

NIEZAWODNOŚĆ USUWANIA AZOTU ZE ŚCIEKÓW W ZBIORCZEJ OCZYSZCZALNI Z SEKWENCYJNYM REAKTOREM BIOLOGICZNYM

Piotr Bugajski, Grzegorz Kaczor, Tomasz Bergel

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Celem badań była ocena niezawodności usuwania azotu ogólnego w zbiorczej oczyszczalni ścieków przy zastosowaniu metody niezawodności Weibulla. Badania prowadzono w okresie od 1 stycznia 2009 roku do 31 grudnia 2012 roku w zbiorczej oczyszczalni ścieków, której wielkość wyrażona Równoważną Liczbą Mieszkańców (RLM) wynosiła 101200. W analizowanym okresie pobrano i poddano analizie fizyczno-chemicznej 73 próbki ścieków surowych i oczyszczonych. Na podstawie uzyskanych wyników badań nierównomierność stężeń związków azotu w ściekach dopływających miała wpływ na niestabilność procesów nityfikacji i denityfikacji w sekwencyjnym reaktorze biologicznym. Stwierdzona niestabilność procesów biologicznych skutkowała tym, iż w 46% przypadków stężenie azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych było wyższe od wartości dopuszczalnej określonej w pozwoleniu wodnoprawnym dla tego obiektu. W pracy zaproponowano kilka rozwiązań problemów związanych z funkcjonowaniem reaktora biologicznego, które w przyszłości powinny skutkować zwiększoną skutecznością eliminacji azotu ogólnego w analizowanej oczyszczalni ścieków.

Słowa kluczowe: ścieki, niezawodność oczyszczania, metoda Weibulla.

WSTĘP

Budowa nowej lub modernizacja istniejącej oczyszczalni ścieków powinna być poprzedzona dokładnymi i wnikliwymi obliczeniami dotyczącymi ilości dopływających ścieków oraz ładunków zanieczyszczeń w nich zawartych [Roman 1993, Andracka 2007]. Bardzo ważne jest, aby przyjęte założenia projektowe były trafne, a przeprowadzone

Adres do korespondencji – Corresponding Authors: dr hab. inż. Piotr Bugajski, dr hab. inż. Grzegorz Kaczor, dr hab. inż. Tomasz Bergel, Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków; e-mail: p.bugajski@ur.krakow.pl.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2015

obliczenia dokładne, ponieważ błędy popełnione na tym etapie mogą w przyszłości skutkować nieprawidłowym funkcjonowaniem oczyszczalni ścieków, co w konsekwencji będzie miało wpływ na zanieczyszczenie wód powierzchniowych lub podziemnych [Wałęga i in. 2009, 2010]. Obiektami bardzo wrażliwymi na nierównomierny dopływ ścieków oraz nierównomierny ładunek zanieczyszczeń w nich zawartych są reaktory biologiczne funkcjonujące w oparciu o metodę osadu czynnego. Aktualnie w przypadku małych systemów kanalizacyjnych w oczyszczalniach stosowane są często sekwencyjne reaktory biologiczne (SBR). Reaktory sekwencyjne, zwane także porcjowymi, pomimo że są bardziej odporne na nierównomierność dopływu ścieków w porównaniu z reaktorami przepływowymi, przy zmiennym ładunku zanieczyszczeń w nich zawartych mogą nie osiągać założonej sprawności działania [Jeongsik i in. 2003, Sowińska i Makowska 2014]. Często wysokie ładunki zanieczyszczeń dopływają do kanalizacji wraz ze ściekami przemysłowymi. W celu ograniczenia negatywnego wpływu tych zanieczyszczeń na stabilność procesu oczyszczania, ścieki przemysłowe powinny być wstępnie oczyszczane (podczyszczane) [Krzyszowski i in. 2008]. Podczyszczalnia ścieków przemysłowych, której układ technologiczny jest odpowiednio dobrany do specyfiki dopływających zanieczyszczeń, pozwala na zmniejszenie ładunków zanieczyszczeń wprowadzanych do kanalizacji, co poprawia stabilność funkcjonowania reaktora biologicznego w oczyszczalni zbiorczej [Massé i Masse 2000, Bugajski 2014].

CEL, ZAKRES ORAZ METODYKA BADAŃ

Celem badań była ocena niezawodności usuwania związków azotu z zastosowaniem metody Weibulla w zbiorczej oczyszczalni ścieków z sekwencyjnym reaktorem biologicznym typu SBR. Wielkość oczyszczalni określona na podstawie RLM wynosi 101 200. W pracy przedstawiono informacje dotyczące stężenia azotu ogólnego w ściekach dopływających (surowych) i oczyszczonych oraz określono stopień redukcji stężenia analizowanego wskaźnika.

Pobór próbek ścieków prowadzono od stycznia 2009 do grudnia 2012 roku. W okresie tym pobrano i poddano analizie fizyczno-chemicznej 73 próbki ścieków surowych oraz tyle samo oczyszczonych. Analizę składu ścieków przeprowadzono metodami referencyjnymi, określonymi w obowiązującym w okresie badań Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2006 roku. Stężenia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych porównano z określoną w pozwoleniu wodno-prawnym wartością dopuszczalną wynoszącą $15 \text{ mg N}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. Analizę statystyczną niezawodności usuwania związków azotu wykonano przy użyciu programu STATISTICA 8 oraz Excel 2010.

Ocenę efektywności usuwania zanieczyszczeń w analizowanej oczyszczalni określono za pomocą elementów teorii niezawodności Weibulla. Metoda ta, jak opisuje Bugajski i in. [2012], jest przydatna i trafna do oceny niezawodności funkcjonowania oczyszczalni ścieków. Rozkład Weibulla charakteryzuje się funkcją gęstości prawdopodobieństwa (1) z parametrami b , c i θ :

$$f(x) = \frac{c}{b} \cdot \left(\frac{x - \theta}{b} \right)^{(c-1)} \cdot e^{-\left(\frac{x - \theta}{b} \right)^c} \quad (1)$$

gdzie:

x – zmienna określająca stężenie danego wskaźnika zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych,

b – parametr skali,

c – parametr kształtu,

θ – parametr położenia.

Przy założeniach: $\theta < x$, $b > 0$, $c > 0$

Estymację parametrów rozkładu Weibulla wykonano metodą największej wiarygodności. Jakość dopasowania rozkładu Weibulla do danych empirycznych przeprowadzono testem Hollandera-Proschana. Analizę wyników badań wykonano przy użyciu programu STATISTICA 8. W analizie dla oszacowanych parametrów rozkładu dokonano weryfikacji hipotezy o przyjęciu rozkładu Weibulla do aproksymacji danych empirycznych.

CHARAKTERYSTYKA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

Analizowany obiekt oczyszcza mieszaninę ścieków bytowych oraz przemysłowych w układzie dwustopniowym, tzn. mechaniczno-biologicznym. Ścieki dopływają do oczyszczalni kolektorem głównym o średnicy \varnothing 1400 mm. Ponieważ układ terenu przed oczyszczalnią uniemożliwia grawitacyjny przepływ ścieków, na początku ciągu technologicznego zainstalowano przepompownię. Dodatkowo przed stacją pomp zainstalowano punkt odbioru ścieków dowożonych taborem asenizacyjnym z terenów, gdzie mieszkańcy okolicznych miejscowości gromadzą ścieki w zbiornikach na nieczystości płynne, tzw. szambach. Ścieki z przepompowni płyną kanałem otwartym do hali krat gęstych. W budynku zainstalowane są cztery kraty automatyczne typu schodkowego firmy „Eko-Celkom”. Zatrzymane na kratkach zanieczyszczenia (skratki) są transportowane przenośnikiem ślimakowym poza obręb hali, gdzie są magazynowane, dezynfekowane, a następnie wywożone na komunalne składowisko odpadów. Kolejnym urządzeniem w części mechanicznej oczyszczalni jest piaskownik poziomy napowietrzony, który składa się z dwóch komór o długości $L = 25$ m, głębokości czynnej $H = 2,1$ m oraz szerokości każdego z kanałów $B = 1,5$ m. Wzdłuż każdej z komór nad dnem umieszczone są perforowane rurociągi, przez które do piaskownika tłoczone jest sprężone powietrze w postaci drobnych pęcherzyków w celu usprawnienia oddzielania piasku od części organicznych. Piaskownik posiada zgarniacz piasku do komory zbiorczej, z której piasek jest transportowany przy pomocy pomp zatapiających o wydajności $Q = 18 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ścieki z piaskownika kanałem zamkniętym przepływają do dwóch osadników wstępnych radialnych o średnicy $D = 30$ m każdy i głębokości w części centralnej $H = 7,8$ m. Podstawowym zadaniem osadników jest zatrzymanie zawiesiny oraz tłuszczu i olejów. W wyniku procesu sedymentacji w osadnikach zatrzymywane jest około 70% zawiesiny. Osad, składający się głównie z zawiesiny organicznej, transportowany jest do zagęszczaczy osadów celem odwonienia, a następnie trafia do wydzielonych komór fermentacyjnych, tzw. WKF, gdzie w wyniku procesów termicznych (mezofilowych) powstaje biogaz. Z osadników wstępnych ścieki przepływają do dwóch reaktorów biologicznych działających w systemie porcjowym, tzw. SBR (ang.

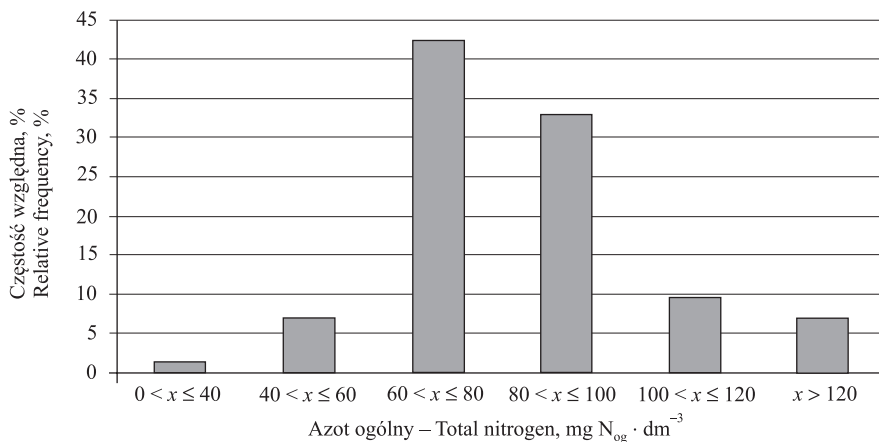
Sequencing Batch Reactor). Obydwa reaktory biologiczne są otwarte i nie posiadają zabezpieczenia termicznego w okresie niskich temperatur powietrza. Każdy z reaktorów ma kształt sześcianu o wymiarach: długość $L = 56,1$ m, szerokość $B = 25,6$ m i głębokość czynna $H_{cz} = 6,1$ m. Czas poszczególnych cykli w ciągu roku jest stały i nie zmienia się w zależności od temperatury ścieków oraz temperatury powietrza atmosferycznego. Osad nadmierny kierowany jest do zagęszczaczy osadów, a następnie do komór WKF. Z reaktorów biologicznych ścieki oczyszczone trafiają do pobliskiej rzeki, będącej odbiornikiem ścieków oczyszczonych.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Na podstawie analizy stężeń azotu ogólnego w 73 próbkach ścieków surowych, stwierdzono dużą rozpiętość wartości tego wskaźnika w okresie badań. Minimalne stężenie azotu ogólnego wyniosło 16,1, a maksymalne 182,0 mg $N_{og} \cdot dm^{-3}$. Średnia arytmetyczna i mediana analizowanego parametru wyniosły odpowiednio 84,1 i 79,7 mg $N_{og} \cdot dm^{-3}$. Najczęściej pojawiającymi się stężeniami azotu ogólnego w ściekach dopływających były wartości w przedziale od 60 do 80 mg $N_{og} \cdot dm^{-3}$ oraz w przedziale od 80 do 100 mg $N_{og} \cdot dm^{-3}$. Łącznie w obu tych przedziałach zdarzyło się ponad 75% przypadków. W około 7% próbkach odnotowano bardzo wysokie stężenia azotu ogólnego (ponad 120 mg $N_{og} \cdot dm^{-3}$) w ściekach surowych. Zarówno duża zmienność, jak i ponadprzeciętnie wysokie stężenia azotu ogólnego w ściekach surowych są wynikiem dopływu ścieków przemysłowych odprowadzanych z pobliskiego zakładu mleczarskiego znajdującego się na terenie miejscowości, z której odprowadzane są też ścieki bytowe. Zakład ten powinien posiadać system wstępnego oczyszczania (podczyszczania) ścieków, gdyż tego typu ścieki posiadają dużo wyższe stężenia zanieczyszczeń, co może skutkować zakłóceniami pracy oczyszczalni. Charakterystykę statystyczną stężeń azotu ogólnego w ściekach surowych przedstawiono w tab. 1, natomiast częstość pojawiania się charakterystycznych wartości przedstawiono na ryc. 1.

Tabela 1. Charakterystyki statystyczne stężeń azotu ogólnego w ściekach surowych
Table 1. Statistical characteristics of concentration total nitrogen in raw wastewater

Azot ogólny Total Nitrogen	Statystyka – Statistics					Odchylenie stat. stand. mg · dm ⁻³	Współczynnik zmienności Coefficient of variation
	Średnia, Average mg · dm ⁻³	Mediana Median mg · dm ⁻³	Min. Min mg · dm ⁻³	Maks. Max mg · dm ⁻³			
Ścieki surowe Raw wastewater	84,1	79,7	16,1	182,0		24,0	0,29
Ścieki oczyszczone Treated wastewater	15,2	12,7	5,0	58,6		9,6	0,66



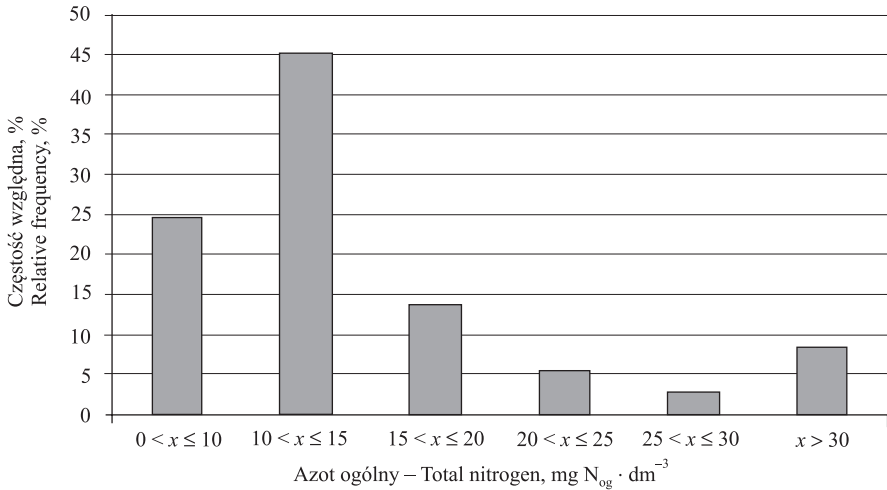
Ryc. 1. Histogram rozkładu stężenia azotu ogólnego w ściekach surowych

Fig. 1. Histogram of the total nitrogen concentration distribution in raw wastewater

W kolejnym etapie przeprowadzono analizę stężeń azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych. W okresie czteroletnich badań stężenia tego wskaźnika w ściekach odpływających do odbiornika wahały się od 5,0 do 58,6 $\text{mg N}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wartość średnia wyniosła 15,2 $\text{mg N}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$, natomiast mediana 12,7 $\text{mg N}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. W badanym okresie stwierdzono dużą zmienność stężeń azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych, o czym świadczy wartość współczynnika zmienności $W_z = 0,66$. Porównując zmienność stężeń związków azotu w ściekach surowych i w ściekach oczyszczonych, należy stwierdzić dużo większą ich zmienność w ściekach oczyszczonych. W dalszej części analizy dotyczącej stężeń azotu ogólnego w ściekach odpływających do odbiornika stwierdzono, że w około 30% stężenia tego parametru są wyższe od wartości dopuszczalnej 15 $\text{mg N}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. Natomiast w ponad 8% przypadków wartości te są ponad dwukrotnie wyższe od wartości dopuszczalnej. Charakterystykę statystyczną stężenia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych przedstawiono w tab. 1, natomiast częstość pojawiania się charakterystycznych wartości zobrazowano na ryc. 2.

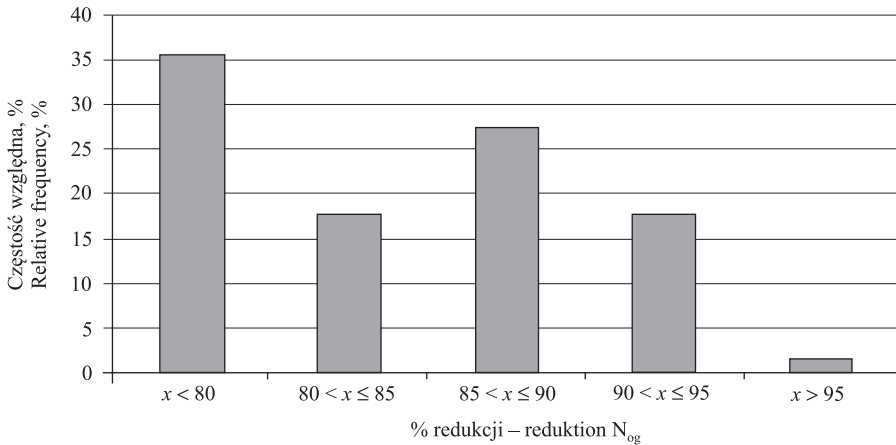
W obowiązującym w okresie badań Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2006 roku oprócz wartości dopuszczalnych (maksymalnych) poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń określa się również minimalny, wymagany procent redukcji [Rozporządzenie... 2006]. Dla oczyszczalni ścieków o RLM większej od 100 000 minimalny procent redukcji azotu ogólnego wynosi 80%. W przedmiotowej oczyszczalni ścieków stwierdzono, że skuteczność usuwania związków azotu wahała się od 16,9 do 95,1%. Wartość średnia w okresie badań wyniosła 80,4%, a mediana 84,3%. Na tej podstawie można zatem stwierdzić, iż skuteczność redukcji azotu ogólnego była na zadowalającym poziomie. Jednak bardziej szczegółowa analiza dowiodła, że w 36% przypadków nie został osiągnięty minimalny stopień redukcji analizowanego parametru. Na ryc. 3 przedstawiono częstość występowania poszczególnych wielkości stopnia redukcji azotu ogólnego.

Na podstawie analizy stężenia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych oraz redukcji procentowej tego parametru stwierdzono, że obiekt nie pracuje poprawnie. Przyczyną tego stanu jest niestabilność procesów nityfikacji i denityfikacji, czyli procesów



Ryc. 2. Histogram rozkładu stężenia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych

Fig. 2. Histogram of the total nitrogen concentration distribution in cleaning wastewater



Ryc. 3. Histogram rozkładu procentowej redukcji azotu ogólnego

Fig. 3. Histogram of percent reduction of the total nitrogen

odpowiedzialnych za usuwanie związków azotu w reaktorze biologicznym. Zakłócenia funkcjonowania reaktora biologicznego mogą być spowodowane zbyt krótkim czasem poszczególnych cykli pracy, okresowym wpływem większych, niż zakładano w projekcie ładunków azotu ogólnego w ściekach dopływających do oczyszczalni oraz wychładzaniem ścieków w reaktorach biologicznych w wyniku oddziaływania temperatury powietrza atmosferycznego w okresie zimowym.

Wyniki dopasowania rozkładu testem Hollandera-Proschana wraz z estymowanymi parametrami dla stężeń azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych przedstawiono w tab. 2.

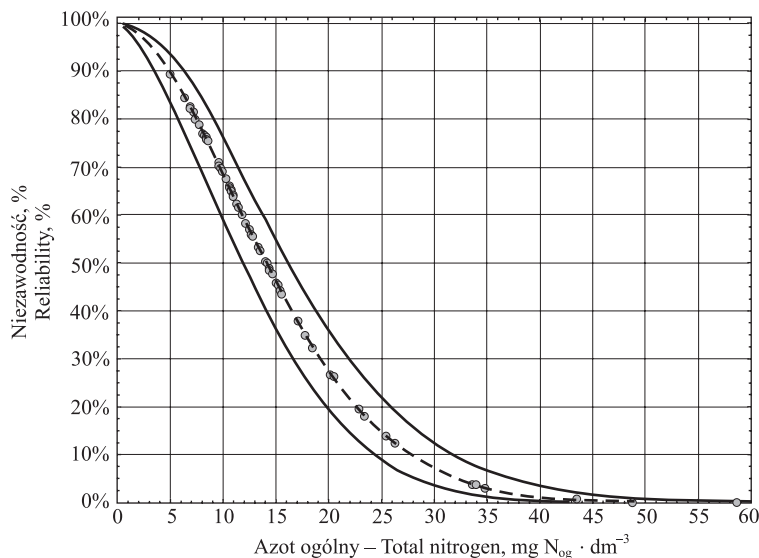
Tabela 2. Wyniki estymacji parametrów rozkładu Weibulla wraz z miarami dobroci dopasowania do danych empirycznych

Table 2. Results of the estimation of the Weibull distribution parameters together with the measures of goodness of fit to empirical data

Wskaźnik Index	Parametry rozkładu Distribution parameters			Test Hollandera-Proschana	
	b	c	θ	Wartość testu – Test value	p*
Azot ogólny – Total nitrogen	17,292	1,775	4,59	0,6268	0,531

* prawdopodobieństwo testowe; jeśli $p \leq 0,05$, należy odrzucić hipotezę zerową, że dane empiryczne można opisać rozkładem Weibulla – probability test; if $p \leq 0,05$, you must reject the null hypothesis that the empirical data can be described by Weibull distribution

Wyniki analizy niezawodnościowej usuwania azotu ogólnego w oparciu o metodę Weibulla przedstawiono na ryc. 4. Na podstawie dystrybuanty stwierdzono, że w 46% próbek ścieków oczyszczonych była przekroczona wartość dopuszczalna azotu ogólnego określona na poziomie $15 \text{ mg N}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. Zatem w ściekach odpływających z analizowanej oczyszczalni w około 168 dobach w rocznym okresie czasu znajdują się ponad dopuszczalne wartości stężenia azotu ogólnego. Wymagania zaproponowane przez Andrakę i Dzieńisa [2003] zalecają, żeby poziom niezawodności technologicznej dla tej wielkości oczyszczalni przy poziomie ryzyka $\alpha = 0,05$ wynosił 93,72%, co oznacza możliwość wadliwej pracy oczyszczalni przez 22 doby w rocznym okresie, podczas gdy w przypadku przedmiotowej oczyszczalni ścieków mniejsza od wymaganej niezawodność usuwania azotu ogólnego wystąpiła w 168 dobach.



Ryc. 4. Wyniki analizy niezawodnościowej Weibulla usuwania azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych

Fig. 4. Results of the Weibull reliability analysis for the total nitrogen concentrations in treated wastewater

PODSUMOWANIE

Duże wahania stężeń azotu ogólnego w ściekach surowych wynoszące od 16,1 do 182,0 mg N_{og} · dm⁻³ wpływają negatywnie na metabolizm mikroorganizmów osadu czynnego, czego skutkiem są podwyższone wartości tego wskaźnika w ściekach oczyszczonych. Aby temu zapobiec, należy wybudować podczyszczalnię ścieków mleczarskich na terenie zakładu przemysłowego. Zadaniem podczyszczalni byłoby zmniejszenie nierównomierności dopływu ścieków do kanalizacji oraz zatrzymanie znacznej ilości zanieczyszczeń w nich zawartych. Kolejnym proponowanym usprawnieniem pracy reaktora biologicznego, mającym na celu zwiększony stopień redukcji związków azotu, jest wydłużenie czasu trwania fazy reakcji w okresie niskich temperatur ścieków. Aktualnie czas trwania poszczególnych faz w analizowanym reaktorze sekwencyjnym jest niezmienny podczas całego roku. Równie ważnym aspektem wpływającym na zwiększoną skuteczność procesów nityfikacji i denityfikacji jest stała kontrola stosunku węgla organicznego wyrażonego BZT₅ do azotu ogólnego w ściekach dopływających do reaktora biologicznego. W przypadku, gdy ta zależność będzie mniejsza od wymaganych, należy okresowo dawkować ścieki o podwyższonej wartości węgla organicznego, który stanowi źródło energii dla mikroorganizmów osadu czynnego.

PIŚMIENNICTWO

- Andraka, D. (2007). Risk analysis at designing the wastewater treatment plants. *Pol. J. Environ. Stud.*, 16, 2A, 823–825.
- Andraka, D., Dzienis, L. (2003). Wymagany poziom niezawodności oczyszczalni ścieków w świetle przepisów polskich i europejskich. *Zesz. Nauk. Politechniki Białostockiej, Inżynieria Środowiska*, 16, 24–28.
- Bugajski, P. (2014). Podczyszczanie ścieków z wybranego zakładu przemysłowego. *INSTAL* 7–8, 81–83.
- Bugajski, P., Wałęga, A., Kaczor, G. (2012). Zastosowanie metody Weibulla do analizy niezawodności działania przydomowej oczyszczalni ścieków. *Gaz Woda Tech. Sanit.*, 2, 56–58.
- Jeongsik, K., Chulhwan, P., Tak-Hyun, K., Myunggu, L., Sangyong, K., Seung-Wook, K., Jinwon, L. (2003). Effects of various pretreatments for enhanced anaerobic digestion with waste activated sludge. *J. Biosci. Bioengineer.*, 95(3), 271–275.
- Krzanowski, S., Wałęga, A., Paśmionka, I. (2008). Oczyszczanie ścieków z wybranych zakładów przemysłu spożywczego. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiej., Monografia*, 1.
- Massé, D.I., Masse, L. (2000). Treatment of slaughterhouse wastewater in anaerobic sequencing batch reactors. *Canadian Agric. Engineer.*, 42(3), 131–137.
- Roman, M. (1993). Ścieki – ich ilość i jakość. *Mat. semin. szkol. Optymalny dobór oczyszczalni ścieków*. Wydawnictwo Abrys, Poznań.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód i do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. *Dz.U. z 2006 r. Nr 137, poz. 984. z późn. zm.*
- Sowinska, A., Makowska, M. (2014). Wykorzystanie reaktora porcjowego (SBR) w indywidualnym systemie oczyszczania ścieków. *Nauka Przyr. Technol.*, 8, 3(29), 2–19.
- Wałęga, A., Plesiński, K., Chmielowski, K., Satora, S. (2010). Możliwości zwiększenia efektywności usuwania ze ścieków azotu i fosforu w oczyszczalni w Łopusznej. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiej.*, 1, 111–123.

Wałęga, A., Chmielowski, K., Satora, S. (2009). Stan gospodarki wodno-ściekowej w Polsce w aspekcie wdrażania Ramowej Dyrektywy Wodnej. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiej.*, 4, 57–72.

THE REMOVAL OF RELIABILITY NITROGEN IN WASTEWATER TREATMENT PLANT WITH SEQUENCING BIOLOGICAL REACTOR

Abstract. The aim of this study was to assess the reliability of removal of nutrients nitrogen compounds using the Weibull reliability method. The studies, conducted during the 4 years period from January 2009 to December 2012 in the collective wastewater treatment plant. The designed size of the treatment plant, expressed in PE is 101200 residents. Seventy Three samples of raw and treated sewage samples were collected and subjected to physico-chemical analysis within the study period. Based on the results in raw wastewater it was found much higher than average concentration of total nitrogen. The high in equality concentrations of nitrogen compounds in wastewater influent had an impact on the volatility of nitrification and denitrification processes in a sequential biological reactor. As a result of the volatility process in biological reactor it was found, that 46% cases of concentration of total nitrogen in the waste waterflowing into the river was higher, than the limit specified in the law permit for this facility. In the paper proposes some solutions to the problems associated with the operation of the biological reactor, which in the future should result in increase defficiency of the elimination of nitrogen compounds in the treatment plant.

Key words: wastewater, removal reliability, Weibullmethod.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 8.09.2015

Do cytowań – For citation: Bugajski, P., Kaczor, G., Bergel, T. (2015). Niezawodność usuwania azotu ze ścieków w zbiorczej oczyszczalni z sekwencyjnym reaktorem biologicznym. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 14(3), 19–27.