



## **WPŁYW OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA TEMPERATURĘ ORAZ OBJĘTOŚĆ ŚCIEKÓW W MAŁYM SYSTEMIE KANALIZACYJNYM**

***Piotr Bugajski, Krzysztof Chmielowski, Ewa Wąsik***  
*Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kollątaja w Krakowie*

### ***INFLUENCE OF ATMOSPHERIC PRECIPITATIONS ON TEMPERATURE AND VOLUME OF WASTEWATER IN SMALL SEWAGE SYSTEM***

#### ***Streszczenie***

Celem badań było określenie wpływu opadów atmosferycznych przedostających się do systemu kanalizacyjnego na temperaturę ścieków oraz ilość ścieków surowych dopływających do oczyszczalni. Badania przeprowadzono w systemie kanalizacyjnym o długości 15 km i średnicach przewodów od 200 do 315 mm. Do badań wytypowano dwa charakterystyczne zimowe okresy badawcze od 01 do 31 stycznia 2011 roku oraz od 01 do 29 lutego 2012 roku. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że w wyniku dopływu wód przypadkowych (deszczowych) następowało obniżenie temperatury ścieków dopływających do oczyszczalni od 2,1 do 2,2 °C. Dopływające wody przypadkowe (deszczowe) definiowane, jako udział wód przypadkowych w ogólnej objętości ścieków powodują zwiększoną objętość ścieków w kanalizacji od 37,5 do 40,0 %. Aby zapobiec negatywnym zjawiskom, jakimi są obniżanie temperatury ścieków oraz ich zwiększonej objętości w wyniku przedostawania się wód opadowych do kanalizacji należy podjąć działania w celu wykrycia i likwidacji nielegalnych połączeń rynien dachowych budynków mieszkalnych oraz uszczelnieniu systemu kanalizacyjnego.

**Słowa kluczowe:** ścieki, opady atmosferyczny, temperatura, wody przypadkowe.

### Summary

*The aim of this study was to determine of influence of atmospheric precipitations in flow to sewer system on temperature and the amount of raw sewage flowing into the sewage treatment plant. Studies carried out in the sewer system with a length of 15 km and a diameter of from 200 to 315 mm. Were chosen two characteristics winter study periods. The first period was from 01 to 31 January 2011 year and the second period was from 01 to 29 February 2012 year. The analysis found that as a result of accidental water inflow (rain water) occurred lowering the temperature of the influent wastewater to the treatment plant from 2.1 to 2.2 °C. Water flowing random (rainy water) is defined as the share of accidental waters in the total volume of waste water treatment plants result in an increased volume of sewage from 37.5 to 40.0%. To prevent negative phenomena which are reducing the temperature of plants and their increased volume as a result of the entry of rain water drains should be taken to detect and elimination of illegal connections residential gutters and sealed sewer system.*

**Key words:** wastewater, atmospheric precipitation, temperature, inflow water.

### WPROWADZENIE

Prawidłowa eksploatacja systemu odprowadzania i unieszkodliwiania ścieków to jeden z podstawowych czynników wpływających na sprawność funkcjonowania oczyszczalni (Kuśnierz M., Świerczek E. 2014; Klaczyński E. 2003). Problem ten szczególnie dotyczy małych, wiejskich oczyszczalni, które są często obiektami bez stałego nadzoru lub z ograniczonym nadzorem personelu technicznego (Krzyszowski S.; Wałęga A. 2006). Do czynników, które powodują obniżanie sprawności działania oczyszczalni lub/i podnoszą koszty oczyszczania ścieków należy zaliczyć dopływ wód przypadkowych (deszczowych) do systemu kanalizacyjnego oraz wychładzanie ścieków w kanalizacji oraz w oczyszczalni ścieków (Kaczor G. 2011; Kaczor G., Bugajski P. 2012). W wyniku dopływu wód przypadkowych do systemu kanalizacyjnego zwiększają się koszty energii elektrycznej oraz zwiększa się awaryjność pomp ściekowych, co przekłada się na wyższe koszty oczyszczania ścieków, które w ostatecznym rozrachunku ponoszą mieszkańcy. Niska temperatura ścieków w reaktorach biologicznych wpływa na obniżenie procesów biochemicznych zachodzących podczas biologicznego unieszkodliwiania zanieczyszczeń w oczyszczalniach ścieków (Henze i in. 2002). Wpływ na obniżanie się temperatury ścieków w reaktorach biologicznych ma zarówno temperatura zewnętrzna powietrza atmosferycznego, jak też temperatura ścieków dopływających z kanalizacji (Bugajski P., Kaczor G.

2012; Brzezińska A. 2011). Najczęściej spotykaną przyczyną przedostawania się wód przypadkowych do kanalizacji rozdzielczej na terenach wiejskich są podłączone do systemu kanalizacyjnego spusty rynien dachowych oraz odprowadzanie ścieków opadowych z powierzchni utwardzonych w posesji mieszkańców, co w myśl aktualnie obowiązujących przepisów prawnych jest nielegalne (Ustawa z 7 czerwca 2001r.). W ramach podnoszenia świadomości ekologicznej mieszkańców powinno się prowadzić szkolenia dotyczące prawidłowej eksploatacji przyborów sanitarnych oraz informować o szkodliwości odprowadzania wód opadowych do systemów kanalizacji rozdzielczej.

### **CEL, ZAKRES ORAZ METODYKA BADAŃ**

Celem badań było określenie wpływu pojawiających się w kanalizacji rozdzielczej wód przypadkowych (opadowych) powstałych w wyniku opadów atmosferycznych na temperaturę ścieków oraz na ilość ścieków dopływających do oczyszczalni. W pracy poddano analizie teżą badawczą: W okresie zimowym wody opadowe powstałe w czasie opadów atmosferycznych lub w wyniku roztopów śniegu wpływają na wychładzanie ścieków w kanalizacji oraz zwiększają ich objętość, czego efektem jest mniejsza skuteczność oczyszczania ścieków oraz zwiększone koszty ich oczyszczania.

Do badań wytypowano dwa charakterystyczne okresy badawcze. Pierwszy to okres od 01 do 31 stycznia 2011 roku, natomiast drugi okres od 01 do 29 lutego 2012 roku. Badania prowadzono w okresie zimowym, gdyż w tym czasie występuje największe obniżenie się temperatury ścieków, co przekłada się na zmniejszoną skuteczność procesów biochemicznych w oczyszczalni ścieków.

W pracy objęto pomiarem temperaturę ścieków w kanalizacji, temperaturę powietrza atmosferycznego, wysokość opadów atmosferycznych oraz objętość ścieków dopływających do oczyszczalni. Pomiar temperatury ścieków surowych wykonywano za pomocą sond elektronicznych umieszczonych w komorze zasuw umieszczonej przed przepompownią. Pomiar temperatury powietrza atmosferycznego dokonywany był za pomocą elektronicznego czujnika z rejestratorem Smart Button firmy ACR. Wielkość opadów atmosferycznych w poszczególnych dniach w badanych okresach pozyskano z lokalnej stacji meteorologicznej IMGW w Balicach. Pomiar ilości dopływających ścieków odbywał się za pomocą przepływomierza a stan licznika jest zapisywany jest codziennie w dzienniku eksploatacyjnym oczyszczalni.

Przy obliczaniu ilości wód przypadkowych (opadowych) w ogólnej ilości ścieków w kanalizacji posłużono się wzorem zaproponowanym przez Kaczora (2012):

$$UWO = \frac{Q_d - Q_{bd}}{Q_d} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

gdzie:

UWO – udział wód obcych %,

$Q_d$  – dobowy dopływ ścieków do oczyszczalni,  $m^3 \cdot d^{-1}$ ,

$Q_{bd}$  – średni dobowy dopływ ścieków podczas pogody bezdeszczowej,  $m^3 \cdot d^{-1}$ .

## OPIS ANALIZOWANEGO SYSTEMU KANALIZACYJNEGO

Badania prowadzono na terenie systemu kanalizacyjnego obejmującego 5 miejscowości na terenie gminy Zabierzów w województwie małopolskim. Analizowany system kanalizacyjny obejmuje swym zasięgiem miejscowości: Aleksandrowice, Balice, Burów, Brzoskwinia oraz Kleszczów. Łączna długość sieci kanalizacyjnej wynosi około 15 km, do której odprowadza ścieki 3619 mieszkańców z w/w miejscowości. Przewody kanalizacyjne wykonane są z PCV o średnicach od 200 do 315 mm. Do sieci kanalizacyjnej podłączone są 1104 przyłącza kanalizacyjne tzw. przykanaliki. Dodatkowo do systemu kanalizacyjnego odprowadzane są ścieki z Poru Lotniczego Balice w średnio dobowej ilości  $37 m^3 \cdot d^{-1}$ , Instytutu Zootechniki w średnio dobowej ilości  $56 m^3 \cdot d^{-1}$ , oraz z jednostki Wojska Polskiego w średnio dobowej ilości  $100 m^3 \cdot d^{-1}$ . Ścieki z systemu kanalizacyjnego dopływają do zbiorczej oczyszczalni zlokalizowanej w miejscowości Balice. Oczyszczalnia ścieków zaprojektowana jest na charakterystyczne dopływy ścieków:

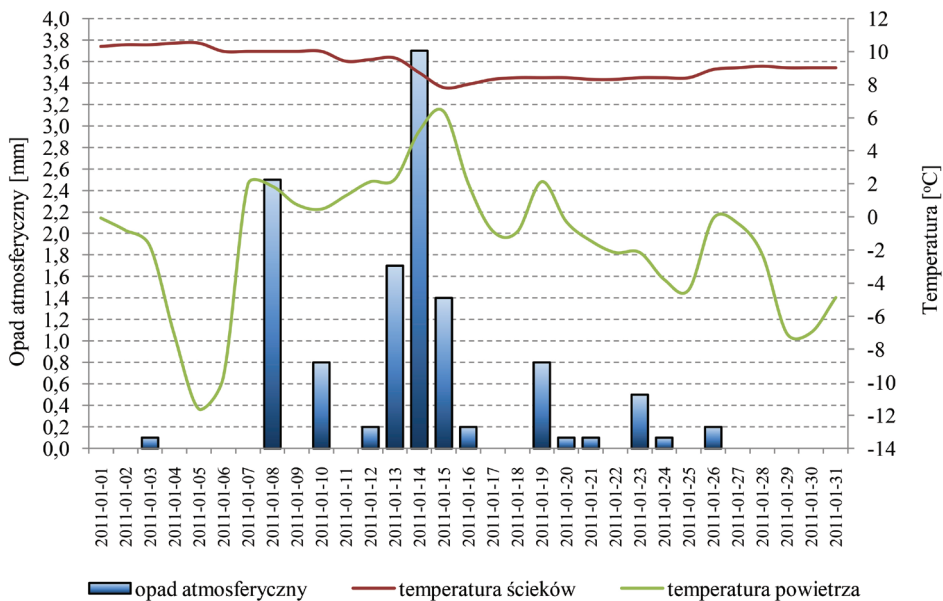
- $Q_{sr.d.} = 800 m^3 \cdot d^{-1}$ ,
- $Q_{sr.h.} = 33 m^3 \cdot h^{-1}$ ,
- $Q_{max.h.} = 98 m^3 \cdot d^{-1}$ .

Analizowana sieć kanalizacyjna wraz z oczyszczalnią ścieków tworzą system kanalizacyjny zaliczany wg polskich aktów prawnych do grupy obiektów z przedziału od 2000 do 9999 RLM. Wielkości zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych odpływających z przedmiotowej oczyszczalni wg zapisu w pozwoleniu wodnoprawnym nie powinny przekraczać wartości dopuszczalnych określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 roku (Dz. U. z 16 grudnia 2014, poz. 1800.) dla tej wielkości obiektu.

## ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

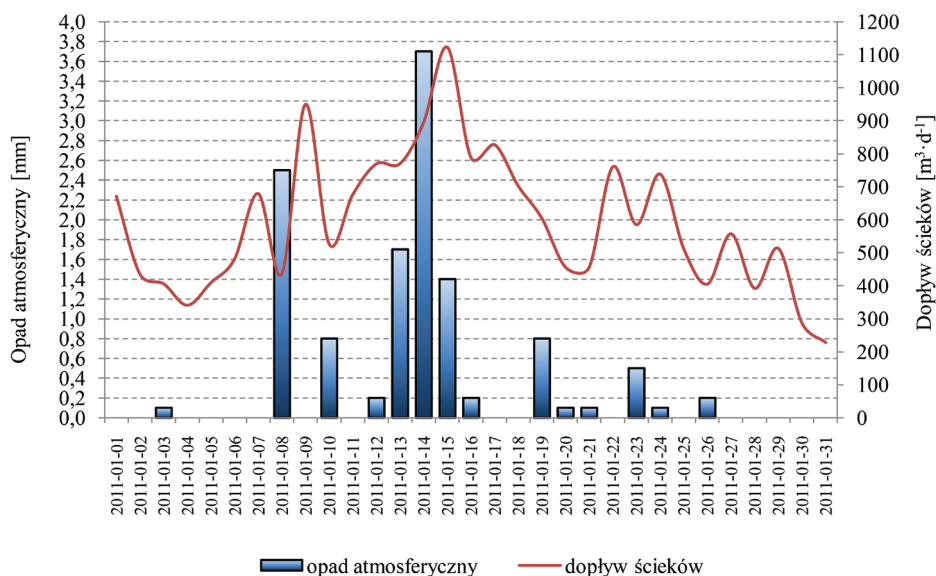
W styczniu 2011 roku suma opadów atmosferycznych na terenie analizowanego systemu kanalizacyjnego wyniosła 12,4 mm, czyli  $12,4 dm^3 \cdot m^{-2}$ . W tym okresie w analizie dotyczącej wpływu opadu atmosferycznego na temperaturę ścieków w kanalizacji uwzględniono jedynie te okresy dobowe, w których wysokość opadu była powyżej 1 mm ( $1 dm^3 \cdot d^{-1} \cdot m^{-2}$ ) a średnia dobowa temperatura powietrza atmosferycznego wynosiła powyżej 0 °C. Opad deszczu na poziomie

2,5 mm wystąpił 8 stycznia, a następnie wstąpiła 5 dniowa kumulacja opadu od 12 do 16 stycznia o łącznej wysokości 7,2 mm. W okresie tym średnia dobowa temperatura powietrza atmosferycznego wahała się od 0,5 do 6,3 °C. Średnia dobowa temperatura ścieków w kanalizacji przed pojawieniem się opadów atmosferycznych wynosiła 10,0 °C. W czasie trwania i tuż po opadach atmosferycznych zaobserwowano obniżanie się temperatury ścieków w kanalizacji. W dniu 15 stycznia średnia dobowa temperatura ścieków płynących w kanalizacji wynosiła 7,8 °C. W odniesieniu do okresu poprzedzającego opad atmosferyczny nastąpiła obniżka temperatury ścieków o 2,2 °C. Po okresie intensywnych opadów atmosferycznych stwierdzono, że temperatura ścieków w kanalizacji wzrasta i pod koniec stycznia oscyluje w granicach 9,0 °C. Przy czym w okresie po 15 stycznia do końca miesiąca średnia dobowa temperatura powietrza atmosferycznego sukcesywnie się obniża, a w większości okresów dobowych wynosi poniżej 0 °C. Na rycinie 1 przedstawiono graficznie kształtowanie się temperatury ścieków, temperatury powietrza atmosferycznego oraz wysokość opadów atmosferycznych w okresie od 1 do 31 stycznia 2011r.



**Rysunek 1.** Wpływ opadów atmosferycznych na obniżanie temperatury ścieków na tle temperatury powietrza atmosferycznego w okresie od 1 do 31 stycznia 2011r.

**Figure 1.** The influence of atmospheric precipitations on the decrease of the sewage temperature on the background of atmospheric air temperature from 1 to 31 January 2011.

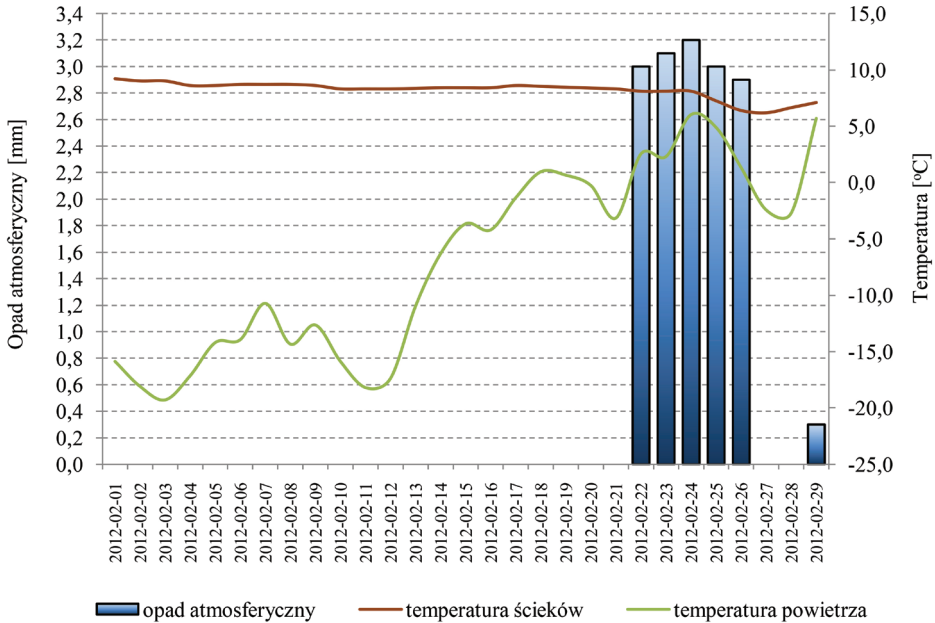


**Rysunek 2.** Wpływ opadów atmosferycznych na objętość ścieków w kanalizacji w okresie od 1 do 31 stycznia 2011r.

**Figure 2.** The influence of atmospheric precipitation on the volume of wastewater in the sewer system from 1 to 31 January 2011.

W dalszym etapie analizy dla tego okresu określono wpływ opadów atmosferycznych na objętość ścieków dopływających do oczyszczalni. Szczegółową analizę przeprowadzono w okresie od 9 do 18 stycznia zakładając, że zwiększony dopływ ścieków spowodowany przedostawaniem się wód deszczowych do kanalizacji a następnie do oczyszczalni ścieków w stosunku od wystąpienia opadów jest przesunięty w czasie od kilku do kilkunastu godzin. Opóźnienie czasowe dopływu ścieków w stosunku do wystąpienia opadów jest związane z czasem przebywania ścieków w rozległym systemie kanalizacyjnym. Średnia dobowa ilość dopływających ścieków do oczyszczalni w okresie przed wystąpieniem opadów wyniosła  $482 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . W okresie kilkunastu godzin po wystąpieniu opadu atmosferycznego w dniu 9 stycznia odnotowano dopływ średni dobowy na poziomie  $949 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Po tym czasie wraz z brakiem opadów atmosferycznych następuje zmniejszenie ilości dopływających ścieków do poziomu  $527 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  w dniu 10 stycznia, aby w kolejnych dniach od 12 do 18 stycznia wystąpił znacznie zwiększony dopływ ścieków osiągając maksimum w dniu 15 stycznia na poziomie  $1122 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . W okresie 10 dni od 9 do 18 stycznia średni dobowy dopływ ścieków do oczyszczalni wyniósł  $803 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Na podstawie obliczeń wg wzoru (1) stwierdzono, że w tym okresie dobowym udział wód przypadkowych

w ogólnej ilości dopływających ścieków do oczyszczalni wynosi blisko 40%. Na rycinie 2 przedstawiono graficznie ilość dopływających ścieków do oczyszczalni na tle wysokości opadów atmosferycznych w okresie od 01 do 31 stycznia 2011r.

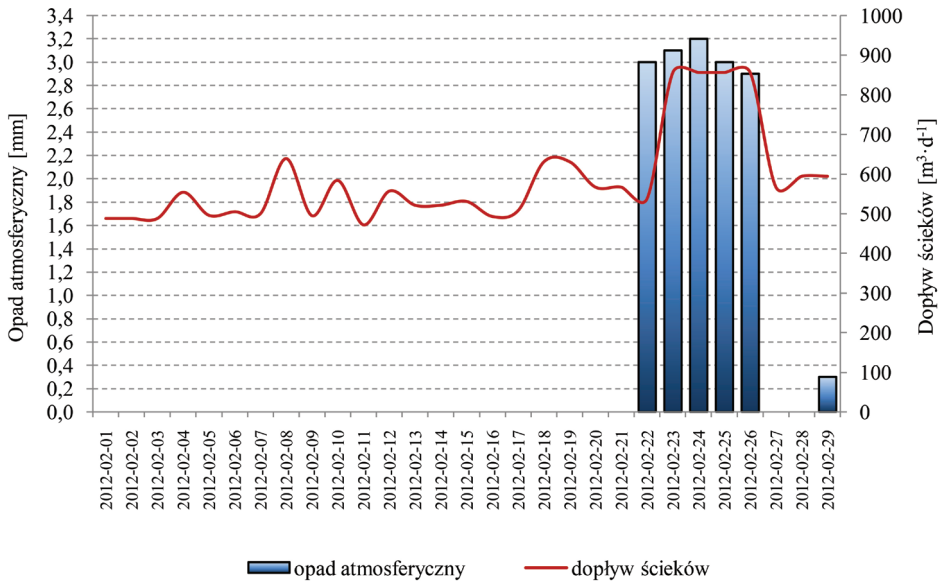


**Rysunek 3.** Wpływ opadów atmosferycznych na obniżanie temperatury ścieków na tle temperatury powietrza atmosferycznego w okresie od 1 do 29 lutego 2012r.

**Figure 3.** The influence of atmospheric precipitations on the decrease of the sewage temperature on the background of atmospheric air temperature from 1 to 29 February 2012.

Podobną analizę, jak w styczniu 2011 roku przeprowadzono dla okresu od 1 do 29 lutego 2012 roku, uznając ten okres za równie charakterystyczny. W lutym 2012 roku łączna suma opadów atmosferycznych wyniosła 15,5 mm, co oznacza opad w wysokości 15,5  $\text{dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ . Szczegółową analizę wpływu opadu atmosferycznego na temperaturę ścieków w kanalizacji przeprowadzono w okresie opadów wynoszących powyżej 1,0 mm (1,0  $\text{dm}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Opady powyżej tego poziomu wystąpiły od 22 do 26 lutego. W tym okresie średnia dobowa temperatura powietrza atmosferycznego była powyżej 0 °C i wahała się od 1,3 do 6,0 °C. W dniu poprzedzającym opad atmosferyczny 21 lutego temperatura ścieków w kanalizacji wynosiła 8,3 °C, natomiast w dniu po zakończeniu opadów 27 lutego temperatura ścieków wynosiła 6,2 °C. Zatem w okresie wystąpienia pięciodniowych opadów atmosferycznych łącznie na poziomie

15,2 m<sup>3</sup>·m<sup>-2</sup>, nastąpił spadek temperatury ścieków w kanalizacji o 2,1 °C. Należy również stwierdzić, że od początku lutego średnia dobowa temperatura powietrza atmosferycznego była poniżej 0 °C, obniżając się nawet do – 19,3 °C. W tym okresie nastąpiło nieznaczne obniżenie temperatury ścieków z 9,2 do 8, 3 °C. Zatem można stwierdzić, że w znacznie większym stopniu na obniżenie temperatury ścieków w kanalizacji ma wpływ dopływ wód deszczowych niż temperatura zewnętrzna powietrza atmosferycznego. Na rycinie 3 przedstawiono graficznie kształtowanie się temperatury ścieków, temperatury powietrza atmosferycznego oraz wysokość opadów atmosferycznych w okresie od 1 do 29 lutego 2012r.



**Rysunek 4.** Wpływ opadów atmosferycznych na objętość ścieków w kanalizacji w okresie 1 do 29 lutego 2012r.

**Figure 4.** The influence of atmospheric precipitation on the volume of wastewater in the sewer system from 1 to 29 February 2012.

Również w lutym 2012 roku zaobserwowano zwiększoną objętość ścieków w kanalizacji w okresie intensywnych opadów atmosferycznych. Aby stwierdzić ile wynosi udział wód przypadkowych (deszczowych) przeprowadzono analizę objętości ścieków w kanalizacji w okresie przed wystąpieniem opadów oraz w czasie ich trwania. W okresie od początku lutego objętość średnia dobowa ścieków w kanalizacji wynosiła 535 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>. W dniu następnym po pojawienia się opadów atmosferycznych tj. 23 lutego średnia dobowo objętość ścieków w kanalizacji zwiększyła się do poziomu 856 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup> i na tym poziomie utrzymywała się do 26 lutego. Po zakończeniu czasu trwania opadów objętość ścieków w kanali-



zacji oscyluje w granicach podobnych, jak w okresie przed opadami deszczu. Na podstawie obliczeń wg wzoru (1) stwierdzono, że w okresie 4 dni w lutym 2012 roku udział wód przypadkowych w ogólnej ilości dopływających ścieków do oczyszczalni wynosi 37,5%. Na rycinie 4 przedstawiono graficznie ilość dopływających ścieków do oczyszczalni na tle wysokości opadów atmosferycznych w okresie od 1 do 29 lutego 2012r.

## **WNIOSKI**

1. W obu badanych okresach stwierdzono znaczny wpływ wód przypadkowych (deszczowych) powstałych w wyniku opadów atmosferycznych na obniżanie temperatury ścieków w kanalizacji.
2. W wyniku dopływu wód przypadkowych (deszczowych) następowało obniżenie temperatury ścieków dopływających do oczyszczalni od 2,1 do 2,2 °C.
3. Dopływające wody przypadkowe (deszczowe) definiowane, jako udział wód przypadkowych w ogólnej objętości ścieków powodują zwiększoną objętość ścieków w kanalizacji od 37,5 do 40 %.
4. Aby zapobiec negatywnym zjawiskom, jakimi są obniżanie temperatury ścieków oraz ich zwiększonej objętości w wyniku przedostawania się wód opadowych do kanalizacji należy podjąć działania w celu wykrycia i likwidacji nielegalnych połączeń rynien dachowych budynków mieszkalnych oraz uszczelnieniu systemu kanalizacyjnego.

## **LITERATURA**

- Brzezińska A. (2011). Zmiany temperatury ścieków ogólnospławnych na podstawie pomiarów on-line. *Inżynieria Ekologiczna* 26, 290-302.
- Bugajski P., Kaczor G. (2012). Wpływ wybranych czynników na temperaturę ścieków w bioreaktorze przepływowym. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 2(I), s.75-85.
- Henze M., Harremoës P., Arvin E. (2001). Wastewater treatment – Biological and Chemical process. *Third edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.*
- Kaczor G. (2011). The effect of heavy precipitation on the infiltration and inflow into small sewage treatment plants in 2010. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 12, 69-77.
- Kaczor G. (2012). Wpływ wód infiltracyjnych i przypadkowych na funkcjonowanie małych systemów kanalizacyjnych. Rozprawa habilitacyjna. Zeszyty naukowe Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, zeszyt nr 495, rozprawy, nr 372, ss. 228, ISSN 1899-3486.

- Kaczor G., Bugajski P. (2012). Impact of Snowmelt Inflow on Temperature of Sewage Discharged to Treatment Plants. *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 21, No. 2, 381-386.
- Klaczyński E. (2003). *Doświadczenia z eksploatacji wiejskich oczyszczalni ścieków w gminie Śrem*. Projektowanie, budowa i eksploatacja przydomowych oczyszczalni ścieków. *Wyd. PZITS o/wielkopolski*.
- Krzanowski S., Wałęga A. (2006). Wykorzystanie teorii niezawodności i statystycznej kontroli jakości do oceny eksploatacyjnej wiejskich oczyszczalni ścieków. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 3(2), 17-37.
- Kuśnierz M., Świerczek E. (2014). Infrastruktura krytyczna a niezawodność systemu odprowadzania i oczyszczania ścieków w niekorzystnych warunkach pogodowych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 1(1), 125-135.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 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 16 grudnia 2014, poz. 1800.)
- Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 roku. O zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków. (Dz. U. 2001 Nr 72, poz. 747).

Dr hab. inż. Piotr Bugajski  
Dr hab. inż. Krzysztof Chmielowski  
Dr inż. Ewa Wąsik  
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej,  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,  
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków  
p.bugajski@ur.krakow.pl  
k.chmielowski@ur.krakow.pl  
e.wasik@ur.karkow.pl

Wpłynęło: 17.02.2015

Akceptowano do druku: 15.10.2015