

*Bugajski Piotr*

**WPLYW TEMPERATURY ŚCIEKÓW NA WIELKOŚĆ  
WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW ZANIECZYSZCZEŃ  
Z OCZYSZCZALNI DZIAŁAJĄCEJ  
W UKŁADZIE SEKWENCYJNYM SBR**

---

***THE EFFECT OF SEWAGE TEMPERATURE  
ON VALUES OF THE SELECTED SEWAGE POLLUTION  
INDEXES FOR THE SEQUENTIAL BATCH REACTOR  
(SBR) TREATMENT PLANT***

**Streszczenie**

Przeprowadzone badania miały na celu określenie wpływu temperatury ścieków w bioreaktorach na wielkość odprowadzanych zanieczyszczeń w odniesieniu do wskaźników: BZT<sub>5</sub>, ChZT oraz azotu ogólnego. Badania prowadzono w gminnej oczyszczalni działającej w układzie sekwencyjnym (SBR). Przedmiotowa oczyszczalnia zlokalizowana jest na terenie gminy Książ Wielki w powiecie miechowskim w województwie małopolskim. Do oczyszczalni doprowadzane są ścieki z gospodarstw domowych z dwóch miejscowości: Książ Wielki oraz Wielka Wieś. W okresie badań do oczyszczalni dopływało średnio od 100 do 110 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>, co stanowiło blisko 50% zakładanego obciążenia hydraulicznego obiektu. Pomiar temperatury oraz pobór próbek ścieków do analiz fizykochemicznych wykonano okresie 24 miesięcy w latach 2007 i 2008. W tym okresie pobrano 24 próbki ścieków z częstotliwością raz na miesiąc. W okresie badań najniższa odnotowana temperatura ścieków w bioreaktorze wynosiła 7,1°C, natomiast najwyższa 18,8°C. Zatem w badanym okresie zmierzona amplituda temperatury ścieków w bioreaktorze wynosiła 11,7°C. Niska temperatura ścieków nie przekraczająca 10°C występowała w okresach od grudnia do kwietnia. W tym okresie w większości przypadków stwierdzono mniejszą sprawność unieszkodliwiania 3 analizowanych wskaźników zanieczyszczeń. W wyniku przeprowadzonej analizy stwierdzono przeciętny związek temperatury ścieków w bioreaktorze i wielkością stężeń wskaźników tlenowych BZT<sub>5</sub> i ChZT. Na podstawie równań regresji liniowej stwierdzono, iż wraz ze wzrostem temperatury ścieków o 1°C wartość BZT<sub>5</sub>

małała o  $0,64 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , a ChZT o  $1,76 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Istnieje wysoka korelacja pomiędzy temperaturą ścieków w bioreaktorze, a wielkością azotu ogólnego w ściekach odprowadzanych z przedmiotowej oczyszczalni. Wraz ze wzrostem temperatury ścieków w bioreaktorze o  $1^\circ\text{C}$  zmniejszała się wielkość azotu ogólnego o  $1,34 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . W odniesieniu do dwóch wskaźników tlenowych, BZT<sub>5</sub> i ChZT, które są uwzględniane w ocenie funkcjonowania obiektu nie stwierdzono przekroczeń wartości dopuszczalnych, określonych w pozwoleniu wodno-prawnym.

**Słowa kluczowe:** ścieki, oczyszczanie ścieków, korelacja, temperatura

### Summary

*The performed study aimed to determine the effect of sewage temperature in bioreactors on pollution discharges measured by the BOD<sub>5</sub>, COD and total nitrogen indexes. The research was carried out in a municipal sequential batch reactor (SBR) treatment plant. The discussed treatment plant is located in Książ Wielki commune in Miechów district in Lesser Poland voivodeship. Households from two villages: Książ Wielki and Wielka Wieś discharge their sewage into the analysed treatment plant. An average of  $100$  to  $110 \text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$  of sewage constituting nearly 50% of the designed hydraulic load of this object was discharged into the treatment plant during the study period. Temperature measurements and sewage sampling for physicochemical analyses were performed for 24 months in 2007 and 2008. Twenty four sewage samples were collected with a frequency of once per month. The lowest sewage temperature in the bioreactor during the study period was  $7.1^\circ\text{C}$ , whereas the highest temperature reached  $18.8^\circ\text{C}$ . Therefore, the sewage temperature amplitude in the bioreactor was  $11.7^\circ\text{C}$ . Low sewage temperature below  $10^\circ\text{C}$  occurred from December to April. Lower efficiency of neutralisation of the 3 analysed pollution indexes was observed in this period. The carried out research revealed average relationship between the sewage temperature in the bioreactor and values of oxygen indices: BOD<sub>5</sub> and COD. Based on the regression equation, it was found that with a  $1^\circ\text{C}$  increase of sewage temperature the values of BOD<sub>5</sub> decreased by  $0.64 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  and values of COD decreased by  $1.76 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . There is a high correlation between sewage temperature in the bioreactor and amount of total nitrogen in the sewage discharged from the discussed treatment plant. Together with  $1^\circ\text{C}$  increase of sewage temperature in the bioreactor amount of total nitrogen decreased by  $1.34 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Two oxygen indices included in evaluation of the discussed object operation - BOD<sub>5</sub> and COD – did not exceed the admissible values described in the water-law permission.*

**Key words:** sewage, sewage treatment, correlation, temperature

### WSTĘP

Temperatura ścieków to jeden z podstawowych czynników wpływających na procesy związane z usuwaniem związków węgla i azotu w oczyszczalniach ścieków, których technologia oparta jest na osadzie czynnym [Bugajski i Kaczor 2008; Barnard i in. 2000; Elmitwalli i in. 1999; Bojanowska i Pepliński 2002; Chmielowski i in. 2009]. W polskim ustawodawstwie temperatura minimalna dla

której proces nityfikacji może ulec znacznemu pogorszeniu (zmniejszeniu) wynosi  $12^{\circ}\text{C}$ . Temperatura ścieków w bioreaktorze poniżej tej granicy daje możliwość nie uwzględniania wielkości azotu w ściekach odpływających do oceny pracy obiektu [Dz. U. z dnia 31 lipca 2006r.], co często jest akceptowane w wydawanych pozwoleniach wodno-prawnych wydawanych dla oczyszczalni małych, gminnych oczyszczalni. Zapis ten ma na celu uchronienie właścicieli oczyszczalni od płacenia kar finansowych ze względu na zbyt wysokie stężenia zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych w okresie zimowym i wczesno wiosennym, kiedy to temperatura ścieków spada poniżej  $12^{\circ}\text{C}$ . Polska leży w klimacie umiarkowanym przejściowym pomiędzy klimatem umiarkowanym oceanicznym na zachodzie, a umiarkowanym kontynentalnym na wschodzie. Średnio roczne temperatury powietrza w Polsce wynoszą od 7 do  $8,5^{\circ}\text{C}$ . W tych warunkach klimatycznych przeprowadzone badania dotyczące temperatury ścieków wykazują, że w otwartych bioreaktorach temperatura ścieków spada do poziomu poniżej  $12^{\circ}\text{C}$  już w listopadzie i utrzymuje się poniżej tej wartości do kwietnia. Jest to okres od 100 do 120 dni w ciągu roku [Kaczor 2008]. Zatem można stwierdzić, iż w okresie blisko 1/3 roku ścieki z wielu oczyszczalni mogą odpływać nie w pełni oczyszczone, a tym samym zanieczyszczać środowisko gruntowo-wodne zgodnie z prawem. W wielu przypadkach można temu zapobiegać już na etapie projektowania oczyszczalni oraz później w okresie jej eksploatacji. Badania prowadzone nad zmianami temperatury ścieków dowodzą, iż w znacznym stopniu wpływ na temperaturę ścieków ma ich wyziębienie w otwartych zbiornikach (piaskownikach, osadnikach, bioreaktorach) oraz dopływ wód roztopowych [Brzezińska i Zawilski 2010]. Zatem można podejmować działania, które będą zapobiegać tym zjawiskom. Przewymiarowanie oczyszczalni powoduje dłuższe, niż to przewidziano w projekcie przetrzymanie ścieków w piaskownikach, osadnikach czy bioreaktorach [Bugajski i Bergel 2009; Heidrich i Kozak 2008, Kaczor i Bugajski 2008, Myszograj i Panek 2007]. Nielegalne podłączenia rynien dachowych oraz wpustów podwórzowych do kanalizacji sanitarnej powoduje dopływ wód roztopowych podczas roztopów śniegu, których temperatura sięga zaledwie kilka stopni powyżej  $0^{\circ}\text{C}$ . Takim przyczynom można przeciwdziałać. Po pierwsze na etapie projektowania oczyszczalni powinno się przyjmować faktyczne ilości powstających ścieków w gospodarstwach domowych, co będzie skutkowało doborem właściwych gabarytów urządzeń w oczyszczalni. W dalszej kolejności powinno się położyć większy nacisk na kontrolę nielegalnych przyłączy rynien dachowych, z których są odprowadzane wody opadowe i roztopowe, które nie tylko wpływają na obniżenie temperatury, ale też na większe koszty oczyszczania ze względu na zwiększone ilości dopływających ścieków. Działania, które zapobiegają zbyt dużemu obniżeniu temperatury ścieków w bioreaktorach w oczyszczalniach w długim okresie czasu przyczynią się do poprawy i ustabilizowania skuteczności unieszkodliwiania zanieczyszczeń, co w konsekwencji wpłynie na poprawę jakości wód i w szerszym znaczeniu poprawy stanu środowiska przyrodniczego w Polsce.

## CEL, METODYKA ORAZ ZAKRES BADAŃ

Celem badań było określenie wpływu temperatury ścieków w bioreaktorach w oczyszczalni działającej w układzie sekwencyjnym (SBR) na wielkość 3 wybranych wskaźników zanieczyszczeń. W analizie uwzględniono 2 wskaźniki z grupy tlenowej: BZT<sub>5</sub>, ChZT oraz jeden wskaźnik z grupy eutroficznej azot ogólny. Badania przeprowadzono w zbiorczej oczyszczalni ścieków zlokalizowanej w gminie Książ Wielki w powiecie miechowskim w województwie małopolskim.

Pomiar temperatury oraz pobór próbek ścieków do analiz fizykochemicznych wykonano w okresie 24 miesięcy w latach 2007 i 2008. Próbkę ścieków oczyszczonych pobierane były w regularnych odstępach czasu – raz na miesiąc. W trakcie poboru ścieków mierzono temperaturę ścieków w bioreaktorze. Analizy fizykochemiczne ścieków wykonano w Laboratorium Oceny Jakości Wody i Ścieków mieszczącym się na Wydziale Inżynierii Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Analizy zostały wykonane zgodnie z zalecanymi metodami referencyjnymi podanymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 24 lipca 2006r. [Dz. U. z dnia 31 lipca 2006r.].

## CHARAKTERYSTYKA OBSZARU I OBIEKTU BADAŃ

System kanalizacyjny w gminie Książ Wielki obejmuje swym zasięgiem dwie miejscowości: Książ Wielki oraz Wielką Wieś. Łączna długość sieci w tych dwóch miejscowościach wynosi 14200 m. Sieć kanalizacyjna wykonana jest w całości z PCV. Średnice kolektorów wynoszą od 250 do 350 mm. Obecnie z sieci kanalizacyjnej korzysta blisko 150 gospodarstw domowych. Ścieki dopływają do zbiorczej oczyszczalni typu SBR firmy BIOVAC zlokalizowanej w miejscowości Książ Wielki. Przepustowość projektowana oczyszczalni wynosi  $250 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Średnio-dobowy dopływ ścieków w trakcie badań oraz obecnie waha się od 100 do  $110 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , co wskazuje, iż przedmiotowa oczyszczalnia jest niedociążona hydraulicznie. Aczkolwiek w założeniu projektowym i wykonawczym kanalizacja służy wyłącznie do odbioru ścieków bytowych od mieszkańców zdarzają się większe dopływy podczas ulewnych deszczy oraz roztopów wiosennych, co świadczy o przedostawaniu się do kanalizacji wód opadowych z nielegalnych podłączeń rynien dachowych lub z napływu wód poprzez niewłaściwie wykonane włazy studzienek kanalizacyjnych. Ścieki z kanalizacji przepływają przez kratę workową do zbiornika retencyjnego, a następnie zostają przepompowane do 6 zamkniętych zbiorników (bioreaktorów) wykonanych z PE o pojemności  $15 \text{ m}^3$  każdy. Zbiorniki umieszczone są w budynku, który dodatkowo stabilizuje temperaturę ścieków w bioreaktorach w okresie zimowym. Dodatkowo do oczyszczalni dostarczane są taborem asenizacyjnym ścieki z wybieranych dołów gnilnych (szamb) z terenu gminy. Ścieki dowożone są do

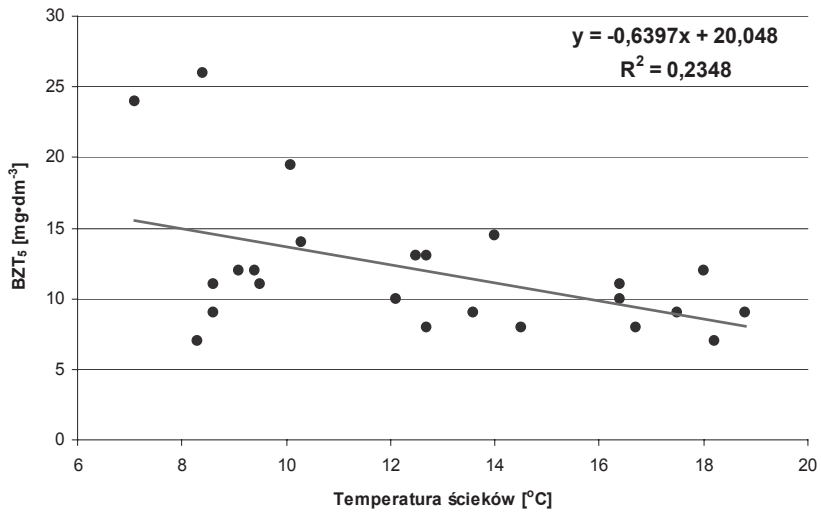
punktu zlewnego na terenie oczyszczalni, a następnie trafiają do zbiornika retencyjnego celem zmieszania ich z ze ściekami dopływającymi z kanalizacji, tak aby uśrednić stężenia zanieczyszczeń i nie zakłócać pracy mikroorganizmów osadu czynnego w bioreaktorach.

### ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Na podstawie wyników analiz fizykochemicznych dla 3 wskaźników: BZT<sub>5</sub>, ChZT oraz azotu ogólnego w ściekach odpływających (oczyszczonych) z oczyszczalni oraz zmierzonej temperatury ścieków w bioreaktorach określono zależność (korelację) tych wskaźników od temperatury. W analizie statystycznej przyjęto zakresy współczynnika korelacji wg Stanisza [1998]. Natomiast na podstawie równań opisujących linie regresji określono jednostkowy zakres zmian wielkości stężeń analizowanych wskaźników pod wpływem zmiany temperatury ścieków.

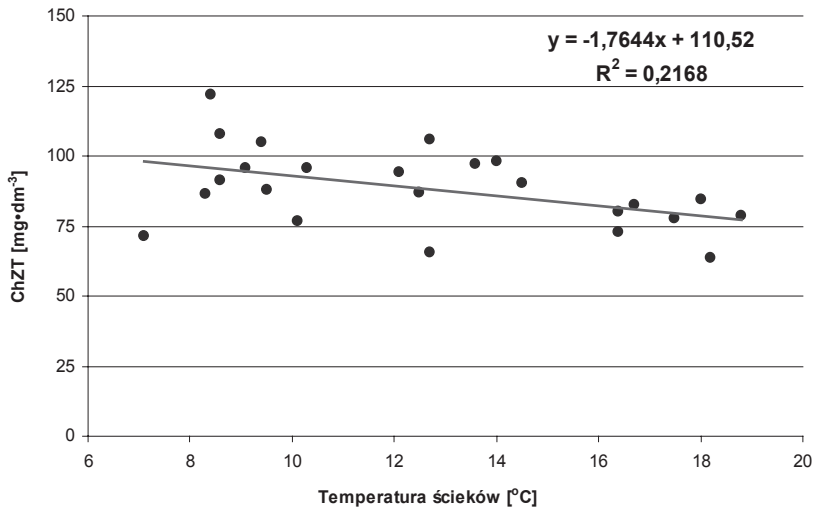
W odniesieniu do pierwszego ze wskaźników tlenowych BZT<sub>5</sub> stwierdzono, iż korelacja pomiędzy temperaturą ścieków w bioreaktorze, a stężeniem tego wskaźnika w ściekach odpływających wynosi  $r_{xy} = -0,48$ . W zaproponowanej przez Stanisza [1998] skali określa się ten poziom korelacji jako przeciętny. W analizowanym przypadku korelacja jest istotna statystycznie na poziomie  $\alpha=0,05$ . Wartość testu  $t=0,0164$ . Z równania opisującego linię regresji przedstawionej na rysunku 1 można stwierdzić, że w raz ze wzrostem temperatury ścieków w bioreaktorze o 1°C maleje stężenie BZT<sub>5</sub> o 0,64 mg·dm<sup>-3</sup>. W pozwoleniu wodno prawnym-wydanym dla przedmiotowej oczyszczalni ścieków określono maksymalną dopuszczalną wartość omawianego parametru na 40 mg·dm<sup>-3</sup>. W okresie 24 miesięcznych badań nie stwierdzono przekroczenia tej wartości, a wartość maksymalna, jaka pojawiła się w ściekach odpływających, wyniosła 26,0 mg·dm<sup>-3</sup>.

W przypadku drugiego analizowanego wskaźnika tlenowego ChZT określono korelację pomiędzy temperaturą ścieków, a wielkością ChZT w ściekach oczyszczonych na poziomie przeciętnym  $r_{xy} = -0,47$ . W analizowanym przypadku korelacja jest istotna statystycznie na poziomie  $\alpha=0,05$ . Wartość testu  $t=0,0218$ . Przedstawiona na rysunku 2 linia regresji oraz opisujące ją równanie oznacza, iż wraz ze wzrostem temperatury ścieków w bioreaktorze o 1°C następuje spadek wartości ChZT w ściekach odpływających o 1,76 mg·dm<sup>-3</sup>. Również i w tym przypadku nie stwierdzono przypadków przekroczenia wartości dopuszczalnej, która wynosi 150 mg·dm<sup>-3</sup>. Najwyższą wartością jaką odnotowano była wartość 122 mg·dm<sup>-3</sup>.



Rys. 1. Zależność BZT<sub>5</sub> w ściekach oczyszczonych od temperatury ścieków w bioreaktorze

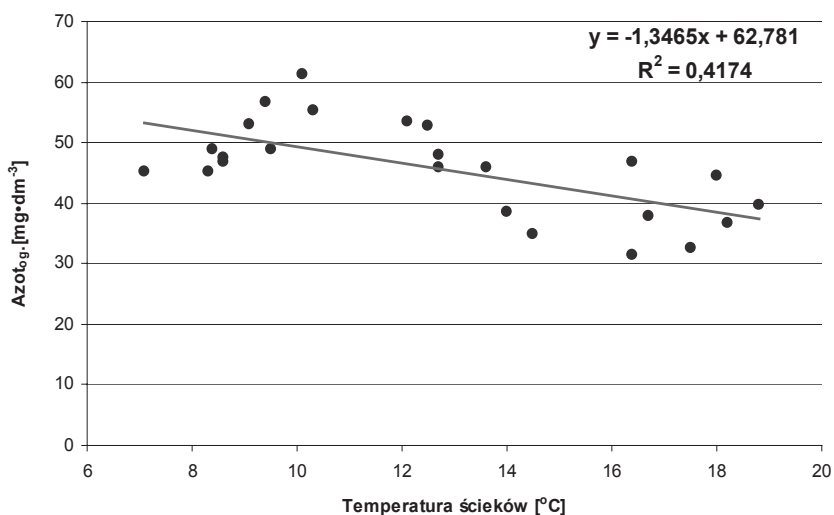
Figure 1. Relationship of BOD<sub>5</sub> in the treated sewage and sewage temperature in bioreactor



Rysunek 2. Zależność ChZT w ściekach oczyszczonych od temperatury ścieków w bioreaktorze

Figure 2. Relationship of COD in the treated sewage and sewage temperature in bioreactor

Zdecydowanie większe, niż to miało miejsce w przypadku dwóch poprzednich wskaźników stwierdzono oddziaływanie temperatury ścieków w bioreaktorze na wielkość azotu ogólnego w ściekach odpływających, na co wskazuje obliczona korelacja pomiędzy tymi zmiennymi  $r_{xy} = -0,65$ . Wg przyjętej skali wg Stanisza [1998] jest to korelacja na poziomie wysokim. Również w tym analizowanym przypadku korelacja jest istotna statystycznie na poziomie  $\alpha=0,05$ . Wartość testu  $t=0,0006$ . Z równania opisującego przebieg prostej regresji przedstawionej na rysunku 3 można odczytać, że wraz ze zwiększającą się temperaturą ścieków w bioreaktorze o  $1^{\circ}\text{C}$  maleje stężenie azotu ogólnego o  $1,34 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Wielkości azotu ogólnego nie są brane pod uwagę przy ocenie pracy obiektu, ponieważ wg pozwolenia wodno-prawnego wydanego przez Starostę miechowskiego nie uwzględnia się tego parametru. Jednak mając na uwadze fakt, iż związki azotu wpływają na zwiększoną eutrofizację pobliskiego cieką, który jest odbiornikiem ścieków z badanej oczyszczalni uwzględniono ten wskaźnik w prowadzonych badaniach.



**Rys. 3.** Zależność azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych od temperatury ścieków w bioreaktorze.

**Figure 3.** Relationship of total nitrogen in the treated sewage and sewage temperature in bioreactor.

W okresie prowadzonych badań najniższa odnotowana temperatura ścieków w bioreaktorze wynosiła  $7,1^{\circ}\text{C}$ , natomiast najwyższa  $18,8^{\circ}\text{C}$ . Zatem w badanym okresie amplituda temperatury ścieków w bioreaktorze wynosiła  $11,7^{\circ}\text{C}$ . Niska temperatura ścieków nie przekraczająca  $10^{\circ}\text{C}$  występowała

w okresie od grudnia do kwietnia i w tym okresie w większości przypadków stwierdzono mniejszą sprawność unieszkodliwiania 3 analizowanych wskaźników zanieczyszczeń.

W pobieranych próbkach ścieków uwzględniono dodatkowo dwa wskaźniki zanieczyszczeń: zawiesinę ogólną oraz fosfor ogólny. Jednak nie stwierdzono zależności pomiędzy temperaturą ścieków w bioreaktorze, a wielością tych parametrów w ściekach odpływających.

## PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników badań dotyczących wpływu temperatury ścieków na wielkości redukcji zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych w oczyszczalni z sekwencyjnym bioreaktorem stwierdzono zależność pomiędzy temperaturą ścieków w bioreaktorze a wielością BZT<sub>5</sub> w ściekach odpływających z oczyszczalni. Wraz ze wzrostem temperatury ścieków w bioreaktorze o 1°C malała wielkość BZT<sub>5</sub> w ściekach odpływających o 0,64 mg·dm<sup>-3</sup>. Również w przypadku ChZT stwierdzono zależność pomiędzy temperaturą ścieków w bioreaktorze a wielością tego parametru w ściekach odpływających z oczyszczalni. Wraz ze wzrostem temperatury ścieków w bioreaktorze o 1°C malała wielkość ChZT w ściekach odpływających o 1,76 mg·dm<sup>-3</sup>. Istnieje natomiast wysoka korelacja pomiędzy temperaturą ścieków w bioreaktorze a wielością azotu ogólnego w ściekach odprowadzanych z przedmiotowej oczyszczalni. Wraz ze wzrostem temperatury ścieków w bioreaktorze o 1°C zmniejszała się wielkość azotu ogólnego o 1,34 mg·dm<sup>-3</sup>. W analizowanych przypadkach wszystkie korelacje są istotne statystycznie na poziomie  $\alpha = 0,05$ . W odniesieniu do dwóch wskaźników tlenowych BZT<sub>5</sub> i ChZT, które są uwzględniane w ocenie funkcjonowania obiektu nie stwierdzono przekroczeń wartości dopuszczalnych, określonych w pozwoleniu wodno-prawnym.

## BIBLIOGRAFIA

- Barnard J. i in. *Projektowanie oczyszczalni z osadem czynnym usuwających związki biogenne*. Materiały seminarium szkoleniowego „Filozofia projektowania a eksploatacja oczyszczalni ścieków” LEM PROJEKT s.c. Kraków 2000 r., s. 13–69.
- Bojanowska I., Pepliński M. *Optymalizacja pracy oczyszczalni ścieków w Tczewie w zakresie usuwania biogenów i związków węgla*. Ochrona Środowiska nr 3/2002, s. 31–36.
- Brzezińska A., Zawilski M. *Dynamiczne modelowanie procesu biologicznego oczyszczania ścieków ogólnospławnych na przykładzie Łodzi*. Ochrona Środowiska 3/2010, s. 21–26.
- Bugajski P., Bergel T. *Niedociążenia hydrauliczne przydomowych oczyszczalni ścieków*. Infstarktura i Ekologia Terenów Wiejskich 5/2009, s. 147–154.
- Bugajski P., Kaczor G. *Ocena działania wybranych przydomowych oczyszczalni w warunkach zimowych i letnich*. Przemysł Chemiczny 5/2008, s. 424–426.



- Chmielowski K., Wałęga A., Miernik W. Wpływ temperatury powietrza na temperaturę ścieków w przydomowych oczyszczalniach z filtrem piaskowym o przepływie pionowym. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 2009/ 6, s. 57–65.
- Elmitwalli TA, Zandvoort M, Zeeman G, Bruning H, Lettinga G. Low temperature treatment of domestic sewage in upflow anaerobic sludge blanket and anaerobic hybrid reactors. *Water Sci. Technol.* 1999; 39(5): 177–85.
- Heidrich Z., Kozak T. Ocena wykorzystania przepustowości istniejących miejskich oczyszczalni ścieków w Polsce. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 12/2008, s. 16–19.
- Kaczor G. Wpływ temperatury powietrza na temperaturę ścieków w kanalizacji i reaktorze biologicznym. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 3/2008, s. 129–137.
- Kaczor G., Bugajski P. Evaluation of a BIOCOMPACT sewage treatment plant operating under low hydraulic loading conditions. *Environment Protection Engineering* 3/2008, s. 53–58.
- Myszograj S., Panek E. Bilansowanie ilości ścieków dopływających do oczyszczalni. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 5/2007, s. 9–12.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 24 lipca 2006r 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 dnia 31 lipca 2006r).
- Stanisz A. *Przystępny kurs statystyki*. Tom 1. Wydawnictwo StatSoft Polska Sp. z o.o. Kraków 1998.

Dr inż. Piotr Bugajski  
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

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