyszczania ścieków komunalnych z wykorzystaniem tej technologii były przedstawione m.in. przez Bawiec i in. (2013) oraz Sadecką i in. (2012). Brak jest w literaturze informacji na temat jakości osadów ściekowych wytwarzanych w oczyszczalniach opartych na wymienionej technologii.

Celem przeprowadzonych badań była ocena pracy oczyszczalni komunalnej w gminie Sońsk (powiat ciechanowski), w której ścieki oczyszczane są w oparciu o technologię opracowaną przez firmę BIOPAX-WBWW Sp. z o.o.

MATERIAŁ I METODY

Próbki do badań pobierano w okresie maj – grudzień 2014 roku w gminnej oczyszczalni ścieków w Komorach Dąbrownych. Gmina, którą obsługuje oczyszczalnia jest obszarem typowo rolniczym. W granicach administracyjnych gminy zlokalizowany jest zakład przetwórstwa mleczarskiego oraz ubojnia, brak jest dużych zakła-

dów przemysłowych. Rzeczywista liczba mieszkańców wynosi 7880 (stan na koniec roku 2013). Oczyszczalnia ścieków w miejscowości Komory Dąbrowne powstała w 2002 roku. Jest to oczyszczalnia półautomatyczna, biologiczna, połączona z laguną hydroponiczną, stanowiącą trzeci stopień oczyszczania ścieków. Maksymalna przepustowość oczyszczalni wynosi 650 m³/dobę. Średnio wykorzystywana przepustowość to 250 m³/dobę. Ścieki dopływające do oczyszczalni zebrane są w sieć kanalizacyjną o długości 9,9 km. Oczyszczalnia obsługuje 500 przyłączy, głównie z budynków wielorodzinnych i gospodarstw indywidualnych, obiektów użyteczności publicznej, szkoły i przedszkola. Do oczyszczalni dowożone są również ścieki wozami asenizacyjnymi z terenu gminy. W 2014 roku oczyszczalnia przyjęła i przetworzyła 89 tys. m³ ścieków z sieci kanalizacyjnej i 6,5 tys. m³ ścieków dowożonych.

Oczyszczanie biologiczne, oparte na technologii opracowanej przez firmę BIOPAX-WBWW Sp. z o.o., odbywa się metodą osadu czynnego w hybrydowym reaktorze biologicznym podzielonym na strefy beztlenowe, niedotlenione i tlenowe. Reaktor stanowi pierścieniowy zbiornik otaczający zewnętrznie płaszcz osadnika wtórnego. Osadnik wtórny stanowi centralną część reaktora pierścieniowego, w którym następuje rozdział mieszaniny ścieków i osadu przepływającego z reaktora. Oczyszczone ścieki tłoczone są grawitacyjnie do laguny hydroponicznej (fot. 1). Jest to labiryntowa, przepływowa komora, w której następuje proces doczyszczania ścieków. Laguna pełni również funkcję zbiornika buforowego. Labiryntowy przepływ uzyskano dzieląc lagunę panelami biologicznymi, spełniającymi rolę siedliska dla organizmów poroślowych, jak również podkład pod zespoły korzeniowe [internet: www.biopax.pl]. Przez cały rok laguna jest izolowana od warunków zewnętrznych, co pozwala na jej prawidłową pracę. Oczyszczone ścieki odprowadzane są do rzeki Sony (dopływ Wkry, dorzecze Wisły). Natomiast nadmiar osadu odprowadzany jest do komory stabilizacji osadu. Poddaje się go odwadnianiu, stosując do tego celu prasy komorowe, polielektrolit, a także tlenek wapnia. W dalszej kolejności osady odbiera firma zajmująca się kompostowaniem.

Analizie poddano 5 próbek ścieków nieoczyszczonych i oczyszczonych oraz 7 próbek osadów ściekowych pobranych ze stacji uzdatniania osadu. Każdorazowo pobierano re-



Fot. 1. Laguna hydroponiczna w oczyszczalni ścieków w Komorach Dąbrownych (fot. D. Bramowicz)
Phot. 1. Hydroponic lagoon in Komory Dąbrowne WWTP (Phot. D. Bramowicz).

prezentatywną próbkę osadów uwodnionych i ustabilizowanych.

W ściekach surowych i oczyszczonych analizowano zawartość biogenów: azot azotanowy (N-NO_3^-), azot amonowy (N-NH_4^+), azot organiczny (Norg.). Sumę wymienionych form azotu przyjęto jako azot całkowity (TN). Ponadto w ściekach oznaczono: fosfor fosforanowy (P-PO_4^{3-}) i fosfor całkowity (TP), zawartość materii organicznej (opisanej wskaźnikami: BZT_5 , ChZT_{Mn}), przewodność oraz pH. W osadach ściekowych oznaczano: pH, zawartość suchej masy oraz zawartość w suchej masie osadów: materii organicznej, węgla organicznego (Corg.) azotu organicznego (Norg.) i fosforu całkowitego. Oznaczenia zawartości Norg., a także TP w próbkach ścieków i osadów ściekowych poprzedziła mineralizacja próbek w kwasie siarkowym (VI). W odciekach analizowano stężenie: N-NO_3^- , N-NH_4^+ , P-PO_4^{3-} oraz pH i przewodność elektrolityczną. Analizy chemiczne wykonano następującymi metodami: N-NO_3^- oznaczono z kwasem fenylodisulfonowym, P-PO_4^{3-} i TP oznaczono metodą molibdenianową [Standards methods 1999], Norg i N-NH_4^+ metodą indofenolową z podchlorynem sodu [Solórzano 1969]. Pomiary absorbancji promieniowania w barwnych roztworach wykonano za pomocą spektrofotometru firmy Shimadzu UV-1800, przy długościach fali: azotany – 410 nm, fosforany – 700 nm i jon amonowy – 630 nm. Węgiel organiczny oznaczono poprzez utlenianie próbki dichromianem potasu w kwasie siarkowym, BZT_5 i ChZT_{Mn} oznaczono zgodnie z metodyką opisaną w Hermanowicz i in. (1976). Odczyn oznaczono metodą potencjometrycz-

ną, a przewodność elektrolityczną metodą konduktometryczną. Zawartość materii organicznej w osadach ściekowych oznaczono poprzez spalanie próbki w piecu muflowym w temperaturze 550°C , a zawartość suchej masy poprzez suszenie próbek w temperaturze 105°C .

Wyniki analiz poddano opracowaniu statystycznemu. Za pomocą testu Shapiro-Wilka sprawdzono normalność rozkładu danych pomiarowych, a następnie za pomocą testu t dla prób niezależnych porównano wartości średnich badanych wskaźników w ściekach nieoczyszczonych i oczyszczonych oraz w osadach uwodnionych i ustabilizowanych. Na podstawie wyników badań określono efektywność procesów oczyszczania ścieków.

WYNIKI

Wyniki analiz badanych wskaźników fizyczno-chemicznych w ściekach i osadach ściekowych zestawiono w tabelach 1 i 2 podając wartości średniej arytmetycznej, odchylenia standardowego, zakres oznaczeń oraz wartości testu statystycznego.

Oczyszczanie ścieków spowodowało obniżenie zasolenia wody średnio o 52,5%, zawartości zawiesin o 99,5%, ChZT o 94,6%, BZT_5 o 99,3%, azotu amonowego o 98,7%, fosforu fosforanowego o 99,7% oraz azotu całkowitego (TN) i fosforu całkowitego (TP) odpowiednio o 96,0% i 99,3%. W ściekach oczyszczonych w stosunku do ścieków surowych odnotowano wzrost wartości pH oraz 3-krotny wzrost stężenia N-NO_3^- . W większości różnice w wartościach oznaczanych wskaźników w ściekach nieoczyszczonych i oczyszczonych były istotne statystycznie ($p < 0,05$) (tab. 1).

Proces stabilizacji osadów ściekowych istotnie zwiększa zawartość suchej masy: średnio z wartości 3,5% do 12,6%. W przeliczeniu na świeżą masę w osadach ustabilizowanych w porównaniu z osadami uwodnionymi odnotowano około 4-krotne zwiększenie zawartości materii organicznej, węgla organicznego, azotu organicznego i około 3-krotny wzrost fosforu całkowitego.

Średnie stężenie biogenów w odciekach powstających w wyniku odwodnienia osadów ściekowych wynosiło [mg/dm^3]: N-NO_3^- – $1,27 \pm 0,61$, N-NH_4^+ – $140,5 \pm 51,68$, P-PO_4^{3-} – $157,6 \pm 52,6$. Wartość pH odcieków zmieniała się od 6,17 do 6,87, zaś przewodnictwa elektrolitycznego od 0,697 do 1,999 mS/cm.

Tabela 1. Wyniki pomiarów wybranych wskaźników fizyczno-chemicznych w ściekach surowych i oczyszczonych w oczyszczalni w Komorach Dąbrownych.

Table 1. Results of selected physical and chemical parameters in raw and treated sewage from Komory Dąbrowne WWTP.

Parametr	Jednostka	Ścieki		Dane statystyczne		
		surowe	oczyszczone	t	df	p
Odczyn	pH	3,37 – 7,50	7,40 – 8,06	- 4,389	8	0,002
Przewodność	μS/cm	2155,0 ± 2022,5 (1021 – 5760)	1023,6 ± 211,6 (730 – 1228)	1,244		0,248
Zawiesina	mg/dm ³	3340,0 ± 1700,0 (560 – 4680)	16,8 ± 6,43 ((12,0 – 27,1)	4,372		0,023
ChZT _{mn}		463,2 ± 448,3 (344 – 1446,0)	25,00 ± 8,63 (15,6 – 32,8)	3,232		< 0,001
BZT ₅		636,0 ± 198,8 (310 – 810)	4,18 ± 1,26 (2,8 – 5,9)	7,105		< 0,001
N-NO ₃ ⁻		1,69 ± 2,81 (0,373 – 6,73)	5,18 ± 3,01 (1,88 – 8,82)	-1,889		0,095
N-NH ₄ ⁺		121,4 ± 197,4 (9,0 – 473,5)	1,53 ± 1,74 (0,066 – 4,22)	1,357		0,211
Norg.		231,9 ± 61,5 (151,5 – 290,7)	7,41 ± 6,76 (1,82 – 18,13)	8,112		< 0,001
TN		354,9 ± 156,1 (230,4 – 625,4)	14,12 ± 5,42 (9,41 – 21,56)	4,878		0,001
P-PO ₄ ³⁻		51,5 ± 29,59 (0,11 – 73,5)	0,170 ± 0,123 (0,045 – 0,316)	3,876		0,004
TP		133,8 ± 41,28 (70,3 – 174,4)	0,952 ± 0,296 (0,67 – 1,39)	7,194		< 0,001

DYSKUSJA

Skład ścieków dostarczanych do oczyszczalni w Komorach Dąbrownych jest typowy dla ścieków bytowo-gospodarczych, powstających w małych miastach i wiejskich osiedlach (Bawiec i in. 2013, Bartkowska i in. 2011, Przybyła i in. 2009, Sadecka i in. 2012). Jakość ścieków oczyszczonych w oczyszczalni w Komorach Dą-

brzonych, odprowadzanych do Sony, odpowiada normom zawartym w Rozporządzeniu 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 [Rozporządzenie...2014]. Dla aglomeracji od RLM 2000 do 9999 procent redukcji zanieczyszczeń w ściekach oczyszczanych

Tabela 2. Wyniki pomiarów wybranych wskaźników fizyczno-chemicznych w osadach ściekowych uwodnionych i ustabilizowanych wytwarzanych w oczyszczalni w Komorach Dąbrownych.

Table 2. Results of selected physical and chemical parameters in hydrated and stabilized sewage sludge produced in Komory Dąbrowne WWTP.

Parametr	Jednostka	Osady ściekowe		Dane statystyczne		
		uwodnione	ustabilizowane	t	df	p
Odczyn	pH	(6,32 – 6,87)	(5,96 – 6,61)	1,82	12	0,094
Sucha masa	%	3,53 ± 2,36 (1,20 – 8,35)	12,58 ± 0,63 (11,67 – 13,7)	-9,79		<0,001
Materia organiczna	% w s.m.	77,67 ± 1,49 (75,37 – 80,35)	79,05 ± 1,30 (77,87 – 80,97)	-1,84		0,090
Corg.		38,63 ± 2,17 (36,45 – 42,64)	40,13 ± 1,82 (37,38 – 42,28)	-1,39		0,188
Norg.		5,86 ± 0,24 (5,61 – 6,21)	6,34±0,39 (5,82 – 6,89)	-2,79		0,016
TP		2,54 ±0,238 (2,18 – 2,91)	2,11±0,098 (1,94 – 2,25)	4,44		< 0,001
C/N		6,60±0,39 (5,97 – 6,98)	6,34±0,38 (5,66 – 6,72)	1,25		0,235

powinien wynosić minimum: BZT_5 – 70–90%, $ChZT$ – 75%, zawiesiny ogólnej – 90%. Określony w badaniach własnych procent redukcji zanieczyszczeń w badanej oczyszczalni dla wszystkich badanych wskaźników, z wyjątkiem przewodności elektrolitycznej, wynosi powyżej 90%. Na podkreślenie zasługuje szczególnie wysoka (na poziomie powyżej 96%) redukcja biogenów. Na wysoką efektywność redukcji biogenów w oczyszczalni wykorzystującej technologię BIOPAX zwrócili uwagę Bawiec i in. (2013), Sadecka i in. (2012). Sadecka i in. (2012) podkreślają zalety hybrydowego, cyrkulacyjnego reaktora biologicznego, działającego w ciągłym przepływie, z podziałem strefy biologicznej redukcji zanieczyszczeń na beztlenową, niedotlenioną i tlenową, z systemem napowietrzania za pomocą aeratora strumieniowego dennego (ASD). Bawiec i in. (2013) zaznaczają, że o wysokiej efektywności oczyszczania ścieków w technologii firmy BIOPAX decyduje połączenie pracy hybrydowego reaktora przepływowego z laguną hydroponiczną zasiedlaną przez makrofity. Wprowadzona do laguny roślinność redukuje stężenie związków azotu i fosforu poprzez ich akumulację w biomacie makrofitów (fot. 1). Wyniki badań własnych potwierdzają dane literaturowe, że zastosowana w oczyszczalni w Komorach Dąbrownych technologia zapewnia wysoką efektywność oczyszczania ścieków.

Produktem ubocznym wytwarzanym w komunalnych oczyszczalniach ścieków są osady ściekowe. Wykonana analiza jakości osadów ściekowych wytworzonych w oczyszczalni w Komorach Dąbrownych wykazała, że skład uwodnionych osadów ściekowych jest porównywalny ze składem osadów wytwarzanych w gminnych oczyszczalniach ścieków. Badane osady charakteryzują się wysokim uwodnieniem, ocenionym średnio jako 96,5%. Dla porównania Heidrich i Tiunajtis (2008) oceniają, że stopień uwodnienia osadów wytwarzanych w gminnych oczyszczalniach wynosi 97,5%. Proces stabilizacji osadów ściekowych prowadzony w badanej oczyszczalni powoduje istotne (o około 9%) zmniejszenie zawartości wody. W efekcie w osadach ustabilizowanych wzrasta zawartość suchej masy, materii organicznej, azotu organicznego i fosforu całkowitego. W wyniku stabilizacji osadów ściekowych nie ulega istotnym zmianom stosunek C/N. Oznaczona w suchej masie ustabilizowanych osadów ściekowych zawartość materii organicznej, węgla organicznego, azotu organicznego i fosforu

całkowitego jest porównywalna z danymi literaturowymi. Np. w osadach wytwarzanych w oczyszczalni w Pajęcznie Fijałkowski i Kacprzak (2009) oznaczyli 6,8% N i 1,32% P, w gminnych oczyszczalniach na terenie powiatu płockiego Bauman-Kaszubska i Sikorski (2011) określili zawartość azotu w przedziale 3,64–12,66%, a zawartość fosforu w zakresie: 0,3–6,76%.

Z punktu jakości środowiska, ważny jest sposób zagospodarowania odcieków powstających w oczyszczalniach, jako produkt uboczny z odwadniania osadów. Standardowym rozwiązaniem stosowanym w oczyszczalniach, w tym także w oczyszczalni w Komorach Dąbrownych, jest włączenie odcieków do procesu technologicznego. W literaturze [Styka i Beńko 2014] zwraca się uwagę, że odcieki włączane do strumienia ścieków surowych mogą niekorzystnie wpływać na warunki pracy reaktorów biologicznych. Uzyskane w ramach przeprowadzonych badań wyniki analizy odcieków wskazują, że średnie stężenie azotu amonowego i azotanowego jest zbliżone do wartości mierzonych w ściekach surowych, jedynie stężenie fosforu fosforanowego jest 3-krotnie wyższe niż w ściekach surowych. Wartości te nie wpływają jednak niekorzystnie na pracę reaktora biologicznego, o czym świadczy stopień redukcji $P-PO_4^{3-}$ wynoszący 99,7%.

Przeprowadzone badania wykazały, że zastosowana w Komorach Dąbrownych technologia oczyszczania ścieków zapewnia dobrą pracę oczyszczalni na etapie oczyszczania ścieków i procesu stabilizacji osadów ściekowych. Może być ona polecana do oczyszczania ścieków w małych miejscowościach.

WNIOSKI

Analiza próbek ścieków surowych i oczyszczonych, uwodnionych i ustabilizowanych osadów ściekowych oraz odcieków pobranych w oczyszczalni w Komorach Dąbrownych wykazała, że zastosowana technologia oczyszczania ścieków:

- zapewnia skuteczną (na poziomie powyżej 96%) redukcję biogenów w ściekach oczyszczonych,
- stabilizacja osadów ściekowych przyczynia się do 4-krotnego wzrostu zawartości materii organicznej, węgla i azotu organicznego oraz 3-krotnego wzrostu fosforu całkowitego w porównaniu do osadów uwodnionych,

- stężenie azotanów i jonów amonowych w odciekach powstających w wyniku odwadniania osadów ściekowych jest na poziomie wartości oznaczanych w ściekach surowych. Stężenie fosforanów w odciekach jest znacznie wyższe niż w ściekach surowych,
- włączanie odcieków do procesu technologicznego nie wpływa negatywnie na skuteczność usuwania biogenów w tym procesie.

LITERATURA

1. Bauman-Kaszubska H., Sikorski M. 2011. Charakterystyka jakościowa i ilościowa osadów ściekowych pochodzących z małych oczyszczalni ścieków w powiecie plockim. *Inżynieria Ekologiczna*, 25, 21–29.
2. Bauman-Kaszubska H., Sikorski M. 2014. Metodyczne podstawy dotyczące ocen oddziaływania na środowisko osadów ściekowych wykorzystanych w celach rolniczych bądź przyrodniczych. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 17(2), 199–210.
3. Bartkowska I., Dzienis L., Wawrentowicz D. 2011. Efektywność pracy oczyszczalni ścieków w Hajnówce i propozycja jej modernizacji. *Inżynieria Ekologiczna*, 24, 226–235.
4. Bawiec A., Pawęska K., Zawalek T., Pulikowski K. 2013. Ocena redukcji zanieczyszczeń w oczyszczalni hydroponicznej. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 1/IV, 99–111.
5. Fijałkowski K., Kacprzak M. 2009. Wpływ dodatku osadów ściekowych na wybrane fizyko-chemiczne i mikrobiologiczne parametry gleb zdegradowanych. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 12(2), 133–141.
6. GUS. 2014. *Ochrona Środowiska*. Wydawnictwo: Główny Urząd Statystyczny. Warszawa.
7. Heidrich Z., Tiunajtis K. 2008. Ilość osadów pochodzących z wiejskich oczyszczalni ścieków i kierunki ich unieszkodliwiania. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 5, 191–198.
8. Hermanowicz W., Dożańska W., Dojlido J., Kozirowski B. 1976. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Wyd. Arkady, Warszawa.
9. internet: www.biopax.pl. Dostęp: 07.12.2015 r.
10. KPOŚK (Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych) i aktualizacje. 2003. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
11. Królak E., Filipek K., Biardzka E. 2013. Comparative analysis of sewage sludge from two sewage treatment plants: in Mrozy and Siedlce (Mazowieckie Province). *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 24(2), 57–61.
12. Piotrowska M. Wolna-Murawka A. 2010. Stan sanitarny osadów ściekowych pochodzących z wybranych oczyszczalni ścieków województwa wielkopolskiego. *Nauka Przyroda Technologie*, 4(6), 92–99.
13. Przybyła Cz., Bykowski J., Filipiak J. 2009. Efektywność funkcjonowania gminnych oczyszczalni ścieków. *Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska*, 11, 231–239.
14. 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 (Dz.U. z dn. 16 grudnia 2014 r., poz. 1800).
15. Sadecka Z., Waś J. 2011. Usuwanie związków biogenych ze ścieków w oczyszczalniach do 15000 RLM. *Inżynieria Środowiska*, 22, 4–14.
16. Sadecka Z., Myszograj S., Sieciechowicz A., Suchowska-Kisielewicz M., Waś J., Musiałowicz T. 2012. Nowoczesna oczyszczalnia ścieków w gminie Łągów Lubuski – pierwsze miesiące eksploatacji. *Inżynieria Środowiska*, 25, 84–94.
17. Solórzano L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochlorite method. *Limnology Oceanography*, 14, 799–800.
18. Standard Methods for the Examination Water and Wastewater. 1999. Washington D.C. American Public Health Association.
19. Styka W., Beńko P. 2014. Wdrażanie dobrych praktyk w gospodarce osadami ściekowymi. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 17(2), 165–184.