



ZMIENNOŚĆ TEMPERATURY ŚCIEKÓW W MAŁYCH SYSTEMACH KANALIZACYJNYCH

Piotr Bugajski

Uniwersytet Rolniczy im. H. Kollątaja w Krakowie

THE VARIABILITY OF SEWAGE TEMPERATURE IN SMALL SEWER SYSTEMS

Streszczenie

Badania miały na celu określenie zmienności oraz zakresu temperatury ścieków w bioreaktorach z osadem czynnym na przykładzie dwóch wiejskich systemów kanalizacyjnych. Dodatkowym celem było określenie wpływu temperatury ścieków w kanalizacji oraz temperatury powietrza atmosferycznego na temperaturę ścieków w otwartych, przepływowych bioreaktorach biologicznych. Badania prowadzono w okresie od stycznia do grudnia 2011 roku. Aby wykazać wpływ opisanych czynników na temperaturę ścieków w bioreaktorze posłużono się statystyczną analizą regresji wielokrotnej. Badania prowadzono w dwóch małych systemach kanalizacyjnych zlokalizowanych na terenie gmin wiejskich w Nowym Brzesku oraz Spytkowicach. Oba systemy zaliczane są do grupy obiektów nieprzekraczających 2000 RLM. Na podstawie rocznych badań stwierdzono, że średnia roczna temperatura ścieków w bioreaktorach przepływowych stanowiących część biologiczną małych oczyszczalni oscyluje w granicach 12,6÷12,7°C, natomiast jej zakres wynosi od 5,6°C do 19,2°C. Ścieki w małych, wiejskich oczyszczalniach mają temperaturę nieprzekraczającą 10,0°C w okresie około 1/3 roku, co świadczy o ich permanentnym wychłodzeniu. Wielkość temperatury ścieków w małych systemach kanalizacyjnych występuje w dużo większym zakresie w porównaniu do ścieków w dużych, miejskich systemach odprowadzających ścieki. Ponadto wpływ na temperaturę ścieków w bioreaktorach ma w bardzo dużym stopniu temperatura ścieków dopływających z kanalizacji oraz w mniejszym, ale również znaczącym temperatura zewnętrzna powietrza atmosferycznego. Aby ograniczyć nadmierne wychładzanie ścieków w wiejskich systemach kanalizacyjnych powinno się uniemożliwiać dopływy do kanalizacji wód roztopowych i deszczowych. W małych oczyszczalniach, w których występują duże wahania temperatury powinno się stosować zmienny wiek osadu w zależności od

temperatury ścieków, czego skutkiem będzie poprawa skuteczności oczyszczania ścieków.

Słowa kluczowe: temperatura ścieków, małe systemy kanalizacyjne, korelacja cząstkowa

Summary

The aim of the research was defining size and range temperature of the sewage in two small, villages sewage systems. Additionally aim was to defining influence temperature of the sewage flow from sewage system and the temperature of the atmospheric air on temperature sewage in open biological reactors of flow. The research embraced the period of 12 months from January to December the year 2011. To describe this relationship used of the multiple regression of analysis. The research performed in two small sewage systems situated on the village-commune in Nowe Brzesko and Spytkowice. Sewage systems are included in the 2000 PE (Population Equivalents). In the year period of research ascertained, that average temperature in year in small biological reactors to vary from 12,6÷12,7°C, however its range is from 5,6°C to 19,2°C. Temperature of sewage in small, villages sewage systems does not exceed 10,0°C in period ½ year, as indicated by the permanent cooling down. Size of sewage temperature in small sewage systems is to a much greater extent than to sewage in large, urban sewage systems. Further, the temperature of the sewage in the bioreactor has a very large extent the temperature of the influent sewage and to a lesser, but significant outdoor air temperature. To reduce the excessive cooling of sewage in villages sewage systems should prevent the inflow of water into drains snowmelt and water rain. For small treatment plants, in which there are wide variations in temperature must be used in sludge age variable depending on the temperature of sewage, resulting in improved efficiency of wastewater treatment.

Key words: sewage temperature, small sewage systems, partial correlation

WSTĘP

Temperatura ścieków w bioreaktorze biologicznym z osadem czynnym to jeden z podstawowych czynników wpływających na skuteczność oczyszczania (Jóźwiakowski 2012, Krzanowski i Wałęga 2009, Buraczewski 1994, Henze i in. 2002). Optymalna temperatura ścieków w bioreaktorze dla prawidłowego przebiegu procesów metabolicznych bakterii psychofilnych zawiera się w przedziale od 12 do 20°C, natomiast dla bakterii mezofilnych od 25 do 40°C (Dworkin i in. 1991). Wpływ temperatury ścieków na skuteczność działania bioreaktorów z osadem czynnym odnosi się zarówno do związków węgla organicznego określanych jako BZT₅, jak też do związków eutroficznych tj. azot i fosfor. Kowalik (1996) określa, że minimalna temperatura ścieków w bioreaktorze, przy której proces nityfikacji zachodzi prawidłowo wynosi 12°C. Jak stwierdza Arnold i in.

(2000) w przypadku obniżenia się temperatury ścieków poniżej 10°C następuje spadek nitryfikacji nawet o 70% w porównaniu do temperatury 20°C. Na podstawie badań opisanych przez Buraczewskiego (1994) dotyczących aktywności organizmów osadu czynnego stwierdza się, że temperatura ścieków poniżej 10°C określana jest, jako dolna granica, poniżej której efektywność oczyszczania drastycznie się obniża. Jak stwierdza Dymaczewski i in. (2011) w temperaturze 20°C względna aktywność osadu czynnego wynosi około 60÷70% w odniesieniu do aktywności maksymalnej, natomiast w temperaturze ścieków 10°C wynosi 25%. Temperatura ścieków poniżej 5°C skutkuje całkowitym zatrzymaniem intensywności nitryfikacji w wyniku zahamowania wzrostu bakterii nitrosomonas i nitrobacter (Dymaczewski i in. 2011). Optymalna temperatura ścieków dla przebiegu procesu nitryfikacji, jak podaje Buraczewski (1994) waha się w granicach 25÷28°C. Procesy biologiczne związane z usuwaniem ze ścieków związków fosforu są mniej wrażliwe na zmiany temperatury. Ma to związek z metabolizmem bakterii psychrofilowych, odpowiedzialnych za redukcję fosforu ze ścieków, rozwijających się w temperaturach niższych od innych organizmów związanych np. z obniżeniem BZT (Barnard, 2000). Doniesienia literaturowe wskazują także, że temperatura ścieków wpływa na skuteczność usuwania związków węgla organicznego wyrażonego jako BZT₅ (Matyja 2002)]. Temperatura ścieków, przy której zachodzi efektywnie proces usuwania związków węgla organicznego, wynosi 20°C. W warunkach klimatycznych Polski taka temperatura jest praktycznie nieosiągalna z wyjątkiem krótkiego okresu na przełomie lipca i sierpnia (Kaczor 2008, Bugajski 2012). W oczyszczalniach z rektorami biologicznymi z osadem czynnym obserwuje się znaczny spadek skuteczności usuwania BZT w okresie zimowym, gdy temperatura ścieków oscyluje w granicach 10÷12°C (Barnard, 2000; Bojanowska i Pepliński, 2002).

W dużych, miejskich systemach kanalizacyjnych nie zaobserwowano, aby temperatura ścieków obniżała się poniżej 10,0°C oraz wzrastała powyżej 20,0°C (Buraczewski 1994, Heidrich 2004, Brzezińska 2011). W przypadku małych, wiejskich systemów kanalizacyjnych ze względu na skąpość danych przy projektowaniu procesów technologicznych w oczyszczalniach przyjmuje się podobny zakres danych, jak w dużych, miejskich systemach kanalizacyjnych a jest to niewłaściwe. Ze względu na odmienną specyfikę małe systemy na terenach wiejskich powinny być objęte szerszym monitoringiem i na podstawie uzyskanych danych dopracowywać technologię oczyszczania małej ilości ścieków. W tego typu systemach zakres temperatury ścieków w kanalizacji jest większy w porównaniu z systemami dużymi, a dodatkowo na wychładzanie ścieków wpływają wody roztopowe przedostające się do kanalizacji poprzez nielegalne podłączenia rynien dachowych do kanalizacji (Kaczor 2012).

CEL, METODYKA ORAZ ZAKRES BADAŃ

Celem badań było określenie zmienności oraz zakresu temperatury ścieków w bioreaktorach z osadem czynnym na przykładzie dwóch wiejskich systemów kanalizacyjnych. Ponadto określono wpływ dwóch zmiennych niezależnych tj. temperatury ścieków w kanalizacji oraz temperatury powietrza atmosferycznego na zmienną zależną, jaką jest temperatura ścieków w otwartych, przepływowych bioreaktorach biologicznych.

Badania prowadzono w okresie od stycznia do grudnia 2011 roku. Aby wykazać wpływ opisanych czynników na temperaturę ścieków w bioreaktorze posłużono się statystyczną analizą regresji wielokrotnej. W analizie statystycznej, przy określaniu siły badanych związków, posłużono się skalą wg Stanisza (1998).

Pomiar temperatury ścieków w kanalizacji oraz w bioreaktorze wykonano za pomocą elektronicznych czujników temperatury z wbudowanym rejestratorem danych typu Nautilus 85 firmy ACR. Czujniki Nautilus 85 posiadają obudowę ze stali nierdzewnej, co umożliwia stały pomiar temperatury ścieków bezpośrednio w kolektorze. Zakres pomiarowy czujnika zawiera się w przedziale od -40 do $+85^{\circ}\text{C}$, z dokładnością pomiaru $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Czujnik posiada własne źródło zasilania i wbudowaną pamięć 32kB, która umożliwia archiwizowanie danych z okresu rocznego, przy interwale próbkowania, co 15 minut. Czujniki umieszczono w kinecie studzienki kanalizacyjnej przed oczyszczalnią i w komorze bioreaktora. Dodatkowo na terenie jednego systemu kanalizacyjnego został zainstalowany czujnik z rejestratorem do ciągłego pomiaru temperatury powietrza atmosferycznego typu Smartbutton firmy ACR. Rejestrator ten ma zakres pomiarowy od -40 do $+85^{\circ}\text{C}$, z dokładnością pomiaru do $0,2^{\circ}\text{C}$. Czujnik posiada własne zasilanie w energię oraz wbudowaną pamięć, która umożliwia archiwizowanie danych z około 3 miesięcy, przy interwale próbkowania co 60 minut. Temperaturę ścieków w kanalizacji i w bioreaktorze mierzono w sposób ciągły z interwałem 0,5 godzinnym (48 pomiarów w ciągu doby), a temperaturę powietrza atmosferycznego z interwałem 1 godzinnym (24 pomiary w ciągu doby). Wszystkie użyte czujniki przed rozpoczęciem badań wytarowano.

CHARAKTERYSTYKA ANALIZOWANYCH SYSTEMÓW KANALIZACYJNYCH

Do badań wytypowano dwa małe, wiejskie systemy kanalizacyjne zaliczane do grupy obiektów nieprzekraczających 2000 RLM. Analizowana sieć kanalizacyjna wykonana jest z PCV o średnicach \varnothing od 0,2 m do 0,315 m.

System kanalizacyjny w miejscowości Nowe Brzesko obejmuje swym zasięgiem część sołectwa. Długość sieci kanalizacyjnej wynosi 4900 m. Do kanalizacji podłączone jest aktualnie 250 budynków. Zakładana w projekcie RLM

wynosi 1400 M. Ścieki dopływają do oczyszczalni ścieków, której projekt oparty jest na indywidualnym rozwiązaniu technologicznym. Projektowa przepustowość hydrauliczna oczyszczalni wynosi $275 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W okresie badań do obiektu dopływało średnio $110 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W układ technologiczny oczyszczalni wchodzi krata gęsta, piaskownik z separatorem tłuszczu i olei oraz radialny bioreaktor wraz z wbudowanym centralnie osadnikiem wtórnym.

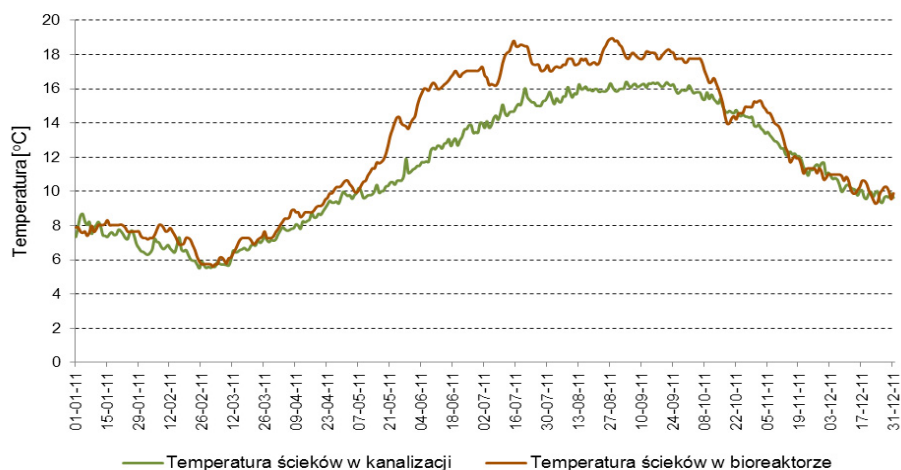
System kanalizacyjny w Spytkowicach obejmuje swym zasięgiem około 2900 metrów sieci kanalizacyjnej wraz ze zbiorczą oczyszczalnią ścieków. Zakładana w projekcie RLM wynosi 1500 M. Oczyszczalnia ścieków w części mechanicznej posiada kratę koszową oraz piaskownik, natomiast w części biologicznej dwa radialne bioreaktory przepływowe o średnicy 6 m i wysokości 5,5 metra częściowo wyniesione nad powierzchnię terenu. Bioreaktory mają łącznie przepustowość $300 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, w okresie badań średnio dopływało do nich przeciętnie $100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ścieków.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Na terenie analizowanych systemów kanalizacyjnych w roku 2011 średnia roczna temperatura powietrza atmosferycznego wyniosła $8,6^\circ\text{C}$. Minimalną średnią dobową temperaturę powietrza wynoszącą $-11,6^\circ\text{C}$ odnotowano w styczniu, natomiast maksymalną wynoszącą $24,5^\circ\text{C}$ odnotowano w sierpniu. Średnia roczna temperatura ścieków dopływających kolektorem kanalizacyjnym w obu systemach była zbliżona do siebie i wyniosła w Nowym Brzesku $11,4^\circ\text{C}$, a w Spytkowicach $10,5^\circ\text{C}$. W badanych systemach kanalizacyjnych minimalna średnia dobową temperaturę ścieków w kanalizacji wyniosła $5,5^\circ\text{C}$ w Nowym Brzesku i $6,4^\circ\text{C}$ w Spytkowicach. Natomiast maksymalna temperatura ścieków w kanalizacji wyniosła $16,4^\circ\text{C}$ w Nowym Brzesku oraz $15,0^\circ\text{C}$ w Spytkowicach. Amplituda roczna średniej dobowej temperatury ścieków dopływających wyniosła $10,9^\circ\text{C}$ w Nowym Brzesku i $8,6^\circ\text{C}$ w Spytkowicach. Zmiany średnio dobowych temperatur ścieków w kanalizacji oraz bioreaktorach przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

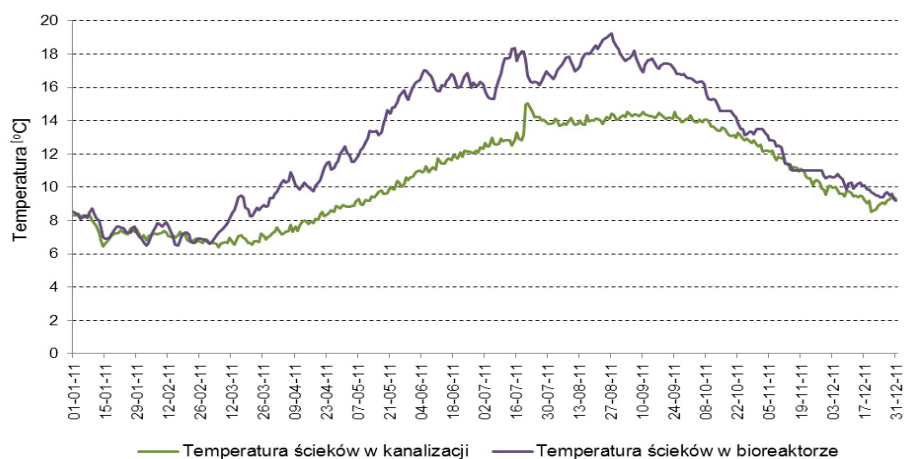
Na podstawie danych z obu systemów kanalizacyjnych, obejmujących średnie dobowe temperatury ścieków w kanalizacji oraz średnie dobowe temperatury powietrza atmosferycznego wykonano statystyczną analizę korelacji cząstkowej, której celem było zbadanie wielkości wpływu tych dwóch zmiennych niezależnych na temperaturę ścieków w bioreaktorach. W systemie kanalizacyjnym w Nowym Brzesku na podstawie wyników analizy korelacji stwierdzono, iż większy wpływ na temperaturę ścieków w bioreaktorze miała temperatura ścieków dopływających z kanalizacji ($R_c=0,96$), niż temperatura

powietrza ($R_c=0,68$). Na podstawie przyjętej skali wg Stanisza [1998] zależność temperatury ścieków w analizowanym bioreaktorze od temperatury ścieków dopływających była na poziomie prawie pewnym, natomiast wpływ temperatury powietrza atmosferycznego na temperaturę ścieków w bioreaktorze był na poziomie wysokim. Istotność obliczonych współczynników korelacji potwierdzono testem t-Studenta na poziomie istotności $\alpha=0,05$. W obydwu przypadkach stwierdzono istotność badanych zależności. Podobną analizę wpływu na zmienną zależną, jaką jest temperatura ścieków w bioreaktorze od zmiennych niezależnych, czyli temperatury ścieków dopływających i temperatury powietrza wykonano w systemie kanalizacyjnym w Spytkowicach. W analizowanym systemie kanalizacyjnym podobnie, jak to miało miejsce w poprzednim przypadku stwierdzono wysoki wpływ temperatury ścieków dopływających z kanalizacji na temperaturę ścieków w bioreaktorze. Współczynnik korelacji R_c wyniósł 0,93, co oznacza zależność prawie pewną. Natomiast w odniesieniu do analizowanego systemu kanalizacyjnego stwierdzono wyższy, niż poprzednio wpływ temperatury powietrza atmosferycznego na temperaturę ścieków w bioreaktorze. Obliczona zależność R_c tych dwóch zmiennych wyniosła 0,87, co oznacza korelację na poziomie bardzo wysokim. Również i w tym przypadku istotność obliczonych współczynników potwierdzono testem t-Studenta na poziomie istotności $\alpha=0,05$.



Rysunek 1. Zakres temperatury ścieków w kanalizacji i bioreaktorze w Nowym Brzesku w roku 2011

Figure 1. The variability of sewage temperature in sewers and bioreactor in Nowe Brzesko in year 2011

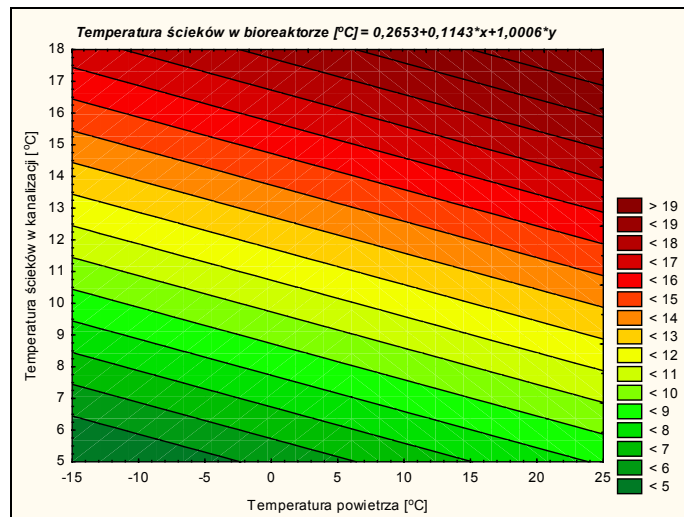


Rysunek 2. Zakres temperatury ścieków w kanalizacji i bioreaktorze w Spytkowicach w roku 2011

Figure 2. The variability of sewage temperature in sewers and bioreactor in Spytkowice in year 2011

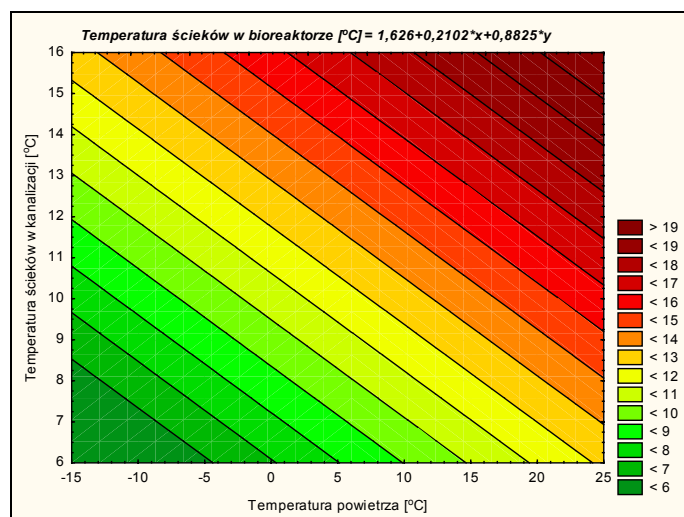
W analizowanych systemach kanalizacyjnych w Nowym Brzesku oraz w Spytkowicach wpływ temperatury ścieków dopływających był praktycznie na tym samym, bardzo wysokim poziomie. Różnicę zależności odnotowano natomiast w korelacji pomiędzy temperaturą ścieków w bioreaktorze a temperaturą powietrza atmosferycznego. W Nowym Brzesku zależność ta była na mniejszym poziomie niż w przypadku Spytkowic. Zjawisko to należy tłumaczyć tym, że bioreaktor w oczyszczalni w Nowym Brzesku jest umieszczony całkowicie pod powierzchnią terenu, natomiast bioreaktor w oczyszczalni w Spytkowicach jest częściowo wyniesiony ponad poziom terenu. Analiza wpływu temperatury ścieków powietrza atmosferycznego na temperaturę ścieków w otwartym, przepływowym bioreaktorze wykazała, iż umieszczenie urządzenia pod powierzchnią terenu dodatkowo go izoluje. Natomiast usytuowanie bioreaktora nad terenem powoduje, że temperatura powietrza oprócz oddziaływania na powierzchnię ścieków ma wpływ na ściany żelbetowe urządzenia a tym samym na ścieki.

Dla analizowanych bioreaktorów na podstawie wyników korelacji cząstkowej opracowano nomogramy przedstawione na rysunkach 3 i 4, które mogą służyć do przewidzenia wielkości temperatury ścieków w bioreaktorze na podstawie temperatury ścieków w kanalizacji (oś rzędnych) i temperatury powietrza atmosferycznego (oś odciętych).



Rysunek 3. Nomogram dla prognozowania temperatury ścieków w bioreaktorze na podstawie temperatury powietrza oraz temperatury ścieków dopływających w Nowym Brzesku

Figure 3. Nomogram for predicting the sewage temperature in a bioreactor based on the air temperature and the temperature of sewage flowing in Nowe Brzesko



Rysunek 4. Nomogram dla prognozowania temperatury ścieków w bioreaktorze na podstawie temperatury powietrza oraz temperatury ścieków dopływających w Spytkowicach

Figure 4. Nomogram for predicting the sewage temperature in a bioreactor based on the air temperature and the temperature of sewage flowing in Spytkowice

Najistotniejszym aspektem badań było określenie czasu trwania temperatury ścieków w bioreaktorach poniżej $10,0^{\circ}\text{C}$, poniżej której metabolizm organizmów osadu czynnego ulega znacznemu spowolnieniu, co przekłada się na mniejszą skuteczność oczyszczania ścieków.

Temperatura średnia dobową ścieków w bioreaktorze w Nowym Brzesku poniżej $10,0^{\circ}\text{C}$ występowała w 127 okresach dobowych, natomiast w bioreaktorze w Spytkowicach w 112 okresach dobowych w roku 2011. Można, zatem stwierdzić, iż ścieki w analizowanych bioreaktorach są w stanie permanentnego wychłodzenia w okresie $\frac{1}{3}$ roku. Okres, w którym średnio dobową temperaturą ścieków obniża się do poziomu poniżej $10,0^{\circ}\text{C}$ występuje od połowy grudnia do połowy kwietnia. Wskazane jest, zatem umieszczanie bioreaktorów pod powierzchnią terenu w celu lepszej izolacji termicznej szczególnie w okresie zimowym i wczesno wiosennym, kiedy temperatura ścieków obniża się poniżej $10,0^{\circ}\text{C}$ i osiąga bardzo niskie wielkości oscylujące w granicach $5,0\pm 6,0^{\circ}\text{C}$. Mając jednakże na względzie, iż zasadniczy wpływ na temperaturę ścieków w bioreaktorach ma wpływ temperatura ścieków dopływających nieuzasadnione jest umieszczanie bioreaktorów w budynkach technologicznych. Wykonanie budynku będzie skutkowało podrożeniem kosztów inwestycyjnych oraz w kosztów eksploatacyjnych, gdyż samo umieszczenie bioreaktora w nim bez ogrzewania mijają się z celem. Koszty ogrzewania z oczywistych względów wpłyną na koszty oczyszczania ścieków, które poniosą mieszkańcy korzystający z kanalizacji. Zasadniczy wpływ na temperaturę ścieków w bioreaktorze ma temperatura powietrza, gdy bioreaktor będzie niedociążony hydraulicznie, co skutkuje długim czasem przebywania ścieków w nim (Bugajski 2013). Lepszym rozwiązaniem w celu poprawy skuteczności oczyszczania jest stosowanie zmiennego (dynamicznego) wieku osadu. Aktualnie w małych oczyszczalniach ścieków stosuje się stały wiek osadu w całym roku. Mając dane dotyczące wielkości oraz czasu trwania temperatury ścieków w bioreaktorach małych oczyszczalni można stosować wydłużenie wieku osadu w okresie występowania niskich temperatur i krótszy wiek osadu w czasie, gdy temperatura ścieków osiąga wyższe wartości. Projektanci małych systemów kanalizacyjnych posługują się danymi dotyczącymi dużych systemów, gdyż małe, wiejskie systemy najczęściej nie są opomiarowane. Niniejsze dane obrazują, iż temperatura ścieków w małych systemach kanalizacyjnych oscyluje w nieco innym zakresie w porównaniu do dużych, miejskich systemów. Informacje zawarte w niniejszym artykule mogą się przyczynić do poprawy skuteczności oczyszczania ścieków w małych oczyszczalniach poprzez weryfikację wieku osadu, jako podstawowego parametru technologicznego bioreaktorów.

WNIOSKI

1. Średnia roczna temperatura ścieków w bioreaktorach przepływowych stanowiących część biologiczną małych oczyszczalni wahała się w granicach 12,6÷12,7°C.
2. Temperatura średnia dobową ścieków w analizowanych bioreaktorach wahała się od 5,6°C do 19,2°C.
3. Ścieki w małych, wiejskich oczyszczalniach mają temperaturę nieprzekraczającą 10,0°C w okresie około 1/3 roku, co świadczy o ich permanentnym wychłodzeniu.
4. Wpływ na temperaturę ścieków w bioreaktorach ma w bardzo dużym stopniu temperatura ścieków dopływających z kanalizacji.
5. Na temperaturę ścieków w bioreaktorach ma również wpływ temperatura zewnętrzna powietrza, lecz w mniejszym stopniu jak temperatura ścieków dopływających.

BIBLIOGRAFIA

- Arnold E., Bohm B., Wilderem P.A. (2000). *Application of activated sludge and biofilm sequencing bath reactor technology to treat reject water from sludge dewatering systems: a comparison*. *Water Science and Technology*, 41(1), 115-122.
- Barnard J. (2000). *Projektowanie oczyszczalni z osadem czynnym usuwających związki biogenne*. Materiały seminarium szkoleniowego „Filozofia projektowania a eksploatacja oczyszczalni ścieków” LEM PROJEKT s.c. Kraków, 13-61.
- Bojanowska I., Pepliński M. (2002). *Optymalizacja pracy oczyszczalni ścieków w Tczewie w zakresie usuwania biogenów i związków węgla*. *Ochrona Środowiska* 3, 31-36.
- Bugajski P. (2012). *Zmienność temperatury ścieków w tranzytowym kolektorze kanalizacyjnym*. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2, 53-55.
- Bugajski P. (2013). *Zmienność i zakres temperatury ścieków w niedociążonych hydraulicznie bioreaktorach przepływowych*. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2, 2-4.
- Buraczewski G. (1994). *Biotechnologia osadu czynnego*. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Brzezińska A. (2011). *Zmiany temperatury ścieków ogólnospławnych na podstawie pomiarów online*. *Inżynieria Ekologiczna* 26, 290-302.
- Dworkin M., Falkow S., Rosenberg E., Schleifer K.H., Stackebrandt E. *The Prokaryotes - A handbook on the biology of bacteria*, 3rd edition, v. 3. Springer.
- Dymaczewski i in. (2011). *Poradnik Eksploatatora Oczyszczalni Ścieków*. Poznań. PZITS o/Wielkopolski.
- Heidrich Z. (2004). *Kanalizacja – część 2*. Warszawa. Wydawnictwo WSiP.
- Henze M., Harremoës P., Arvin E., (2002). *Wastewater treatment – Biological and Chemical process -third edition*. Berlin Heidelberg. Springer-Verlag.
- Jóźwiakowski K. (2012). *Badania skuteczności oczyszczania ścieków w wybranych systemach gruntowo-roślinnych*. Kraków. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 1/2012.
- Kaczor G. (2008). *Wpływ temperatury powietrza na temperaturę ścieków w kanalizacji i reaktorze biologicznym*. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 3, 129-137.

- Kaczor G. (2012). *Wpływ wód infiltracyjnych i przypadkowych na funkcjonowanie małych systemów kanalizacyjnych*. Kraków. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie 495/2012, z. 372.
- Kowalik P. (1996). *Efekty oczyszczania ścieków w oczyszczalniach hydrobotanicznych*. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie 3, 15-20.
- Krzanowski S., Wałęga A. (2009). *Ocena przebiegu procesu nityfikacji w oczyszczalniach ścieków z osadem czynnym przy wykorzystaniu różnych metod obliczania wieku osadu*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2, 29-34.
- Matyja J. (2002). *Wpływ warunków klimatycznych na oczyszczanie ścieków na oczyszczalni w Nowym Targu*. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie 3, 138-143.
- Stanisz A. (1998). *Przystępny kurs statystyki - Tom 1*. Kraków. Wydawnictwo StatSoft Polska Sp. z o.o.

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

