

Grzegorz Kaczor

**WPŁYW TEMPERATURY POWIETRZA
NA TEMPERATURĘ ŚCIEKÓW W KANALIZACJI
I REAKTORZE BIOLOGICZNYM**

***INFLUENCE OF AIR TEMPERATURE
ON SEWAGE TEMPERATURE IN SEWERAGE SYSTEM
AND IN BIOLOGICAL REACTOR***

Streszczenie

Celem badań było określenie zmian temperatury ścieków w kanalizacji oraz otwartym reaktorze biologicznym pod wpływem temperatury powietrza atmosferycznego. W literaturze związanej z oczyszczaniem ścieków nie ma jednoznacznych informacji na temat wpływu temperatury powietrza na temperaturę ścieków w kanalizacji. Niektórzy autorzy uważają, że taki związek nie występuje. Badania przeprowadzone na terenie oczyszczalni ścieków w gminie Koszyce wykazały, że istnieje istotny związek pomiędzy średnią dobową temperaturą powietrza atmosferycznego (t_{pow}) a średnią dobową temperaturą ścieków w kanalizacji (t_{sc}). Związek ten można z dużą dokładnością ($R^2=0,78$, $p<0,001$) opisać za pomocą równania wielomianu 3 stopnia: $t_{sc} = -0,0011 \cdot (t_{pow})^3 + 0,0232 \cdot (t_{pow})^2 + 0,3704 \cdot t_{pow} + 9,0554$. W okresie badań średnia dobowa temperatura ścieków w kanalizacji ulegała dużym wahaniom od 6,35 do 17,56°C. Zmiany temperatury ścieków w kolektorze w ciągu doby zawierały się w przedziale od 0,35°C do 4,60°C. W okresie zimowym, przy średniej dobowej temperaturze powietrza poniżej 5°C, temperatura ścieków w kanalizacji obniżała się poniżej 10°C, osiągając wartość minimalną 5,37°C. W reaktorze biologicznym zbudowanym jako żelbetowy zbiornik otwarty, średnia dobowa temperatura ścieków zmieniała się w przedziale od 5,68 do 21,04°C. Przy czym w okresie zimowym (grudzień, styczeń, luty) temperatura ścieków w reaktorze obniżała się poniżej 10°C, osiągając wartość minimalną 5,32°C. Jest to temperatura stanowczo za niska dla potrzeb biologicznego procesu usuwania związków biogenych. Przeprowadzone badania wykazały wpływ średniej dobowej temperatury powietrza, wyższej od 5°C, na temperaturę ścieków w otwartym reaktorze biologicznym. Przy temperaturze powietrza niższej niż 5°C temperatura ścieków w reaktorze kształtowana jest temperaturą ścieków dopływających z kanalizacji.

Słowa kluczowe: ścieki, kanalizacja, oczyszczalnia, temperatura ścieków

Summary

The aim of the research was defining temperature changes of sewage in sewerage system and in open biological reactor under the influence of atmospheric air temperature. The literature connected with sewage treatment doesn't give unequivocal information regarding influence of air temperature on sewage temperature in the canalisation. Some authors claim that such a relationship doesn't occur. The research carried out on the area of sewage treatment plant in Koszyce commune showed, that important relationship exists between mean daily atmospheric air temperature (t_{air}) and mean daily temperature of sewage in sewerage system (t_{sew}). This relationship may be with high accuracy ($R^2=0,78$, $p<0,001$) described by a cubic polynomial equation: $t_{sew} = -0,0011 \cdot (t_{air})^3 + 0,0232 \cdot (t_{air})^2 + 0,3704 \cdot t_{air} + 9,0554$. In the research period, mean daily temperature of sewage in sewerage system was going under big fluctuations, from 6,35 to 17,56°C. Changes of sewage temperature in the collector during the day ranged between 0,35°C and 4,60°C. In the winter period, with mean daily air temperature under 5°C, sewage temperature in the canalisation lowered under 10°C, reaching its minimal value of 5,37°C. In biological reactor, which was built as a reinforced concrete open reservoir, mean daily sewage temperature ranged between 5,68 and 21,04°C. Whereas in the winter period (December, January, February) sewage temperature in the reactor lowered under 10°C, reaching its minimal value of 5,32°C. This temperature is definitely too low for needs of biological process of biogenic compounds' removal. The carried out research proved the influence of mean daily air temperature, higher than 5°C, on sewage temperature in an open biological reactor. With air temperature lower than 5°C, sewage temperature in the reactor is shaped by the temperature of sewage which flows in from the sewerage system.

Key words: sewage, sewerage system, sewage treatment plant, sewage temperature

WPROWADZENIE

Temperatura ścieków jest jednym z istotnych czynników wpływających na skuteczność biologicznego ich oczyszczania [Bever i in. 1997]. Ma to związek z zakresem temperatur w jakim rozwijają się bakterie, biorące aktywny udział w unieszkodliwianiu poszczególnych zanieczyszczeń. Większość bakterii wykorzystywanych w procesach biologicznego oczyszczania ścieków to bakterie mezofilne, dla których optymalna temperatura metaboliczna zawiera się w przedziale od 25 do 40°C [Łomotowski, Szpindor 1999]. Najczęściej wpływ temperatury na procesy biochemiczne opisuje się za pomocą funkcji wykładniczej [Łomotowski, Szpindor 1999; Henze 2002]:

$$k(t) = k_{20} \exp\{K(t - 20)\} \quad (1)$$

gdzie:

- $k(t)$ – stała szybkości procesów biochemicznych w temperaturze t , °C;
- k_{20} – stała szybkości w temperaturze 20°C;
- K – stała temperaturowa, °C⁻¹.

W procesach nitryfikacji i denitryfikacji, związanych z usuwaniem związków azotu w reaktorach biologicznych, temperatura przy której obserwuje się przyspieszenie procesów biochemicznych zawiera się w przedziale od 10 do 22°C. W przedziale od 30 do 35°C szybkość rozwoju bakterii nitryfikacyjnych jest stała, powyżej 35°C zaczyna obniżać się do zera [Henze 2002]. Bakterie rozwijające się w komorach tlenowych i niedotlenionych są bardzo wrażliwe na spadki temperatury ścieków, które wpływają gwałtownie na obniżenie ich aktywności. W swoich badaniach Arnold i in. [2000] stwierdzili, że obniżenie temperatury ścieków o 10°C może spowodować spadek aktywności nitryfikacyjnej nawet o 70%.

Procesy biologiczne związane z usuwaniem fosforu uważa się za najmniej wrażliwe na zmiany temperatury. Ma to związek z metabolizmem bakterii psychrofilowych (odpowiedzialnych za redukcję fosforu ze ścieków), rozwijających się w temperaturach niższych niż inne organizmy związane przykładowo z obniżaniem BZT. Procesy związane z usuwaniem fosforu mogą zachodzić już przy temperaturze ścieków powyżej 5°C. Temperatura optymalna w procesach defosfatacji zawiera się w przedziale od 10 do 15°C, jednak w dużej mierze związana jest także z wiekiem osadu [Barnard 2000].

Podsumowując, można stwierdzić, że aby procesy biologiczne mogły zachodzić efektywnie, do reaktora powinny dopływać ścieki o temperaturze od 10 do 20°C. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 lipca 2004 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego, określa maksymalną temperaturę ścieków przy wprowadzeniu ich do kanalizacji jako 35°C.

Ścieki powstające w gospodarstwach domowych mają średnią roczną temperaturę w zakresie od 30 do 35°C [Błażejowski 2003]. W trakcie przepływu ścieków przez system kanalizacyjny ich temperatura ulega obniżeniu. Ma na to wpływ przede wszystkim długość przyłączy i kolektorów, natężenie i prędkość przepływu ścieków, głębokość niwelety dna kanału, liczba przepompowni, dopływ do kanalizacji wód infiltracyjnych i przypadkowych (w okresie roztopów wiosennych). W efekcie oddziaływania wymienionych czynników temperatura ścieków przy dopływie do oczyszczalni powinna zawierać się w przedziale od 11,2 do 12,2°C [Szpindor 1998].

CEL, METODYKA ORAZ ZAKRES BADAŃ

Celem badań było określenie zmian temperatury ścieków w kolektorze oraz otwartym reaktorze biologicznym pod wpływem temperatury powietrza atmosferycznego. W literaturze związanej z oczyszczaniem ścieków nie ma jednoznacznych informacji na temat wpływu temperatury powietrza na temperaturę ścieków w kanalizacji. Niektórzy autorzy uważają, że taki związek jest mało istotny [Heidrich 2004].

Badanie temperatury powietrza atmosferycznego, ścieków w kanalizacji oraz w komorze reaktora biologicznego prowadzono od 01.07.2007 do 29.02.2008 r.

Aparaturę pomiarową zainstalowano na terenie mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków w wiejskiej gminie Koszyce (powiat proszowicki, województwo małopolskie). Oczyszczalnia ma przepustowość projektową $313 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W okresie badań średni dobowy odpływ ścieków z kanalizacji wyniósł $101,9 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, natomiast maksymalny – $209,2 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Odchylenie standardowe przepływu ścieków wyniosło $27,6 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ (zatem 75% dobowych odpływów ścieków zawierało się w przedziale od 74,3 do $129,5 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$). Odpływ ścieków z kanalizacji w Koszycach mierzony był na dopływie do oczyszczalni ścieków za pomocą ultradźwiękowego miernika poziomu SMW 221-1 firmy NIVOSO-NAR umieszczonego nad przelewem Thomsona (metoda pomiaru: pośrednia bezkontaktowa).

Temperaturę powietrza atmosferycznego badano czujnikiem termistorowym SMART BUTTON (zakres pomiaru od -40 do $+85^\circ\text{C}$). Czujnik ten ma pamięć wewnętrzną umożliwiającą zapis do 2048 pomiarów temperatury z zadanyim interwałem od 1 do 255 minut oraz własne źródło zasilania. Temperaturę powietrza mierzono w odstępach jednej godziny.

Temperaturę ścieków mierzono w studziencie kanalizacyjnej $\text{Ø}600$ mm zlokalizowanej 10 m przed oczyszczalnią ścieków. Ścieki do studzienki dopływają grawitacyjnie kolektorem o średnicy $\text{Ø}225$ mm, ułożonym na głębokości 5 m ppt. Łączna długość kanałów ściekowych wynosi 18 000 m, natomiast przykanalików – 6000 m. Do kanalizacji w Koszycach podłączonych jest 281 gospodarstw domowych, zamieszkałych przez 848 mieszkańców.

Pomiar temperatury ścieków surowych w kolektorze wykonywano w sposób ciągły za pomocą zanurzonego czujnika z rejestratorem (Nautilus 85) o zakresie pomiarowym od -40 do $+85^\circ\text{C}$ (błąd pomiaru $\pm 0,2^\circ\text{C}$). Próbkowanie temperatury ścieków wykonywano co 10 minut.

Biologiczny proces oczyszczania ścieków (oparty na metodzie niskoobciążonego osadu czynnego z tlenową stabilizacją osadu nadmiernego bezpośrednio w komorze napowietrzania) prowadzany jest w oczyszczalni w Koszycach w dwóch bliźniaczych otwartych reaktorach biologicznych o średnicy 9 m i głębokości czynnej 5 m. Łączna objętość czynna reaktorów wynosi 636 m^3 . Pomiar temperatury ścieków w reaktorze wykonywano takim samym czujnikiem Nautilus 85 jak w kanalizacji. Interwał próbkowania temperatury ścieków przyjęto co 10 minut.

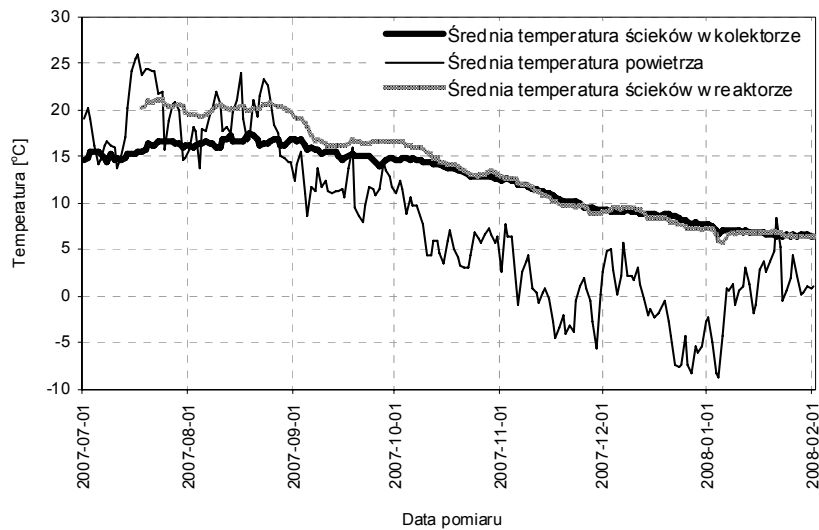
Wykorzystanie do badań nowoczesnych czujników mikroprocesorowych, zintegrowanych z elektronicznymi rejestratorami danych, pozwoliło na precyzyjny i szczegółowy monitoring temperatury w trzech analizowanych ośrodkach. Pomiar wykonywany w sposób ciągły, za pomocą urządzeń zainstalowanych na stałe w punktach pomiarowych, wykluczył wiele błędów związanych z pomiarem temperatury w sposób tradycyjny za pomocą termometrów rtęciowych.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Średnia dobową temperaturę powietrza w okresie badań zawierała się w przedziale od -12 do $+37^{\circ}\text{C}$. Największa różnica temperatur w ciągu doby wyniosła 25°C , a najmniejsza $1,50^{\circ}\text{C}$. Średnia dobową temperaturę ścieków w kolektorze wahała się od $6,35$ do $17,56^{\circ}\text{C}$. Największa różnica temperatur w ciągu doby wyniosła w okresie badań $4,60^{\circ}\text{C}$, natomiast najmniejsza $0,35^{\circ}\text{C}$. Średnia dobową temperaturę ścieków w reaktorze biologicznym zamykała się w przedziale od $5,68$ do $21,04^{\circ}\text{C}$. Największa w ciągu doby różnica temperatur wyniosła $0,77^{\circ}\text{C}$, natomiast najmniejsza 0°C .

Od 16.11.2007 r. do końca okresu badań (przez 76 dni) temperatura ścieków w kanalizacji była niższa od 10°C , co mogło wpłynąć negatywnie na redukcję związków biogenych w reaktorze biologicznym. Najniższa zaobserwowana w okresie badań temperatura ścieków w kanalizacji wynosiła $5,37^{\circ}\text{C}$.

Przebieg średnich dobowych temperatur powietrza, ścieków w kolektorze i ścieków w reaktorze biologicznym przedstawiono na rysunku 1.



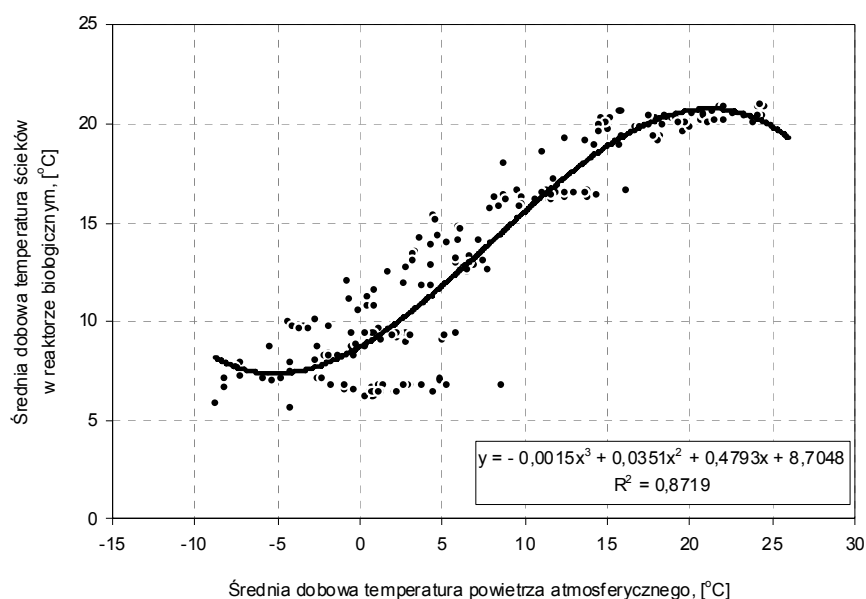
Rysunek 1. Przebieg średnich dobowych temperatur powietrza, ścieków w kanale i ścieków w reaktorze biologicznym

Figure 1. Function of mean daily temperatures of air, sewage in the channel and sewage in the biological reactor

Z przedstawionego wykresu wynika, że w pierwszych czterech miesiącach badań temperatura ścieków w reaktorze biologicznym była wyższa od temperatury ścieków w kolektorze. Zatem temperatura ścieków w reaktorze miała

silniejszy związek z temperaturą powietrza niż z temperaturą ścieków odpływających z kanalizacji. Gdy średnia dobową temperatura powietrza obniżyła się poniżej 5°C , średnia dobową temperatura ścieków w kanalizacji i średnia dobową temperatura ścieków w reaktorze biologicznym nie różniły się między sobą istotnie. Zatem należy wnioskować, że przy temperaturze powietrza poniżej 5°C temperatura ścieków w reaktorze biologicznym kształtowana jest temperaturą ścieków surowych dopływających z kanalizacji.

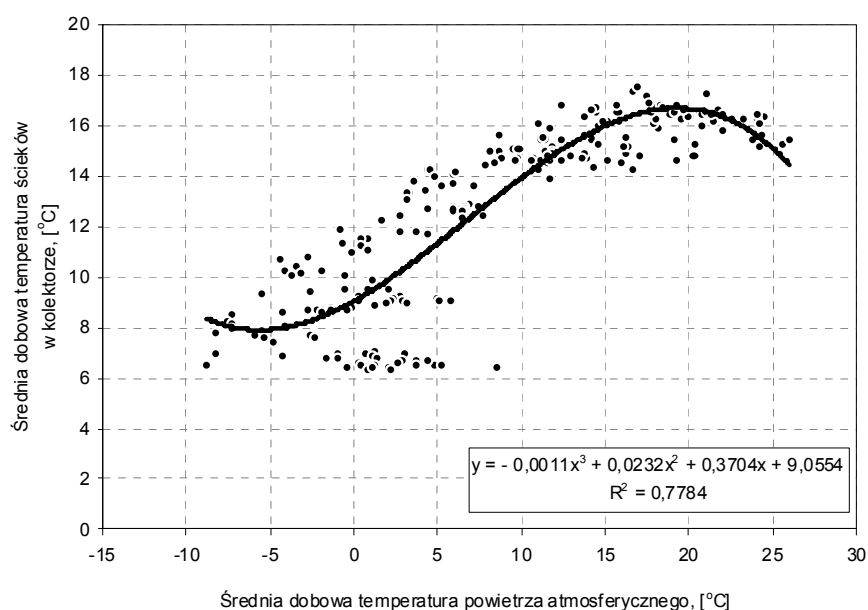
Na rysunku 2 przedstawiono krzywoliniową zależność pomiędzy średnią dobową temperaturą powietrza a średnią dobową temperaturą ścieków w reaktorze. Zależność pomiędzy tymi temperaturami opisuje przedstawione na rysunku równanie funkcji regresji. Wszystkie parametry przedstawionego modelu są statystycznie istotne, a dopasowanie modelu jest bardzo dobre, na co wskazuje wartość współczynnika determinacji R^2 . Krzywa regresji opisana wielomianem trzeciego stopnia ma dwa punkty przegięcia, z których wynika, że wpływ temperatury powietrza na temperaturę ścieków w reaktorze zmniejsza się widocznie poniżej -5°C i powyżej $+21^{\circ}\text{C}$.



Rysunek 2. Krzywa regresji obrazująca związek pomiędzy średnią dobową temperaturą powietrza atmosferycznego a średnią dobową temperaturą ścieków w reaktorze biologicznym

Figure 2. Regression curve which illustrates connection between mean daily atmospheric air temperature and mean daily temperature of sewage in the biological reactor

Podobną krzywoliniową zależność stwierdzono pomiędzy temperaturą powietrza a temperaturą ścieków w kanalizacji (rys. 3). Dopasowanie modelu jest nieco gorsze, jednak nadal istotne statystycznie ($p < 0,001$). Przy średniej dobowej temperaturze powietrza w zakresie od 0 do 20°C jej związek ze średnią dobową temperaturą ścieków w kanalizacji jest liniowy, a współczynnik korelacji R wynosi 0,88.



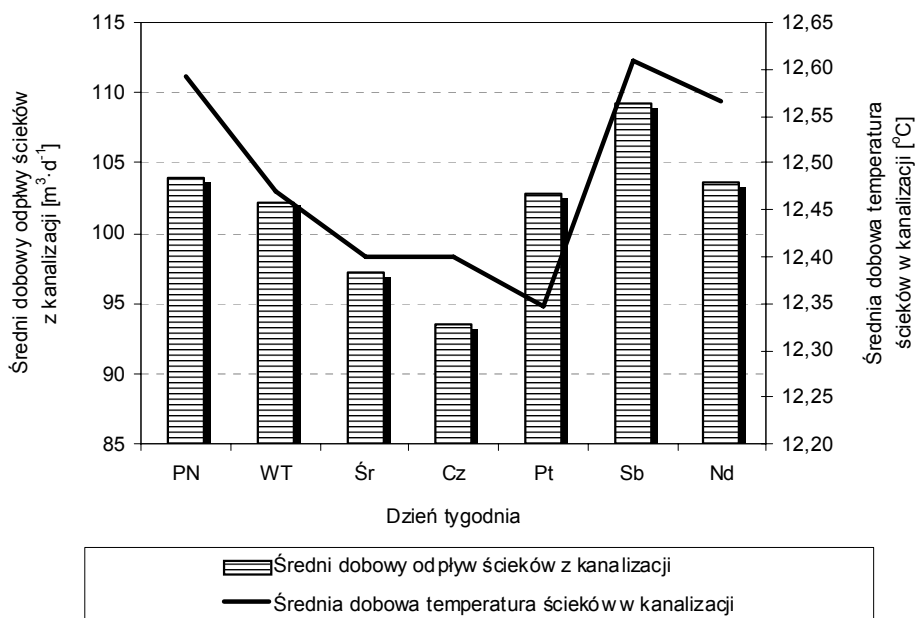
Rysunek 3. Krzywa regresji obrazująca związek pomiędzy średnią dobową temperaturą powietrza atmosferycznego a średnią dobową temperaturą ścieków w kanalizacji

Figure 3. Regression curve which illustrates connection between mean daily atmospheric air temperature and mean daily temperature of sewage in the sewerage system

Z równań funkcji regresji (rys. 2 i rys. 3) wynika, że przy wzroście średniej dobowej temperatury powietrza o 10°C średnia temperatura ścieków w kolektorze może wzrosnąć o 4,9°C, natomiast średnia dobową temperaturą ścieków w reaktorze biologicznym o 6,8°C. Zatem można stwierdzić, że temperatura powietrza w większym stopniu wpływa na temperaturę ścieków w reaktorze biologicznym niż na temperaturę ścieków w kanalizacji.

W trakcie badań nie stwierdzono żadnej korelacji pomiędzy objętością przepływających ścieków a ich temperaturą w kanalizacji. Istnieje jednak pewna zależność (nie prostoliniowa) pomiędzy średnim dobowym odpływem ścieków w niektórych dniach tygodnia a średnią dobową temperaturą ścieków w kolektorze.

rze, co przedstawiono na rysunku 4. Wpływ ten jest mało istotny, ponieważ maksymalna zmiana temperatury w tym związku nie przekraczała 0,45°C.



Rysunek 4. Średnia dobową temperaturę ścieków w kanalizacji na tle średnich dobowych odpływów ścieków w poszczególnych dniach tygodnia
Figure 4. Mean daily temperature of sewage in the sewerage system in relation to mean daily sewage outflows in each days of week

WNIOSKI

Na podstawie badań temperatury ścieków w wiejskiej kanalizacji w Koszycach, temperatury ścieków w reaktorze biologicznym oraz temperatury powietrza atmosferycznego sformułowano następujące wnioski:

1. Istnieje istotny związek pomiędzy średnią dobową temperaturą powietrza atmosferycznego (t_{pow}) a średnią dobową temperaturą ścieków w kanalizacji ($t_{śc}$). Związek ten można z dużą dokładnością ($R^2=0,78$, $p<0,001$) opisać za pomocą równania wielomianu 3 stopnia: $t_{śc} = -0,0011 \cdot (t_{pow})^3 + 0,0232 \cdot (t_{pow})^2 + 0,3704 \cdot t_{pow} + 9,0554$.

2. Średnia dobową temperaturę ścieków w kanalizacji ulega dużym wahaniom od 6,35 do 17,56°C (maksymalnie 11,21°C w okresie badań). Zmiany temperatury ścieków w kolektorze w ciągu doby zawierały się w przedziale od 0,35°C do 4,60°C.

3. W okresie zimowym, przy średniej dobowej temperaturze powietrza poniżej 5°C, temperatura ścieków w kanalizacji obniża się poniżej 10°C, osiągając wartość minimalną 5,37°C.

4. W reaktorze biologicznym, zbudowanym jako żelbetowy zbiornik otwarty, średnia dobową temperaturę ścieków zmieniała się w przedziale od 5,68 do 21,04°C. Przy czym w okresie zimowym (grudzień, styczeń, luty) temperatura ścieków w reaktorze obniżała się poniżej 10°C, osiągając wartość minimalną 5,32°C. Jest to temperatura stanowczo za niska dla potrzeb biologicznego procesu usuwania związków biogenych.

5. Zależność pomiędzy średnią dobową temperaturą ścieków w reaktorze (t_r) a średnią dobową temperaturą powietrza (t_{pow}) można opisać za pomocą równania wielomianu trzeciego stopnia: $t_r = -0,0015 \cdot (t_{pow})^3 + 0,0351 \cdot (t_{pow})^2 + 0,4793 \cdot t_{pow} + 8,7048$, ($R^2=0,78$). Na podstawie przebiegu linii regresji można stwierdzić, że wpływ temperatury powietrza na temperaturę ścieków w reaktorze zmniejsza się poniżej -5°C i powyżej +21°C.

6. Przeprowadzone badania wykazały wpływ średniej dobowej temperatury powietrza, wyższej od 5°C, na temperaturę ścieków w otwartym reaktorze biologicznym. Przy temperaturze powietrza niższej niż 5°C temperatura ścieków w reaktorze kształtowana jest temperaturą ścieków dopływających z kanalizacji.

BIBLIOGRAFIA

- Arnold E., Bohm B., Wilderem P. A. 2000. *Application of activated sludge and biofilm sequencing batch reactor technology to treat reject water from sludge dewatering systems: a comparison*. Water Science and Technology, 41(1), 2000, s. 115–122.
- Barnard J. L. *Projektowanie oczyszczalni z osadem czynnym usuwających związki biogenne*. Materiały seminarium szkoleniowego: „Filozofia projektowania a eksploatacja oczyszczalni ścieków. Lem Projekt s.c., Kraków 2000, s. 13–60.
- Bever J., Stein A., Reichmann H. *Zaawansowane metody oczyszczania ścieków*. Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1997.
- Błażejowski R. *Kanalizacja wsi*. PZITS Oddział Wielkopolski, Poznań 2003.
- Heidrich Z. *Wodociągi i Kanalizacja*. Część 2. Kanalizacja. Wydawnictwo WSiP, Warszawa 2004.
- Henze M. *Wastewater Treatment, Biological and Chemical Processes*. Springer-Verlag Telos 2002.
- Łomotowski J., Szpindor A. 1999. *Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków*. Arkady, Warszawa.
- Szpindor A. *Zaopatrzenie w wodę i kanalizacja wsi*. Arkady, Warszawa 1998.

Dr inż. Grzegorz Kaczor
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej,
Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,
Al. Mickiewicza 24/28,
30-059 Kraków, tel. (012) 632-57-88
rmkaczor@cyf-kr.edu.pl

Recenzent: Prof. dr Jerzy Ratomski