INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 2/2010, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 45–53
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Piotr Bugajski, Andrzej Wałęga

OCENA NIEZAWODNOŚCI DZIAŁANIA PRZYDOMOWEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

RELIABILITY ASSESSMENT OF THE HOUSEHOLD SEWAGE TREATMENT PLANT

Streszczenie

Tereny wiejskie, ze względu na specyfikę zabudowy wciąż w niewystarczającym stopniu mają uregulowaną gospodarkę ściekową. Ze względu na znaczne odległości między zabudowaniami oraz występujące często niedogodne warunki do budowy zbiorczej kanalizacji coraz powszechniej propagowane są metody oczyszczania ścieków z pojedynczych zabudowań. Rozwiązania te powinny charakteryzować się znaczną skutecznością działania, niezawodnością i być atrakcyjne cenowo. Powszechnie do oczyszczania małych ilości ścieków wykorzystuje się tzw. „minioczyszczalnie" z osadem czynnym, będące swego rodzaju miniaturyzacją rozwiązań stosowanych w dużych obiektach. W przypadku przydomowych oczyszczalni ścieków pracujących przy wykorzystaniu klasycznego osadu czynnego, wahania w obciążeniu ładunkiem zanieczyszczeń i objętością dopływających ścieków, a także zmienne warunki środowiskowe niekorzystnie wpływają na prawidłową pracę tych obiektów. Stąd celem artykułu było określenie niezawodności działania przydomowej oczyszczalni ścieków typu Biocompact BCT S-12. Analizę oparto na 3 wskaźnikach zanieczyszczeń: BZT_5, ChZT oraz zawiesinie ogólnej. Próbki ścieków oczyszczonych pobierane były z częstością przeciętnie raz w miesiącu w okresie od marca 2000 do września 2003 r. W pracy określono podstawowe charakterystyki statystyczne analizowanych wskaźników zanieczyszczeń. Ocenę niezawodności przeprowadzono na modelu niezawodnościowym opartym na analizie rozkładu statystycznego wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych. Analiza wykazała, że badana oczyszczalnia ścieków charakteryzuje się obniżoną efektywnością usuwania zanieczyszczeń organicznych i zawiesin ogólnych, a także pracuje niestabilnie. Wielkość średniej redukcji BZT_5 wyniosła 83,8%, ChZT 80,8%, a zawiesiny ogólnej 85,2%. Z kolei obliczona prognoza niezawodności pracy przedmiotowej oczyszczalni oparta na rozkładzie lognormalnego danych pomiarowych wykazała, że w przypadku redukcji ChZT w odniesieniu do okresu roku obiekt ten spełniałby wymogi odnośnie usu-

wania tego wskaźnika przez 341 dni, w przypadku BZT_5 przez 262 dni, a zawiesiny przez 242 dni w roku.

Słowa kluczowe: osad czynny, niezawodność, rozkład statystyczny

Summary

Sewage management in rural areas is still insufficiently regulated, due to the type of buildings. As a result of significant distances between the buildings and conditions that are mostly inconvenient to build the collective sewage system, a single-household sewage treatment methods are increasingly promoted. Such solutions should be effective, reliable and price-attractive. So called „mini-treatment plants" with activated sludge, that are sort of miniature solutions used in large objects, are commonly used for treatment of small amounts of sewage. Operation of the household sewage treatment plants that are based on the classic activated sludge is adversely affected by the fluctuations of pollutants' load and the volume of incoming sewage as well as variability of environmental conditions. Hence, the aim of the study was to evaluate the operation reliability of Biocompact BCT S-12 household sewage treatment plant. The analysis was based on three pollution indicators: BOD_5, COD and total suspended solids. Treated sewage samples were collected monthly from March 2000 to September 2003. Basic statistical characteristics of the analysed pollution indicators were defined. The assessment of reliability was performed on a reliability model, that bases on the analysis of the statistical distribution of pollution indexes in the treated sewage. The analysis revealed that removal of organic pollutants and total suspended solids is decreased in the monitored sewage treatment plant and that its operation is instable. The average BOD_5 reduction was 83,8%, COD – 80,8% and total suspended solids – 85,2%. On the other hand, the calculated prognosis of the objective sewage treatment plant operation, based on the log-normal distribution of measured data, showed that the discussed object would meet the requirements concerning COD reduction for 341 days of the year, concerning BOD_5 – 262 days and total suspended solids – 242 days of the year.

Key words: *activated sludge, reliability, statistical distribution*

WSTĘP

W związku z coraz szerszym zainteresowaniem nabywców w ostatnich latach w Polsce pojawiła się ogromna ilość i różnorodność systemów indywidualnego oczyszczania ścieków. Są to urządzenia rodzimej produkcji oraz importowanie z zagranicy. Szczególnie mieszkańcy terenów wiejskich, gdzie nie będzie wykonywana kanalizacja zbiorcza są potencjalnymi nabywcami tego typu urządzeń. Często jedynym kryterium wyboru takiego obiektu jest jego cena. Sprzedawcy, chcąc sprzedać swój produkt, przekazują informacje na temat zalet, natomiast przemilczane są informacje na temat wad. W późniejszym okresie eksploatacji okazuje się, iż obiekt jest niedociążony hydraulicznie lub nie spełnia wymagań dotyczących jakości ścieków odpływających [Bugajski 2009; Ka-

czor, Bugajski 2005]. Jest to wynikiem złego doboru typoszeregu danego obiektu i niewłaściwej eksploatacji [Bugajski, Bergel 2009]. Często w folderach reklamowych można przeczytać informację iż dany obiekt „jest bezobsługowy". To powoduje, iż nabywca obiekt instaluje i się nim nie interesuje. Nie przeprowadza żadnych czynności eksploatacyjnych i konserwatorskich. W Polsce szacuje się, iż około 50% mieszkańców wsi nie będzie podłączonych do zbiorczych systemów odprowadzania ścieków, tak więc są to potencjalni nabywcy i użytkownicy przydomowych oczyszczalni. Wydaje się konieczne, aby na tych terenach odbywały się szkolenia informacyjne dotyczące pomocy w wyborze i późniejszej eksploatacji przydomowych oczyszczalni ścieków, tak aby w przyszłości zainstalowane obiekty spełniały swoje zadania i nie wpływały negatywnie na środowisko.

CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy było określenie niezawodności działania przydomowej oczyszczalni ścieków Biocompact BCT S-12. Do analizy wyników wzięto pod uwagę 3 wskaźniki zanieczyszczeń: BZT_5, ChZT oraz zawiesinę ogólną. Przedmiotowa oczyszczalnia zainstalowana jest przy zespole szkół (podstawowa oraz gimnazjum) wraz z domem nauczyciela. Do szkoły uczęszcza około 300 uczniów, natomiast dom nauczyciela zamieszkuje 12 osób. Oczyszczalnia została zaprojektowana na średni dobowy dopływ ścieków 12 $m^3 \cdot d^{-1}$, natomiast faktyczny średni dopływ w okresie badań i pomiarów był niższy i wyniósł 5,15 $m^3 \cdot d^{-1}$.

METODY OBLICZEŃ

Ocenę efektywności usuwania zanieczyszczeń w przedmiotowej oczyszczalni określono przy wykorzystaniu elementów teorii niezawodności. Z uwagi na fakt, iż w oczyszczalniach o wielkości do 2000 RLM Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi, oraz substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. z 2006 r, nr 137, poz. 984) nie obliguje eksploatatorów takich obiektów to spełnienia przez nie wymogów co do usuwania ze ścieków azotu i fosforu, ocenę niezawodności wykonano dla BZT_5, ChZT i zawiesiny ogólnej. Próbki ścieków oczyszczonych pobierane były z częstością przeciętnie raz w miesiącu w okresie od marca 2000 do września 2003 r. W pracy określono podstawowe charakterystyki statystyczne analizowanych wskaźników zanieczyszczeń, takie jak: średnią arytmetyczną, medianę, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności, minimum, maksimum, skośność i kurtozę. Ocenę niezawodności funkcjonowania oczyszczalni wykonano na modelu nie-

zawodnościowym opartym na analizie rozkładu statystycznego wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych.

Niezawodność działania oczyszczalni ścieków można zapisać równaniem [Andraka 1997a]:

$$N_x = P(x \leq X_{dop}) = 1 - P(x > X_{dop}) = 1 - P(A_x) \tag{1}$$

gdzie:

N_x – niezawodność procesu dla wybranego wskaźnika zanieczyszczeń,
x – stężenie wybranego wskaźnika zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych,
X_{dop} – dopuszczalne stężenie wybranego wskaźnika zanieczyszczeń,
A_x – awaria oczyszczalni ($x > X_{dop}$).

Z równania (1) wynika:

$$N_x = P(x \leq X_{dop}) = F(X_{dop}) \tag{2}$$

gdzie:

$F(X_{dop})$ – dystrybuanta dla wartości X_{dop}.

W badaniu niezawodności działania oczyszczalni ścieków kluczową rolę odgrywa określenie rozkładu statystycznego stężeń zanieczyszczeń w odpływie z oczyszczalni. Poznając ten rozkład można wyliczyć nie tylko niezawodność danego obiektu, ale również ją modelować. Z uwagi na występującą zmienność procesu oczyszczania, oczyszczalnia może być projektowana, wykorzystując średnią wartość wskaźnika zanieczyszczeń w odpływie, spełniającą standardy dla danego obiektu. Ta wartość może być wykorzystana do obliczeń gwarantowanych stężeń zanieczyszczeń w odpływie z oczyszczalni z uwzględnieniem poziomu niezawodności. Niku i in. [1979] wprowadzili pojęcie współczynnika niezawodność $WN_{1-\alpha}$, który łączy średnie stężenia zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych z dopuszczalnymi z uwzględnieniem prawdopodobieństwa ich występowania.

W przypadku, gdy stężenie wskaźnika zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych podlega rozkładowi normalnemu współczynnik niezawodności $WN_{1-\alpha}$ można wyznaczyć ze wzoru [Andraka 1997b]:

$$WN_{1-a} = \frac{1}{1 + Z_{1-a} \cdot C_v} \tag{3}$$

natomiast dla rozkładu lognormalnego:

$$WN_{1-\alpha} = (Cv^2+1)^{0,5} \cdot \exp\{-Z_{1-\alpha} \cdot [\ln(Cv^2+1)]^{0,5}\} \tag{4}$$

gdzie:

$Z_{1-\alpha}$ – standaryzowana zmienna rozkładu normalnego dla poziomu niezawodności α,
C_v – współczynnik zmienności.

Wartość $Z_{1-\alpha}$ w przypadku rozkładu normalnego można określić z zależności:

$$Z_{1-\alpha} = (X_{dop}-m_x)/\delta_x \tag{5}$$

a dla rozkładu lognormalnego:

$$Z_{1-\alpha} = [\ln X_{dop}-(\ln m_x-0{,}5\ln(Cv^2+1))]/[\ln(Cv^2+1)]^{0,5} \tag{6}$$

gdzie:

δ_x – odchylenie standardowe wartości danego wskaźnika zanieczyszczeń.

W pierwszym kroku obliczeń niezawodności funkcjonowania oczyszczalni ścieków, dla każdego wskaźnika zanieczyszczeń dokonano doboru rozkładu teoretycznego weryfikując hipotezę zerową o braku podstaw do odrzucenia przyjętego typu rozkładu. Do weryfikacji poprawności doboru rozkładu zastosowano test χ^2 Pearsona na poziomie istotności $\alpha = 0{,}05$. Znając rozkład zmiennej losowej jaką jest stężenie zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych i przyjmując założenie, że proces technologiczny będzie prowadzony w sposób stały określono prognozę niezawodności działania oczyszczalni ścieków, wykorzystując równania (5) i (6). Dla wyliczonych wartości $Z_{1-\alpha}$ odczytano z tabel rozkładu normalnego szukany poziom niezawodności $1-\alpha$.

ANALIZA WYNIKÓW

Z uwagi na odmienną specyfikę ścieków z terenów o rozproszonej zabudowie w przeciwieństwie do obszarów objętych zbiorczym systemem kanalizacji, występują często w „minioczyszczalniach" z osadem czynnym problemy eksploatacyjne. Do głównych wad tych systemów można zaliczyć: konieczność stałej dostawy energii elektrycznej do pracy urządzeń napowietrzających i zainstalowanych pomp (okresowe przerwy w dostawie energii mogą prowadzić do obumierania biomasy w wyniku braku napowietrzania), znaczna wrażliwość biomasy osadu czynnego na nierównomierność dopływu ścieków (w okresach szokowych obciążeń hydraulicznych czy ładunkiem zanieczyszczeń biomasa może być wymywana z bioreaktora do odpływu), konieczność ciągłej obsługi przez wykwalifikowany personel [Makowska 1999]. Jóźwiakowski i Marzec [2006] podają, że także niska temperatura powietrza przyczynia się do obniżania skuteczności oczyszczania ścieków nawet o kilkanaście procent w stosunku do zakładanej wartości.

W przypadku badanej oczyszczalni zauważyć można bardzo niestabilną pracę w badanym okresie. Mimo iż średnie wartości analizowanych wskaźników zanieczyszczeń znajdują się poniżej wartości dopuszczalnej dla oczyszczalni poniżej 2000 RLM, to jednak w przypadku BZT_5 i zawiesiny ogólnej wartości te są nieznacznie niższe od dopuszczalnych. O niestabilności pracy badanego

obiektu świadczą duże wartości współczynników zmienności wahające się od 0,86 dla zawiesiny ogólnej do 0,92 dla BZT_5 (tab. 1). Średnia redukcja analizowanych wskaźników zanieczyszczeń wynosiła dla: BZT_5 83,8%, ChZT 80,8% i zawiesiny ogólnej 85,2%. Są to niższe wartości od stwierdzonych na innych obiektach. Przykładowo, badania przeprowadzone przez Jóźwiakowskiego i Marca [2006] na obiektach oczyszczających ścieki bytowe o przepustowości 0,9 $m^3 \cdot d^{-1}$ pracujących w technologii osadu czynnego (z możliwością podwyższonego usuwania związków azotu) wykazały 99% redukcję zawiesiny ogólnej, BZT_5 i ChZT były usuwane w ponad 95%.

Tabela 1. Charakterystyki statystyczne analizowanych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych
Table 1. Statistical characteristics of the analysed pollution indicators in the treated sewage

Wskaźnik zanieczyszczeń	Statystyka								
	Liczba obserwacji N	Średnia, $mg \cdot dm^{-3}$	Mediana, $mg \cdot dm^{-3}$	Min., $mg \cdot dm^{-3}$	Maks., $mg \cdot dm^{-3}$	Odch. st., $mg \cdot dm^{-3}$	Wsp. zmienności	Skośność	Kurtoza
BZT_5	39	35,4	26,6	2,7	134,5	32,6	0,92	1,7	2,2
ChZT	39	82,2	66,8	20,4	444,3	71,6	0,87	3,7	17,9
Zawiesina ogólna	37	47,9	39,5	5,6	218,8	41,0	0,86	2,6	8,3

Z danych przedstawionych w tabeli 1 wynika także, że zmienne BZT_5, ChZT i zawiesina ogólna mają dodatnią asymetrię (skośność waha się od 1,7 dla BZT_5 do 3,7 dla ChZT), a krzywa gęstości rozkładu jest stosunkowo smukła (kurtoza waha się od 2,2 dla BZT_5 do 17,9 dla ChZT). Wartości współczynnika skośności oraz mediany sugerują, że analizowane zmienne nie podlegają rozkładowi normalnemu. Potwierdzeniem tego są wyniki doboru rozkładu teoretycznego do danych empirycznych przedstawione w tabeli 2.

Analiza wykazała, że wymienione zmienne podlegają rozkładowi lognormalnemu na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Podobną tendencję co do postaci rozkładu zaobserwowali w swych badaniach m.in. Niku i in. [1979], Charles i in. [2005] czy Wałęga [2009]. Mając to na uwadze, obliczono prognozę niezawodności badanej oczyszczalni, opierając się na fakcie, iż zmienne BZT_5, ChZT oraz zawiesina ogólna podlegają rozkładowi lognormalnemu. Wykorzystując zależność (6), określono wartość $Z_{1-\alpha}$, a następnie z tablic rozkładu normalnego odczytano poziom niezawodności. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 2. Wyniki dopasowania rozkładów teoretycznych do stężeń analizowanych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych
Table 2. The results of theoretical distributions adjustment to the concentrations of the analysed pollution indicators in the treated sewage

Wskaźnik zanieczyszczeń	Typ rozkładu teoretycznego	Wartości testu χ^2 Pearsona	Liczba stopni swobody df	Wartość testowa p*
BZT_5	Lognormalny	1,65	1	0,196
ChZT	Lognormalny	0,88	1	0,346
Zawiesina ogólna	Lognormalny	1,58	1	0,209

* – nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o rozkładzie lognormalnym w przypadku $p \geq 0,05$

Tabela 3. Niezawodność pracy (%) badanej oczyszczalni ścieków
Table 3. Operation reliability (%) of the monitored sewage treatment plant

Wskaźnik zanieczyszczenia	Niezawodność
BZT_5	71,7
ChZT	93,5
Zawiesina ogólna	66,4

Wyniki analiz wskazują, że najwyższą niezawodność wykazuje badana oczyszczalnia w przypadku redukcji ChZT, co w odniesieniu do okresu roku oznacza, że obiekt ten spełniałby wymogi odnośnie usuwania tego wskaźnika przez 341 dni. Nieco gorzej pod tym względem przedstawia się sytuacja w przypadku pozostałych wskaźników zanieczyszczeń. W odniesieniu do BZT_5 oczyszczalnia spełniałaby wymogi przez 262 dni, a dla zawiesiny przez 242 dni w roku. W tym miejscu należy zaznaczyć, że powszechnie wykorzystywany w ocenie eksploatacyjnej oczyszczalni wskaźnik wielkości redukcji zanieczyszczeń nie oddaje pełnej informacji co do rzeczywistego funkcjonowania obiektu. Umożliwia on bowiem określenie wielkości zmniejszenia danego wskaźnika zanieczyszczeń, ale nie dostarcza żadnej informacji dotyczącej przekroczeń dopuszczalnych stężeń w odpływie z oczyszczalni. Można się spotkać z przypadkiem wysokiej redukcji stężeń danego zanieczyszczenia mimo, że na odpływie utrzymuje się wyższe stężenie zanieczyszczeń w stosunku do dopuszczalnego poziomu. Taka sytuacja ma miejsce także w badanym obiekcie, gdzie przykładowo stwierdzono stosunkowo wysoką redukcję BZT_5 (83,8%), ale wykazano niską niezawodność pracy obiektu (poziom niezawodności równy 71,7%) z uwagi na występujące częste przekroczenia wartości dopuszczalnych w odpływie.

Opierając się na obliczeniach Andraki i Dzienisa [2003], należy stwierdzić, że oczyszczalnie tej wielkości powinny pracować z niezawodnością 97,3% przy ryzyku producenta (prawdopodobieństwem przekroczenia dopuszczalnej liczby próbek niespełniających wymagań przy założeniu, że oczyszczalnia pracuje wadliwie przez D dni w roku) na poziomie 5%. Innymi słowy dopuszcza się

wadliwą pracę oczyszczalni o RLM poniżej 2000 zaledwie przez 9 dni w roku. Nasuwa się więc wniosek, iż badana oczyszczalnia pracuje z obniżoną efektywnością w stosunku do wymaganej, mimo że wstępna ocena przeprowadzona na podstawie średniej wartości wskaźników zanieczyszczeń w odpływie i wielkości ich redukcji sugerowała poprawną jej pracę. Z uwagi na fakt, iż „minioczyszczalnie" z klasycznym osadem czynnym nie sprawdzają się w praktyce do oczyszczania małych ilości ścieków zachodzi konieczność ich modernizacji lub zmiany stosowanej technologii. Jedną z możliwości poprawy pracy takiej oczyszczalni jest umieszczenie w niej pakietu złoża, na którym rozwinie sie błona biologiczna. Jak wykazały symulacje przeprowadzone przez Krzanowskiego i Wałęgę [2008] wprowadzenie do klasycznego bioreaktora z osadem czynnym pakietów z tworzywa sztucznego może przyczynić się do wzrostu efektywności usuwania substancji organicznej ze ścieków, bez koniczności rozbudowy oczyszczalni. Zabieg taki jest zasadny nie tylko ze względów ekologicznych, ale także eksploatacyjnych oraz jest znacznie tańszy niż rozbudowa układu o nowe obiekty.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń sformułowano następujące wnioski:

1. Pełna analiza efektywności pracy oczyszczalni ścieków powinna być uzupełniona wnioskowaniem statystycznym z uwzględnieniem elementów teorii niezawodności. Tylko takie podejście umożliwi prognozowanie pracy oczyszczalni w zmiennych warunkach eksploatacji.
2. Proponowane metody oceny niezawodności pracy oczyszczalni ścieków oparte na znajomości rozkładów statystycznych danych empirycznych dają zbliżone wyniki, co upoważnia do ich szerszego stosowania w praktyce.
3. Badana oczyszczalnia ścieków charakteryzuje się obniżoną efektywnością usuwania zanieczyszczeń organicznych i zawiesin ogólnych, a także pracuje niestabilnie czego efektem są duże wahania wartości wskaźników zanieczyszczeń w odpływie. Wielkość średniej redukcji BZT_5 wyniosła 83,8%, ChZT 80,8% a zawiesiny ogólnej 85,2%. Z kolei obliczona prognoza niezawodności pracy przedmiotowej oczyszczalni oparta na rozkładzie lognormalnym danych pomiarowych wykazała, że w przypadku redukcji ChZT w odniesieniu do okresu roku obiekt ten spełniałby wymogi odnośnie usuwania tego wskaźnika przez 341 dni, w przypadku BZT_5 przez 262 dni, a zawiesiny przez 242 dni w roku.
4. Obliczenia wskazują na potrzebę modernizacji tego obiektów, np. poprzez wprowadzenie elementów złoża do bioreaktora, które może sie przyczynić do poprawy efektywności i stabilności pracy oczyszczalni.

BIBLIOGRAFIA

Andraka D. *Ocena i prognozowanie niezawodności oczyszczalni ścieków na przykładzie oczyszczalni w Białymstoku i Grajewie.* Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Bezpieczeństwo i niezawodność działania systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych i centralnego ogrzewania, PZiTS o/Kraków, Zakopane 1997a.

Andraka D. Prognozowanie niezawodności oczyszczalni ścieków na przykładzie miejskiej oczyszczalni w Grajewie. Mat. IX Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej z cyklu „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych", Rajgród 16-24 czerwca, 1997b. s. 366–373.

Andraka D., Dzienis L. *Wymagany poziom niezawodności oczyszczalni ścieków w świetle przepisów polskich i europejskich.* Zesz. Nauk. Politechniki Białostockiej, Seria Inżynieria Środowiska, z. 16, Białystok, 2003, s. 24–28.

Bugajski P. *Zagrożenia wód eutrofizacją odbiorników w wyniku stosowania indywidualnych systemów oczyszczania ścieków*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 9/2009, s. 4–5.

Bugajski P., Bergel T. *Niedociążenia hydrauliczne przydomowych oczyszczalni ścieków*. Infrastrktura i Ekologia Terenów Wiejskich 5/2009, s. 147–154.

Charles K. J., Ashbolt N. J., Roser D. J., McGuinness R., Deere D. A. *Effluent quality from 200 on-site sewage systems: desine values for quidelines.* Water of Science and Technology 51 (10), 2005, s. 163–169.

Jóźwiakowski K., Marzec M. *Problemy funkcjonowania przydomowych oczyszczalni ścieków z osadem czynnym – badania wstępne*. Przegląd Naukowy, Inżynieria i Kształtowanie Środowiska 2 (34), 2006, s. 163–171.

Kaczor G., Bugajski P. *Wpływ wybranych czynników na efekty oczyszczania ścieków w przydomowych oczyszczalniach typu Turbojet EP-2*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 11/2005, s. 36–39.

Krzanowski S., Wałęga A. *Effectiveness of organic substance removal in household concentional activated sludge and hybrid treatment plants. Environment Protection Engineering,* vol. 34, nr. 3, 2008, s. 5–12.

Makowska M. *Problemy eksploatacyjne minioczyszczalni z osadem czynnym* [w:] Projektowanie i eksploatacja przydomowych oczyszczalni ścieków, Poznań-Kiekrz, 1999, s. 21–38.

Niku S., Schroeder E. D., Samaniego F. J. *Performance of activated sludge process and reliability – based design*. Journal of Water Pollution Control Associated 51 (12), 1979, s. 2814–2857.

Wałęga A. *Ocena funkcjonowania oczyszczalni ścieków metodami statystycznymi*. Forum eksploatatora 5(44), 2009, s. 30–34.

Dr inż. Piotr Bugajski, dr inż. Andrzej Wałęga
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej,
Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, tel. (012) 662-40-39
e-mail: p.bugajski@ur.krakow.pl, a.walega@ur.krakow.pl

Recenzent: *Dr hab. Stanisław Węglarczyk, prof. PK*