

Piotr Bugajski , Grzegorz Kaczor

**WPLYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW
NA TEMPERATURĘ ŚCIEKÓW
W BIOREAKTORZE PRZEPLYWOWYM**

***INFLUENCE OF CHOSEN FACTORS
ON SEWAGE TEMPERATURE
IN THE FLOW OF BIOLOGICAL REACTOR***

Streszczenie

Badania miały na celu określenie wpływu temperatury ścieków dopływających z kanalizacji oraz wpływu temperatury powietrza atmosferycznego na temperaturę ścieków w otwartym – przepływowym reaktorze biologicznym. Do badań wytypowano mały system kanalizacyjny, wraz z oczyszczalnią ścieków, zakwalifikowany do grupy systemów do 2000 RLM, zlokalizowany na terenie gminy wiejskiej w województwie małopolskim. W okresie badań do analizowanego systemu kanalizacyjnego odprowadzano ścieki z 250 budynków. Średni dobowy przepływ ścieków w badanym roku wynosił $115 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Badania objęły okres 12 miesięcy od 1 stycznia do 31 grudnia 2010 roku. Aby wykazać wpływ omawianych czynników na temperaturę ścieków w bioreaktorze posłużono się analizą regresji wielokrotnej, która pozwala liczbowo określić wpływ poszczególnych zmiennych niezależnych, którymi są temperatura ścieków w kanalizacji oraz temperatura powietrza atmosferycznego na zmienną zależną, którą jest temperatura ścieków w bioreaktorze. W rocznym okresie badań stwierdzono dużą zmienność średniej dobowej temperatury ścieków odpływających z kanalizacji oraz średniej dobowej temperatury powietrza atmosferycznego. Średnia dobowa temperatura ścieków dopływających do reaktora wyniosła $11,0^\circ\text{C}$. Najniższa odnotowana temperatura ścieków dopływających wynosiła $4,9^\circ\text{C}$, natomiast najwyższa $20,5^\circ\text{C}$. W badanym roku średnia dobowa temperatura powietrza atmosferycznego wyniosła $8,3^\circ\text{C}$. Na podstawie wyników korelacji cząstkowej stwierdzono, iż większy wpływ na temperaturę ścieków w bioreaktorze miała temperatura ścieków dopływających z kanalizacji niż temperatura powietrza. Współczynnik korelacji cząstkowej dla temperatury ścieków surowych wyniósł $R_c=0,95$, natomiast dla tempe-

ratury powietrza atmosferycznego $R_c=0,73$. Średnia dobowa temperatura ścieków w bioreaktorze w okresie rocznych pomiarów wyniosła $12,2^{\circ}\text{C}$, natomiast amplituda jej zmian wahała się od $5,3$ do $20,5^{\circ}\text{C}$. W badanym okresie wynoszącym 365 dni tylko w 15 przypadkach stwierdzono występowanie temperatury ścieków w bioreaktorze wyższej od 18°C , czyli temperatury określonej w literaturze jako optymalnej dla prawidłowego metabolizmu mikroorganizmów osadu czynnego. Przedstawione wyniki badań, dotyczące zakresu zmian temperatury ścieków w małym wiejskim systemie kanalizacyjnym, zaliczanym do grupy do 2000 RLM, odbiegają od charakterystyki temperatury, opisywanej w literaturze, dotyczącej dużych miejskich systemów odprowadzania i unieszkodliwiania ścieków zaliczanych do grupy obiektów powyżej 100 000 RLM.

Słowa kluczowe: temperatura ścieków, korelacja cząstkowa, kanalizacja, bioreaktor

Summary

The aim of the research was defining influence temperature of the sewage flow from sewage system and the temperature of the atmospheric air on temperature sewage in open biological reactor of flow. To research one chose the small sewerage system with the sewage treatment plant serving to 2000 PE (Population Equivalents) situated on the village-commune in the malopolska voivodeship. Within a period of research the sewerage accompanied sewage from 250 buildings. The average flow of sewage in the investigated year was from 110 to $120 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. The research embraced the period of 12 months from 1 January to 31 December the year 2010. To describe this relationship used of the multiple regression of analysis. In the period of research ascertained the large variability of the average temperature of sewage flow from sewage system and large variability of average of the temperature of the atmospheric air. The average of mean daily temperature of sewage flow was 11.0°C . The lowest of temperature of sewage flow was 4.9°C and the highest was 20.5°C . In the investigated year of mean daily of the temperature of the atmospheric air was 8.3°C . The research of concerning of multiple regression of analysis proved, that the greater influence on the temperature of sewage in biological reactor has the temperature of sewage flow from sewage system. The coefficient of correlation for these variable carried $R_c=0.95$. The .instead smaller relationship was noted of influence of the temperature of the atmospheric air on the temperature of sewage in biological reactor. The coefficient of correlation for these dependence carried $R_c=0.73$. The average of mean daily temperature of sewage in biological reactor in 2010 year was 12.2°C , and the amplitude of changes was from 5.3 to 20.5°C . In the investigated period of 365 days only in 15 days mean daily temperature in biological reactor was above 18°C . The described result of research of concerning sizes and the range of changes of the temperature of sewage in small villages sewage system in the group to 2000 PE can differ from the information in the literature concerning large municipal sewage systems above 100 000 PE.

Key words: sewage temperature, multiple regression, sewage system, biological reactor

WSTĘP

Temperatura jest jednym z podstawowych czynników wpływających na przebieg procesów biologicznego unieszkodliwiania zanieczyszczeń w oczyszczalniach ścieków. Optymalna temperatura ścieków w bioreaktorach z osadem czynnym, która zapewnia wysoką efektywność procesów biologicznych wynosi od 18 do 22°C. Obniżenie temperatury poniżej podanego zakresu powoduje spadek intensywności procesów nityfikacji, zachodzących w komorach bioreaktora [Elmitwalli i in. 1999, Barnard i in. 2000, Bojanowska, Pepliński 2002, Bugajski, Kaczor 2008, Bugajski 2011, Dymaczewski i in. 2011].

Wiele małych oczyszczalni ścieków, stosowanych na terenach wiejskich w Polsce, zaliczanych do grupy obiektów do 2000 RLM posiada układ technologiczny „zapożyczony” z krajów o klimacie znacznie cieplejszym. Technologia oczyszczania ścieków, która sprawdza się w warunkach ciepłego klimatu może nie osiągać wymaganych efektów w warunkach, gdzie średnia roczna temperatura powietrza jest znacznie niższa. W warunkach klimatycznych Polski okres, gdy temperatura ścieków w kanalizacji, a tym samym w bioreaktorach, jest niższa od 12°C może wynosić od 3 do nawet 5 miesięcy w ciągu roku, w zależności od regionu kraju. Szczególnie na południu kraju (w regionach górskich i podgórskich) okres zimowy jest znacznie dłuższy w porównaniu do regionów zachodnich lub północnych [Kaczor 2008, Bugajski, Kaczor 2011, Pawełek, Bugajski 2011, Bugajski 2012]. Często badania temperatury ścieków w kanalizacji i bioreaktorach przedstawiane w literaturze, dotyczą dużych miejskich systemów kanalizacyjnych, zaliczanych do grupy obiektów powyżej 100 000 RLM [Brzezińska 2011, Dymaczewski i in. 2011]. Zwykle takie systemy są dobrze monitorowane i opomiarowane, w przeciwieństwie do małych wiejskich systemów, gdzie ze względu na ograniczenia kosztów tego typu pomiarów się nie wykonuje lub wykonuje się je sporadycznie. Małe, wiejskie systemy kanalizacyjne różnią się swą specyfiką pod wieloma względami, w porównaniu do dużych systemów kanalizacyjnych w aglomeracjach miejskich. Długość sieci, natężenie przepływu ścieków płynących, duża nierównomierność ich przepływu, mniejsze średnice przewodów to główne różnice pomiędzy systemami kanalizacyjnymi dużymi (miejskimi), a małymi (wiejskimi). Nie uwzględnianie tych różnic przy projektowaniu oczyszczalni ścieków, a zwłaszcza części biologicznych, przynosi w okresie eksploatacji obiektów wiele problemów. Bardzo często małe, wiejskie oczyszczalnie ścieków, obsługujące do 2000 RLM są zaprojektowane i wykonane zgodnie z wytycznymi dla dużych oczyszczalni z uwzględnieniem różnic tylko w ilości dopływających ścieków. Nie uwzględniane są takie czynniki, jak stężenie zanieczyszczeń w ściekach oraz temperatura ścieków w kanalizacji. Mając na uwadze to, że na terenach wiejskich w najbliższych kilkunastu latach będzie powstawała duża ilość oczyszczalni ścieków, należy uwzględnić specyfikę małych systemów kanalizacyjnych tak, aby unikać problemów w okresie

ich eksploatacji. Informacje zawarte w niniejszym artykule poszerzają wiedzę na temat wielkości, zakresu zmian i czasu trwania temperatury ścieków w typowym małym – wiejskim systemie kanalizacyjnym obsługującym do 2000 RLM.

CEL, METODYKA ORAZ ZAKRES BADAŃ

Celem badań było określenie wpływu temperatury ścieków dopływających z kanalizacji oraz wpływu temperatury powietrza atmosferycznego, na temperaturę ścieków w otwartym przepływowym reaktorze biologicznym. Badania prowadzono przez okres 12 miesięcy, od 1 stycznia do 31 grudnia 2010 roku. Aby wykazać wpływ opisanych czynników na temperaturę ścieków w bioreaktorze posłużono się statystyczną analizą regresji wielokrotnej, która pozwala liczbowo określić wpływ poszczególnych zmiennych niezależnych, którymi są temperatura ścieków w kanalizacji i temperatura powietrza na zmienną zależną, którą jest temperatura ścieków w bioreaktorze. 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 $+85^{\circ}\text{C}$, dokładność 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 kiniecie studzienki kanalizacyjnej przed oczyszczalnią i w komorze bioreaktora. Dodatkowo na terenie badanego 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 czujniki przed rozpoczęciem badań wytarowano.

CHARAKTERYSTYKA BADANEGO SYSTEMU KANALIZACYJNEGO

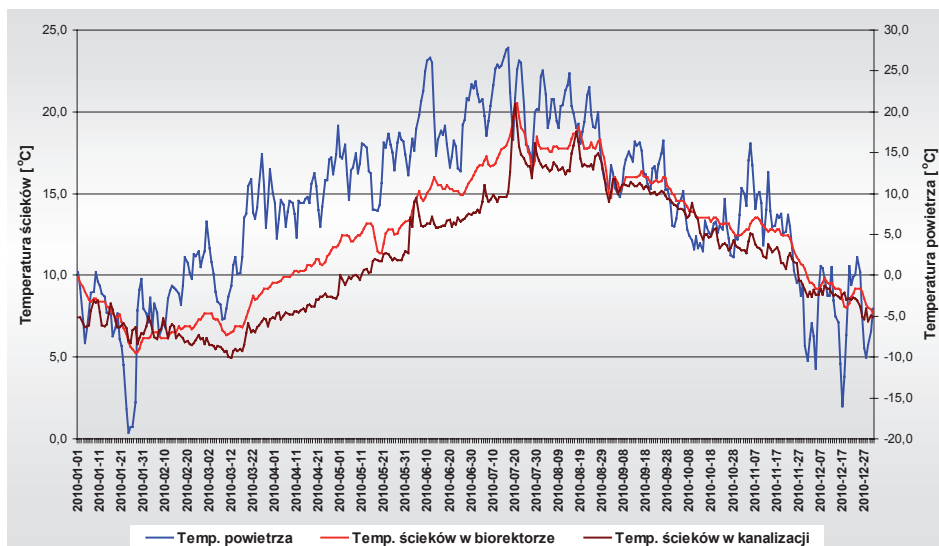
Do badań wytypowano system kanalizacyjny zlokalizowany na terenie gminy wiejskiej w województwie małopolskim. Długość sieci kanalizacyjnej w systemie rozdzielczym na terenie gminy wynosi 4900 metrów. Sieć kanaliza-

cyjna wykonana jest z rur PCV. Średnice przewodów wynoszą od 200 do 315 mm. Analizowany system kanalizacyjny funkcjonuje w systemie grawitacyjnym, bez przepompowni ścieków. Do kanalizacji podłączone jest aktualnie 250 budynków. Ścieki dopływają do oczyszczalni ścieków, w której procesy oczyszczania oparte są na indywidualnym rozwiązaniu technologicznym zarówno w części mechanicznej, jak również biologicznej. Projektowana przepustowość hydrauliczna oczyszczalni wynosi $225 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W okresie prowadzonych badań dopływ rzeczywisty ścieków wahał się w przedziale od 110 do $120 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Zatem można stwierdzić, że w okresie badań oczyszczalnia była niedociążona hydraulicznie o 50%. Analizowany bioreaktor to radialny, żelbetowy zbiornik w kształcie walca, z wbudowanym w centralnej części osadnikiem wtórnym. Bioreaktor funkcjonuje w układzie przepływowym i umiejscowiony jest całkowicie pod powierzchnią terenu. Średnica bioreaktora wynosi 9 metrów, a głębokość całkowita 7 metrów.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

W rocznym okresie prowadzonych badań stwierdzono dużą zmienność średniej dobowej temperatury ścieków dopływających do reaktora z systemu kanalizacyjnego oraz dużą zmienność średniej dobowej temperatury powietrza atmosferycznego. Średnia dobowo temperatura ścieków surowych w roku 2010 wyniosła $11,0^\circ\text{C}$. Najniższą temperaturę ścieków surowych, która wyniosła $4,9^\circ\text{C}$, odnotowano w połowie marca, natomiast najwyższą $20,5^\circ\text{C}$ pod koniec drugiej dekady lipca. Amplituda wahań temperatury ścieków dopływających do reaktora wyniosła $15,5^\circ\text{C}$. Miesiącami, w których średnia dobowo temperatura ścieków nie przekraczała $8,0^\circ\text{C}$ były styczeń, luty, marzec, kwiecień oraz grudzień. Najwyższą temperaturę ścieki osiągały w lipcu, sierpniu i wrześniu. W miesiącach tych temperatura ścieków dopływających zawierała się w przedziale od $15,2$ do $16,8^\circ\text{C}$.

Średnia dobowo temperatura powietrza atmosferycznego w roku 2010 na terenie zlewni kanalizacyjnej wyniosła $8,3^\circ\text{C}$. Jest to temperatura zbieżna z podawaną w literaturze, odpowiadającą klimatowi umiarkowanemu, przejściowemu w jakim znajduje się Polska. Najzimniejszymi miesiącami ze średnią dobową temperaturą powietrza poniżej 0°C były styczeń ($-6,3^\circ\text{C}$), luty ($-1,9^\circ\text{C}$) i grudzień ($-4,8^\circ\text{C}$). Najwyższe temperatury powietrza wystąpiły w miesiącach letnich: czerwiec, lipiec i sierpień. W miesiącach tych średnia dobowo temperatura powietrza wahała się od $18,4$ do $21,8^\circ\text{C}$. Wielkość oraz zakres zmian średniej dobowej temperatury ścieków w kanalizacji oraz temperatury powietrza atmosferycznego na tle średniej dobowej temperatury ścieków w bioreaktorze przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Zmienność średniej dobowej temperatury ścieków w bioreaktorze i kanalizacji na tle średniej dobowej temperatury powietrza atmosferycznego w 2010 roku
Figure 1. The variability of average main daily temperature of sewage in biological reactor and in sewage system of average main daily temperature of atmospheric air in 2010 year

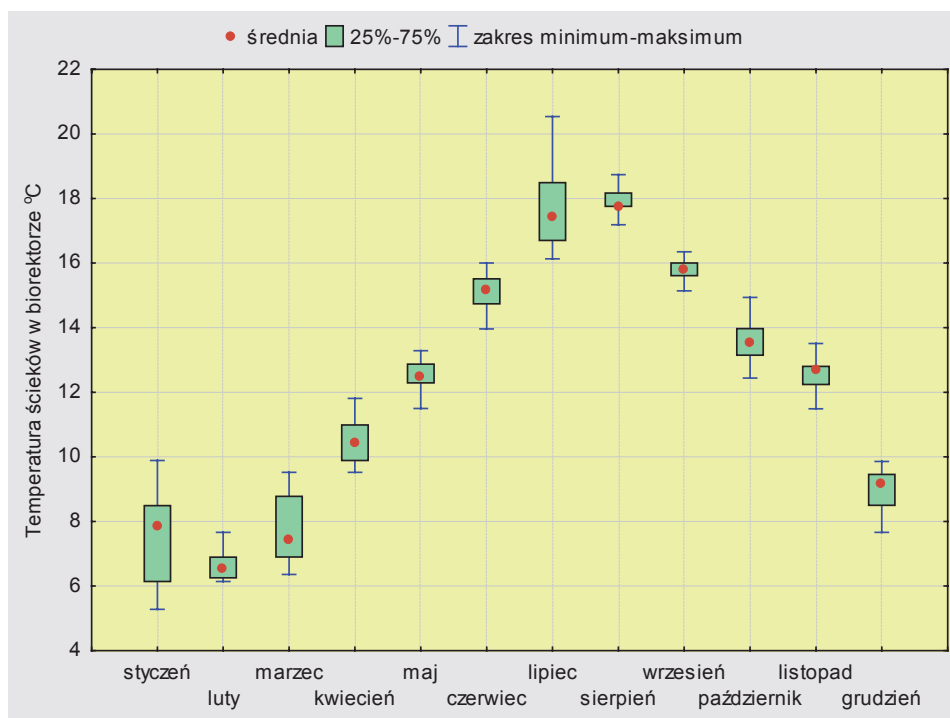
Wykorzystując dane obejmujące średnie dobowe temperatury ścieków w kanalizacji oraz średnie dobowe temperatury powietrza atmosferycznego wykonano statystyczną analizę korelacji cząstkowej, której celem było zbadanie wielkości wpływu tych dwóch zmiennych niezależnych na temperaturę ścieków w bioreaktorze. Na podstawie wyników analizy korelacji stwierdzono, iż większy wpływ na temperaturę ścieków w bioreaktorze miała temperatura ścieków dopływających z kanalizacji ($R_c=0,95$) niż temperatura powietrza ($R_c=0,73$). Istotność obliczonych współczynników korelacji zbadano testem t-Studenta na poziomie istotności $\alpha=0,05$. W obydwu przypadkach stwierdzono istotność badanych zależności. Wyniki korelacji cząstkowej, statystyki badających istotność modelu oraz wartości współczynników determinacji zestawiono w tabeli 1. Na podstawie wyników korelacji cząstkowej opracowano model przedstawiony na rysunku 3, z którego można prognozować wysokość temperatury ścieków w bioreaktorze na podstawie temperatury ścieków w kanalizacji (oś rzędnych) i temperatury powietrza atmosferycznego (oś odciętych). Utworzony model można opisać równaniem $T_R = 2,568+0,1034 \cdot x+0,7973y$.

Tabela 1. Wyniki analizy regresji cząstkowej wpływu temperatury ścieków surowych oraz powietrza atmosferycznego na temperaturę ścieków w bioreaktorze
Table 1. Results of the regression analysis of the multiple of the influence of the temperature of sewage in the sewer system and the atmospheric air on the temperature of sewage in biological reactor.

Statystyka	Liczebność grupy	Współczynnik korelacji cząstkowej	Współczynnik determinacji	Odchylenie standardowe zmiennej	Średnia arytmetyczna zmiennej	Wartość statystyki t badającej istotność R	Wartość testu t na poziomie $\alpha=0,05$
Oznaczenie	N	R _c	R ²	S	SR	t	t _{0,kr}
Korelacja							
Temperatura ścieków w bioreaktorze	365	0,95	0,55	3,9	12,2	58,88	0,00
Temperatura ścieków w kanalizacji				3,7	11,0		
Temperatura ścieków w bioreaktorze	365	0,73	0,55	3,9	12,2	20,26	0,00
Temperatura powietrza atmosferycznego				9,9	8,3		

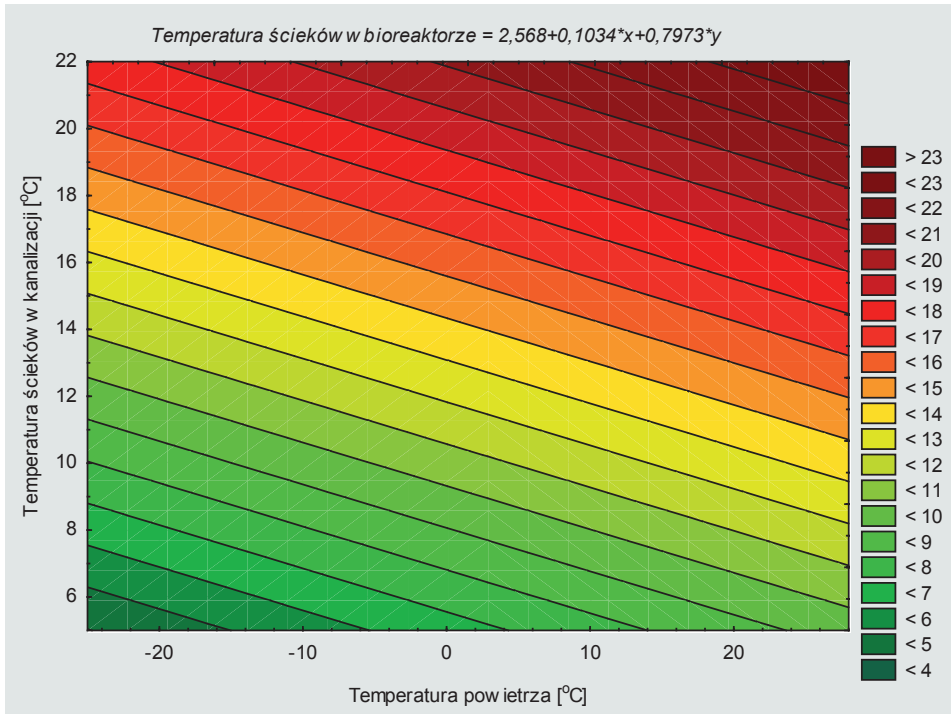
Przeprowadzone badania wykazały duże wahania średniej dobowej temperatury ścieków w analizowanym bioreaktorze. Temperatura minimalna, jaką odnotowano w okresie badań wyniosła 5,3°C, natomiast maksymalna wyniosła 20,5°C. Amplituda zmian temperatury ścieków w bioreaktorze w ciągu roku wyniosła 15,3°C. Najniższe średnie dobowe temperatury ścieków w bioreaktorze odnotowano w styczniu, lutym oraz w marcu. W okresie tych trzech miesięcy temperatura ścieków oscylowała w granicach od 6,6 do 7,5°C. Od trzeciej dekadzie marca następuje wzrost temperatury ścieków, z kulminacją w trzeciej dekadzie lipca. Od tego momentu następuje systematyczne obniżanie się temperatury ścieków aż do końca grudnia. Ścieki w bioreaktorze podobnie jak ścieki dopływające z kanalizacji mają najwyższą temperaturę w okresie czerwiec–lipiec–sierpień–wrzesień. W okresie tych czterech miesięcy średnia miesięczna temperatura ścieków wahała się od 15,1 do 17,9°C. Należy zauważyć, iż w żadnym miesiącu średnie miesięczne wartości temperatury ścieków w bioreaktorze nie osiągnęły wartości 20°C podawanej w literaturze, jako optymalnej do procesów biologicznych zachodzących w osadzie czynnym. Odnotowano jedynie 9 dni w lipcu i 6 dni w sierpniu kiedy temperatura ścieków osiągała wartości

powyżej 18,0°C dochodząc do wartości maksymalnej w ciągu roku tj. 20°C. Dni w których temperatura ścieków osiągała optymalną wartość dla procesów biologicznych to zaledwie 4,1% dni z całego roku. Największe wahania średniej dobowej temperatury ścieków w bioreaktorze wystąpiły w styczniu i w lipcu. W miesiącach tych różnica pomiędzy temperaturą minimalną a maksymalną wyniosła 4,5°C. Tak duże wahania temperatury ścieków mogą powodować „szok termiczny” mikroorganizmów osadu czynnego. Wysokie wahania temperatury ścieków na poziomie 3,1°C odnotowano również w marcu oraz w listopadzie. W pozostałych miesiącach różnica między temperaturą ścieków minimalną a maksymalną wynosiła od 1,5 do 2,7°C. Zmienność średniej miesięcznej temperatury ścieków w bioreaktorze wraz z wartościami charakterystycznymi przedstawiono graficznie na rysunku 2.



Rysunek 2. Zakresy zmian średniej dobowej temperatury ścieków w bioreaktorze w poszczególnych miesiącach roku 2012

Figure 2. The size of the temperature of the monthly average of sewage in biological reactor in 2012 year



Rysunek 3. Nomogram do prognozowania temperatury ścieków w bioreaktorze na podstawie temperatury powietrza atmosferycznego oraz temperatury ścieków surowych w kolektorze kanalizacyjnym

Figure 3. The nomograph denominative the size of the temperature of sewage in biological reactor on the ground temperature of the atmospheric air and the temperature of sewage in the sewage-collector

WNIOSKI

1. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono występowanie dużych wahań temperatury ścieków surowych dopływających do bioreaktora. Średnia dobowa temperatura ścieków odpływających z kanalizacji wahała się od 4,9 do 20,5°C. Średnia temperatura ścieków surowych w analizowanym roku 2010 wyniosła 11,0°C.

2. Średnia dobowa temperatura powietrza atmosferycznego w okresie badań ulegała wahaniom od -19,3 do +27,8°C. Średnia roczna temperatura powietrza (+8,3°C) na terenie zlewni kanalizacyjnej odpowiadała klimatowi umiarkowanemu, przejściowemu, w jakim znajduje się Polska.

3. Na podstawie analizy korelacji cząstkowej wykazano, iż większy wpływ na temperaturę ścieków w bioreaktorze miała temperatura ścieków dopływających z kanalizacji ($R_c=0,95$) niż temperatura powietrza ($R_c=0,73$).

4. Stwierdzono, że w okresie rocznym występują bardzo duże wahania temperatury ścieków w bioreaktorze, zawierające się w przedziale od 5,5 do 20,5°C. Średnia dobową temperatura ścieków w bioreaktorze, w badanym roku, wyniosła 12,2°C.

5. W okresie badań tylko w 15-stu dobach temperatura ścieków w bioreaktorze była wyższa od 18°C, czyli osiągnęła wartość optymalną dla metabolizmu mikroorganizmów osadu czynnego.

6. Największe wahania temperatury ścieków w bioreaktorze wystąpiły w styczniu i listopadzie. Różnica pomiędzy wartościami minimalnymi a maksymalnymi wyniosła w tym okresie blisko 4,5°C.

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 2000r., 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.
- Bugajski P. *Wpływ temperatury ścieków na wielkość odprowadzanych zanieczyszczeń z oczyszczalni działającej w układzie SBR*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 2/2011, s. 7-15.
- Bugajski P. *Zmienność temperatury ścieków w tranzytowym kolektorze kanalizacyjnym*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2/2012, s. 53-55.
- Bugajski P., Kaczor G. *Ocena działania wybranych przydomowych oczyszczalni w warunkach zimowych i letnich*. Przemysł Chemiczny 5/2008, s. 424-426.
- Bugajski P., Kaczor G. *Zmienność temperatury ścieków w otwartym bioreaktorze przepływowym*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 5/2011, s. 177-179.
- Brzezińska A. *Zmiany temperatury ścieków ogólnospławnych na podstawie pomiarów on-line*. Inżynieria Ekologiczna 26/2011, s. 290-302.
- Dymaczewski i in. *Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków*. Wydawnictwo PZITS O/Wielkopolski – Poznań 2011r.
- 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.
- Kaczor G. *Wpływ temperatury powietrza na temperaturę ścieków w kanalizacji i reaktorze biologicznym*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 3/2008, s. 129-137.
- Pawełek J., Bugajski P. *Zmienność temperatury ścieków w bioreaktorach małych oczyszczalni*. Monografia pod redakcją prof. Beniamina Więzika nt. Przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne w warunkach zagrożeń naturalnych i cywilizacyjnych. Bielsko-Biała 2011. s. 161-173.
- Stanisz A. *Przystępny kurs statystyki*. Tom 1. Wydawnictwo StatSoft Polska Sp. z o.o. Kraków 1998.

W pracy wykorzystano wyniki badań projektu badawczego własnego Nr N N305 073236, finansowanego ze środków na naukę, realizowanego w latach 2009-2012

Dr inż. Piotr Bugajski
Grzegorz Kaczor
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej,
Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji
Uniwersytet Rolniczy im. H.Kołłątaja
Al. Mickiewicza 24/28
30-059 Kraków
tel. (012) 662-40-39
e-mail: p.bugajski@ur.krakow.pl
rmkaczor@cyf-kr.edu.pl