



## **WPŁYW ŚCIEKÓW POCHODZĄCYCH ZE ZBIORNIKÓW BEZODPŁYWOWYCH NA ZMIENNOŚĆ STĘŻEŃ ZANIECZYSZCZEŃ W ŚCIEKACH PODDAWANYCH PROCESOM OCZYSZCZANIA**

*Piotr Bugajski, Krzysztof Chmielowski, Agnieszka Cupak, Ewa Wąsik*  
*Uniwersytet Rolniczy im. H. Kollątaja w Krakowie*

### ***INFLUENCE OF SEWAGE FROM SEPTIC TANKS ON THE VARIABILITY CONCENTRATION OF POLLUTANTS IN SEWAGE UNDERGOING PURIFICATION PROCESSES***

#### ***Streszczenie***

Celem pracy było określenie wpływu udziału ścieków pochodzących ze zbiorników na nieczystości płynne na zmienność stężeń zanieczyszczeń w mieszaninie ścieków poddawanych procesowi oczyszczania w zbiorczej oczyszczalni ścieków. W pracy pomiarem objęto dobową ilość ścieków dopływających oraz dowożonych taborem asenizacyjnym i określono udział procentowy ilość ścieków dowożonych w stosunku do całości ścieków poddawanych procesowi oczyszczania. W okresie 5-cio letnich badań pobrano i poddano analizie 20 próbek ścieków, w których wykonano oznaczenia wskaźników: BZT<sub>5</sub>, ChZT oraz zawiesina ogólna. Po wykonaniu analizy statystycznej stwierdzono, że wraz ze wzrostem udziału ścieków dowożonych o 1% wzrasta wartość BZT<sub>5</sub> o 14,6 mgO<sub>2</sub> · dm<sup>-3</sup>, wzrasta wartość ChZT o 40,2 mgO<sub>2</sub> · dm<sup>-3</sup> oraz wzrasta stężenie zawiesiny ogólnej o 21,4 mg · dm<sup>-3</sup> w ogólnej mieszaninie ścieków poddawanych procesowi oczyszczania.

**Słowa kluczowe:** ścieki, zbiorniki na nieczystości ciekłe, korelacja, zanieczyszczenia.

### **Abstract**

*The aim of the study was to determine the influence of the percentage of sewage from septic tanks to the variability of pollutant concentrations in the mixture of sewage undergoing treatment process in the collective sewage treatment plant. The study involved measuring the daily amount of wastewater influent and from septic tanks and determined the percentage of the amount of sewage from septic tanks in relation to the total wastewater being purified. During the 5-year study collected and analyzed 20 samples of sewage, which were made markings indicators:  $BOD_5$ , COD and total suspension. After the statistical analysis, it was found that with the increase of the share of sewage from septic tanks by 1% increased the value of  $BOD_5$   $14.6 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , increases the value of COD  $40.2 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$  and increases the concentration of total suspension of  $21,4 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  in the total mixture of the waste water being purified.*

**Keywords:** *sewage, septic tanks, correlation, pollutants.*

## **WPROWADZENIE**

Według aktualnych danych tylko 35% mieszkańców terenów wiejskich posiada możliwość zbiorczego odprowadzenia i unieszkodliwienia ścieków bytowych, co oznacza, że część budynków na tych terenach podłączonych jest do zbiorczych systemów kanalizacyjnych ze zbiorczą oczyszczalnią a część posiada indywidualny system oczyszczania ścieków popularnie nazywany przydomową oczyszczalnią ścieków (GUS 2014, Józwiakowski K. 2012; Jucherski A. i in. 2005). Duża grupa mieszkańców terenów niezurbanizowanych, którzy nie posiadają możliwości podłączenia się do systemu kanalizacyjnego oraz nie posiada oczyszczalni przydomowej, gromadzi ścieki bytowe w bezodpływowych zbiornikach na nieczystości płynne, które następnie powinny być wywożone taborem asenizacyjnym w celu utylizacji do zbiorczej oczyszczalni ścieków (Błażejowski 2012). Użytkowanie zbiorników bezodpływowych popularnie zwanych „szambo” wiąże się z ich prawidłową eksploatacją (Błażejowski R., Nawrot T., 2009; Nowak R. 2012; Obarska-Pempkowiak H. 2015). Zbiornik taki powinien być odpowiednio zwymiarowany, czyli mieć taką pojemność, aby wywożenie ścieków odbywało się z częstotliwością, co 3-4 tygodnie (PN-EN 12566-1:2004). Przy dłuższych okresach przebywania ścieków w tego rodzaju zbiornikach, może zachodzić proces cementowania osadów dennych, co może skutkować trudnością ich całkowitego opróżnienia. Ścieki pochodzące z zbiorników na nieczystości płynne znacznie różnią się wielkościami i stężeniami zanieczyszczeń od typowych ścieków bytowych płynących systemem kanalizacyjnym (Tom-

czuk B. 2011; Kaczor G. 2009; Bugajski P., Bergel T. 2008). Wysokie koszty opróżniania zbiorników skłaniają użytkowników do dużego ograniczenia zużywanego wody w swoich budynkach, co znacznie wpływa na wzrost stężeń zanieczyszczeń w nich zawartych. Zbyt długie odstępy pomiędzy opróżnianiem zbiorników powodują, że ścieki te są na ogół dowożone w stanie zgniłym, a pod względem składu podobne są do osadów o bardzo wysokim uwodnieniu. W wyniku procesów fermentacji beztlenowej zanieczyszczeń organicznych w tych zbiornikach ścieki te wydzielają nieprzyjemny zapach siarkowodoru i mają czarno-szarą barwę. Ścieki pochodzące ze zbiorników na nieczystości płynne są dowożone na teren zbiorczej oczyszczalni w sposób nieregularny zarówno w odniesieniu do ilości i częstości kursów taboru asenizacyjnego (Bugajski P., Satora S. 2009; Jeleń U., Wyrwik Sz. 2003). Ponieważ procesy oczyszczania metodami biologicznymi są wrażliwe na duże zmiany zarówno ilości, jak też jakości ścieków należy z dużą ostrożnością dozować ilość ścieków pochodzących ze zbiorników na nieczystości płynne do ogólnej ilości ścieków poddawanych procesom oczyszczania (Krzanowski S., Wałęga A. 2008; Ladu J., Lü X. 2014; Elmitwalli T. A., Ralf, O. 2007; Shibao L. 2015). Optymalnym rozwiązaniem dla eksploatatora oczyszczalni jest określenie ilości ścieków dowożonych podanej w % w stosunku do ilości ścieków dopływających, która nie wpłynie na znaczne zmiany stężenia zanieczyszczeń w ogólnej ilości ścieków poddawanych procesom oczyszczania.

## **CEL, ZAKRES ORAZ METODYKA**

Celem pracy było określenie zależności korelacyjnej pomiędzy ilością ścieków pochodzących ze zbiorników na nieczystości płynne a stężeniami zanieczyszczeń w mieszaninie ścieków poddawanych procesowi oczyszczania w zbiorczej oczyszczalni ścieków. Aby wykazać w/w wpływ pomiarem objęto dobową ilość ścieków dopływających oraz dowożonych taborami asenizacyjnymi i określono udział procentowy ilości ścieków dowożonych w stosunku do całości ścieków poddawanych procesowi oczyszczania. Badania prowadzono w okresie 5 lat od 2009 do 2013 roku. W badanym okresie pobrano i wykonano analizę fizyczno-chemiczną 20 próbek ścieków, po 4 próbki w każdym roku kalendarzowym. Zanieczyszczenia w ściekach określono wskaźnikami: BZT<sub>5</sub>, ChZT oraz zawiesina ogólna. Pomiaru ilości ścieków dopływających i dowożonych dokonywano w dobie, w której pobierano próbki ścieków do analizy. Probki ścieków pobierano ze zbiornika przed ciągiem technologicznym oczyszczalni, w którym następuje pełne wymieszanie ścieków dopływających i dowożonych taborami asenizacyjnymi. Probki ścieków pobierano zgodnie z PN-ISO 5667-10:1997: „*Jakość wody. Pobieranie próbek. Wytyczne do pobierania próbek ścieków*”. Analizę ścieków wykonano zgodnie z metodami referencyjnymi zamiesz-

czonymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska obowiązującymi w okresie prowadzonych badań.

## **OPIS ANALIZOWANEGO SYSTEMU KANALIZACYJNEGO**

Badania prowadzono na terenie systemu kanalizacyjnego obejmującego swym zasięgiem miejscowość Iwanowice Dworskie. W skład systemu kanalizacyjnego wchodzi sieć kanalizacyjna o łącznej długości 7,85 km, z której ścieki bytowe kolektorami kanalizacyjnymi dopływają do zbiorczej oczyszczalni typu ECOLO-CHIEF. Oczyszczalnia ścieków zaprojektowana i wykonana została na średni dobowy dopływ ścieków  $Q_{\text{sr.d.}}=450 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . W okresie badań oczyszczalnia była niedociążona hydraulicznie, ponieważ średnia łączna ilość ścieków dopływających i dowożonych wahała się 65,1 do  $269,0 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Wielkość analizowanej oczyszczalni ścieków zaliczana jest wg obowiązującego Rozporządzenia Ministra Środowiska do grupy obiektów z przedziału od 2000 do 9999 RLM.

## **ANALIZA WYNIKÓW**

W analizowanym okresie ścieki poddawane procesom oczyszczania charakteryzowały się ponadprzeciętnym stężeniem zanieczyszczeń w porównaniu do typowych stężeń zanieczyszczeń w ściekach opisanych w literaturze (Kaczor G. 2009; Heidrich Z., Kozak T. 2009).

Średnio-dobowa ogólna ilość oczyszczanych ścieków wyniosła  $111,9 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . W badanym okresie ilość oczyszczanych ścieków była zmienna i wahała się od 65,1 do  $269,0 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . W ogólnej ilości mieszaniny ścieków dopływających i dowożonych znaczny udział procentowy miały ścieki pochodzące ze zbiorników bezodpływowych. Udział ten nie był równomierny w okresie badań i wahał się od 18,7% do 65,6% w ogólnej ilości ścieków, natomiast średnio wyniósł 48%.

Analizując wartości i stężenia wskaźników zanieczyszczeń w mieszaninie ścieków dopływających z systemu kanalizacyjnego oraz dowożonych taborem asenizacyjnym stwierdzono, że średnia wartość  $\text{BZT}_5$  wyniosła  $811,5 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Wahania wartości tego parametru wynosiły od 360,0 do  $1430,0 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Różnica pomiędzy wartością minimalną a maksymalną dla  $\text{BZT}_5$  wyniosła  $1070 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Współczynnik zmienności wartości  $\text{BZT}_5$  w ściekach był wysoki i wyniósł 0,43, co świadczy o dużych wahaniami tego parametru w mieszaninie ścieków. Równie dużą zmienność i wysokie wartości odnotowano w odniesieniu do drugiego z analizowanych wskaźników organicznych ChZT. Średnia wartość tego parametru w ściekach wyniosła  $1829,8 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , a wahania tego wskaźnika wyniosły od 520,0 do  $3526,0 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , przy współczynniku zmienności wynoszącym 0,52. Różnica pomiędzy wartością minimalną a maksymalną dla tego wskaźnika wyniosła  $3006 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . W odniesieniu do trzeciego

z analizowanych wskaźników, jakim jest zawiesina ogólna podobnie, jak w poprzednich przypadkach stwierdzono wysokie stężenia tego parametru oraz duże wahania stężenia w mieszaninie ścieków. Średnie stężenie zawiesiny ogólnej wyniosło  $1046,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , natomiast wahania zawiesiny ogólnej były od  $310,0$  do  $2000,0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Różnica pomiędzy wartością minimalną a maksymalną wyniosła  $1690,0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ , a współczynnik zmienności wyniósł  $0,53$  i był najwyższy z trzech analizowanych parametrów. Charakterystyczne wartości analizowanych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach dopływających i dowożonych zaprezentowano w tabeli 1.

**Tabela 1.** Charakterystyka zanieczyszczeń w ściekach dopływających i dowożonych taborem asenizacyjnym

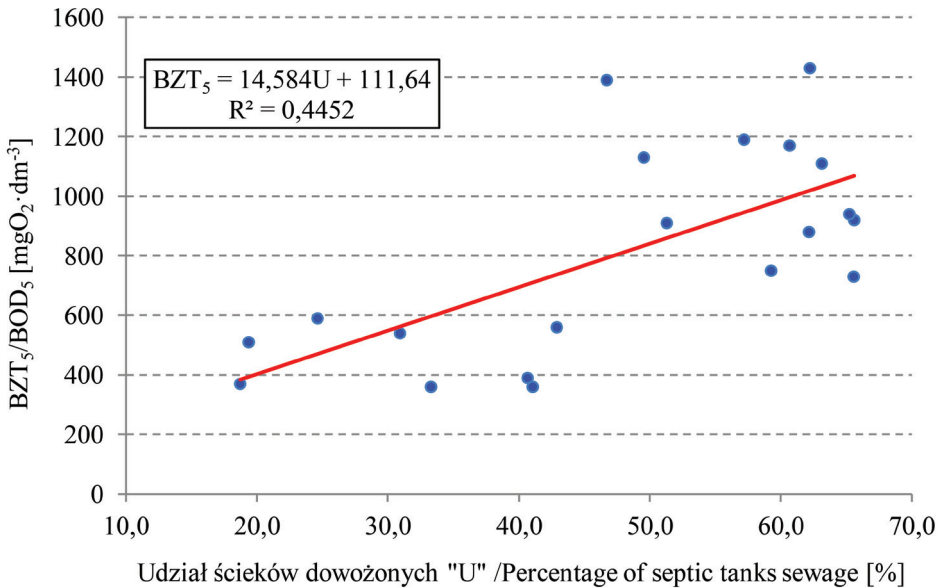
**Table 1.** Characteristics of pollutants in the sewage supplied by the sewerage system and vacuum trucks

Wskaźnik Index	Statystyka/Statistics					
	Średnia Mean ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ )	Mediana Median ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ )	Min. Min. ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ )	Maks. Max. ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ )	Odchylenie standardowe Standard of deviation ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ )	Współczynnik zmienności Coefficient of variation (-)
BZT <sub>5</sub> BOD <sub>5</sub>	811,5	815,0	360,0	1430,0	347,2	0,43
ChZT COD	1829,8	1600,0	520,0	3526,0	942,9	0,52
Zawiesina ogólna Total suspension	1046,5	975,0	310,0	2000,0	550,5	0,53

W kolejnym etapie analizy określono wpływ udziału wyrażonego w procentach ścieków dowożonych ze zbiorników bezodpływowych na stężenie zanieczyszczeń w mieszaninie ścieków poddawanych oczyszczaniu. Wpływ udziału ścieków dowożonych na stężenia i wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach określono na podstawie korelacji liniowej Pearsona. W analizie statystycznej przyjęto zakresy współczynnika korelacji opracowanej wg Stanisza (1998). Natomiast na podstawie równań opisujących linie regresji określono zmianę stężenia lub wartości wskaźnika pod wpływem zmian udziału procentowego ścieków dowożonych w ogólnej ilości ścieków, gdzie udział jest zmienną niezależną, a stężenie lub wartość parametru zmienną zależną.

Analizując wpływ udziału procentowego ścieków pochodzących ze zbiorników bezodpływowych na wielkość BZT<sub>5</sub> w mieszaninie ścieków korela-

cja wyniosła  $r_{xy}=0,67$ . W przyjętej skali określono ten poziom korelacji, jako wysoki. Istotność statystyczną wyliczonego współczynnika korelacji potwierdzono testem t-Studenta, którego wartość wyniosła  $t=0,001310$  na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ . Z równania opisującego linię regresji przedstawionej na rycinie 1 można stwierdzić, że wraz ze wzrostem udziału ścieków dowiezionych o 1% w ogólnej ilości ścieków wzrasta wartość  $BZT_5$  o  $14,6 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Współczynnik determinacji  $R^2=0,4452$  wskazuje, że przedstawiony model regresji opisuje 44,52% obserwacji. Wpływ udziału procentowego ścieków dowiezionych na wartość  $BZT_5$  w mieszaninie ścieków przedstawiono na rycinie 1.

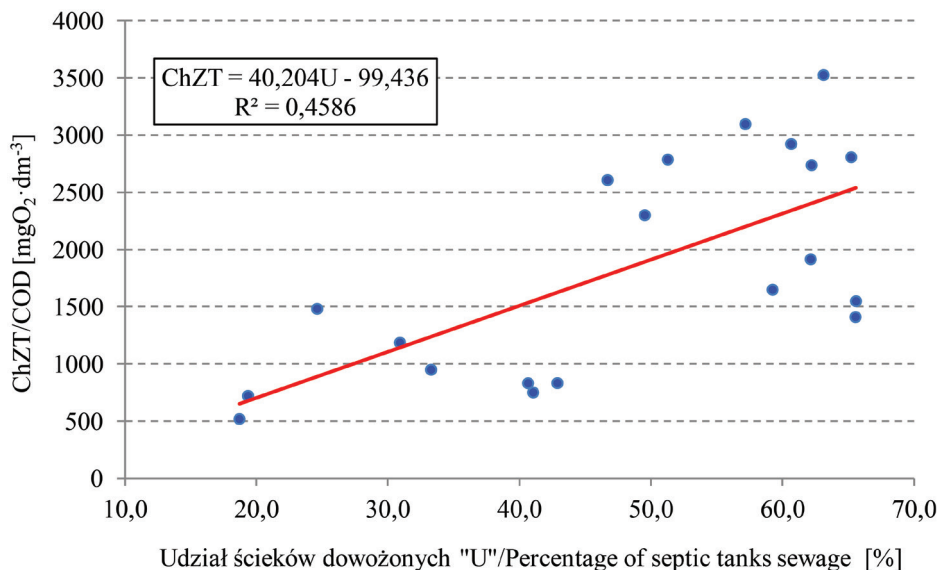


**Rysunek 1.** Wpływ udziału procentowego ścieków dowiezionych na  $BZT_5$  w mieszaninie ścieków

**Figure 1.** The influence percentage of septic tanks sewage on  $BOD_5$  in mixed sewage

W odniesieniu do kolejnego wskaźnika tlenowego, jakim jest ChZT stwierdzono, że wpływ udziału procentowego ścieków pochodzących ze zbiorników bezodpływowych na wartość tego parametru w mieszaninie ścieków jest również wysoki. Zależność korelacyjną pomiędzy zmiennymi w tym przypadku wynosi  $r_{xy}=0,68$ , co w przyjętej skali określa poziom korelacji, jako wysoki. Istotność statystyczną wyliczonego współczynnika korelacji potwierdzono testem t-Studenta, którego wartość wyniosła  $t=0,001038$  na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ . Na podstawie równania opisującego linię regresji przedstawionej na rycinie 2 można stwierdzić, że wraz ze wzrostem udziału ścieków dowiezionych

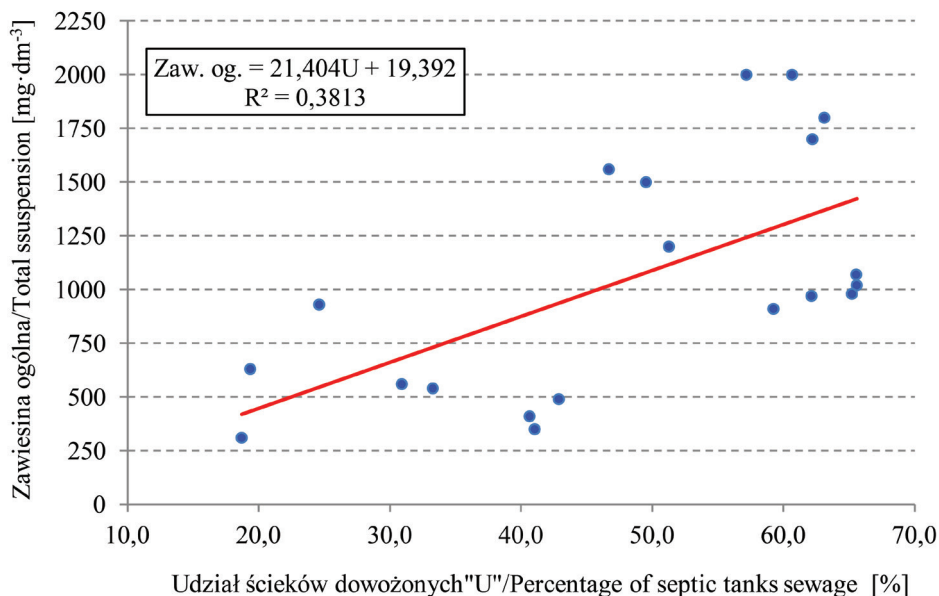
o 1% w ogólnej ilości ścieków wzrasta wartość ChZT o  $40,2 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ . Współczynnik determinacji  $R^2=0,4586$  wskazuje, że przedstawiony model regresji opisuje 45,86% obserwacji. Wpływ udziału procentowego ścieków dowożonych na wartość ChZT w mieszaninie ścieków przedstawiono na rycinie 2.



**Rysunek 2.** Wpływ udziału procentowego ścieków dowożonych na COD w mieszaninie ścieków

**Figure 2.** The influence percentage of septic tanks sewage on COD in mixed sewage

W odniesieniu do trzeciego z analizowanych wskaźników, jakim jest zawiesina ogólna stwierdzono podobnie jak w dwóch poprzednich przypadkach duży wpływ udziału procentowego ścieków pochodzących z szamb na stężenie tego parametru w mieszaninie ścieków poddawanych procesowi oczyszczania. Zależność korelacyjną pomiędzy udziałem procentowym ścieków dowożonych a stężeniem zawiesiny w mieszaninie ścieków wyniosła  $r_{xy}=0,62$ , co określa się, jako zależność wysoką. Istotność statystyczną wyliczonego współczynnika korelacji potwierdzono testem t-Studenta, którego wartość wyniosła  $t=0,003723$  na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ . Na podstawie równania opisującego linię regresji przedstawionej na rycinie 3 można stwierdzić, że wraz ze wzrostem udziału ścieków dowożonych o 1% w ogólnej ilości ścieków wzrasta stężenie zawiesiny ogólnej o  $21,4 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Współczynnik determinacji  $R^2=0,3813$  wskazuje, że przedstawiony model regresji opisuje 38,13% obserwacji. Wpływ udziału procentowego ścieków dowożonych na stężenie zawiesiny ogólnej w mieszaninie ścieków przedstawiono na rycinie 3.



**Rysunek 3.** Wpływ udziału procentowego ścieków dowożonych stężenie zawiesiny ogólnej w mieszaninie ścieków

**Figure 3.** The influence percentage of septic tanks sewage on concentration total suspension in mixed sewage

## WNIOSKI

1. Na podstawie analizy statystycznej dotyczącej wpływu udziału procentowego ścieków pochodzących ze zbiorników bezodpływowych na wielkości i stężenia wybranych wskaźników zanieczyszczeń w mieszaninie ścieków poddawanych procesowi oczyszczania stwierdzono, że korelacja tej zależności jest na poziomie wysokim.
2. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem udziału ścieków dowożonych o 1% wzrasta wartość BZT<sub>5</sub> o 14,6 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup> w mieszaninie ścieków dopływających i dowożonych.
3. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem udziału ścieków dowożonych o 1% w mieszaninie ścieków wzrasta wartość ChZT o 40,2 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>.
4. Wraz ze wzrostem udziału ścieków dowożonych o 1% w ogólnej ilości ścieków wzrasta stężenie zawiesiny ogólnej o 21,4 mg·dm<sup>-3</sup>.
5. Aby zmniejszyć nierównomierność wartości i stężeń wskaźników zanieczyszczeń w ściekach poddawanych procesowi oczyszczania należy rozbudować system kanalizacyjny, przez co zwiększona zostanie



ilość ścieków dopływających a zmniejszona ilość ścieków dowożonych taborem asenizacyjnym

*Badania zrealizowane w ramach DS 3347/KISiGW/2016 zostały sfinansowane z dotacji na naukę przyznanej przez MNiSW.*

## LITERATURA

Błażejowski R., Nawrot T. (2009). Jak uszczelnić system gromadzenia i dowożenia nieczystości ciekłych?, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 9, 2 – 3.

Błażejowski R. (2012). Stan i możliwości rozwoju infrastruktury wodociągowo-kanalizacyjnej w Polsce. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2, 49 – 51.

Bugajski P., Bergel T. (2008). Wielkości wybranych stężeń zanieczyszczeń w ściekach bytowych odpływających z terenów wiejskich. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 9, 28 – 29.

Bugajski P., Satora S. (2009). Bilans ścieków dopływających i dowożonych do oczyszczalni na przykładzie wybranego obiektu. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 5, 73 – 82.

Elmitwalli, T. A., Ralf, O. (2007). Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Water Research*, 41(6), 1379 – 1387.

GUS – (Główny Urząd Statystyczny): Infrastruktura komunalna w 2013 r., Wyd. GUS. Warszawa 2014.

Heidrich Z., Kozak T. (2009). Jednostkowe ładunki zanieczyszczeń charakteryzujące sieci miejskie. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 12, 20 – 22.

Ladu J., Lü X. (2014). Effects of hydraulic retention time, temperature, and effluent recycling on efficiency of anaerobic filter in treating rural domestic wastewater. *Water Science and Engineering*, 7(2), 168 – 182.

Jeleń U., Wyrwik Sz. (2003). Wpływ ścieków dowożonych beczkowozami na prawidłową pracę małej oczyszczalni ścieków na podstawie eksploatacji oczyszczalni w Trzebini-Sierszy. *Forum Eksploatatora* 3, 5 – 8.

Jucherski A., Golka W., Eymontt A. (2005). In: Paper at Conference “Rural development capacity in Carpathian Europe”. Ed.: Rural areas and development, vol 3, 167 – 65.  
Jóźwiakowski K. (2012). Przydomowe oczyszczalnie ścieków na terenach wiejskich – cz. 1. *Inżynier Budownictwa* 10, 57 – 60.

Kaczor G. (2009). Stężenia zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych z wiejskich systemów kanalizacyjnych województwa małopolskiego. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 9, 97 – 104.

Krzanowski S., Wałęga A. (2008). Effectiveness of organic substance removal in household conventional activated sludge and hybrid treatment plants. *Environment Protection Engineering* 34/3, 5 – 12.

Nowak R. (2012). Kanalizacja bezodpływowa – potencjalne i realne zagrożenie dla środowiska przyrodniczego. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 6, 263 – 265.

Obarska-Pempkowiak H., KołECKA K., Gajewska M., Wojciechowska E., Ostojski A. (2015). Zrównoważone gospodarowanie ściekami na terenach wiejskich. *Annual Set The Environment Protection (Rocznik Ochrona Środowiska)* 17, 585 – 602.

PN-EN 12566-1:2004 – Małe oczyszczalnie ścieków dla obliczeniowej liczby mieszkańców (OLM) do 50. Cz. 1. Prefabrykowane osadniki gnilne.

Shibao L., Liang P., Xiao B. (2015). Study on method of domestic wastewater treatment through new-type multi-layer artificial wetland. *International Journal of Hydrogen Energy* 40, 11207 – 11214.

Stanisz A. Przystępny kurs statystyki. Tom 1. Wydawnictwo StatSoft Polska Sp. z o.o. Kraków 1998.

Tomczuk B. (2011). Zmienność ilości ścieków i nieczystości ciekłych oraz ładunku zanieczyszczeń na przykładzie oczyszczalni ścieków komunalnych w Lipsku n.Biebrzą. *Inżynieria Ekologiczna* 24/201, 145 – 153.

Dr hab. inż. Piotr Bugajski, Dr hab. inż. Krzysztof Chmielowski  
Dr inż. Agnieszka Cupak, Dr inż. Ewa Wąsik  
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej,  
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie,  
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków  
p.bugajski@ur.krakow.pl

Wpłynęło: 8.04.2016

Akceptowano do druku: 05.05.2016