

## **ANALIZA ZMIENNOŚCI ILOŚCIOWEJ ŚCIEKÓW DOPYŁWAJĄCYCH DO WYBRANYCH OCZYSZCZALNI POWIATU SANOCKIEGO**

Dariusz Młyński, Krzysztof Chmielowski

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Anna Młyńska

Politechnika Krakowska

**Streszczenie.** W artykule dokonano analizy zmienności ilościowej ścieków dopływających do wybranych oczyszczalni powiatu sanockiego: Zagórze oraz Beska. Badania przeprowadzono na podstawie wyników rejestrów dobowych objętości ścieków dopływających do oczyszczalni w wieloletnim okresie 2007–2014 (Zagórze) oraz 2011–2014 (Besko). Na podstawie przeprowadzonej analizy wykazano, że badane oczyszczalnie funkcjonowały w warunkach niedociążenia hydraulicznego. Ponadto stwierdzono, znaczną nierównomierność ilości ścieków dopływających do oczyszczalni. Analiza trendu wykazała istotną tendencję wzrostową objętości ścieków dopływających do oczyszczalni w Zagórzu oraz stały dopływ dla Beska. Badania sezonowości nie wykazały istotnej zależności pomiędzy dopływem ścieków do badanych oczyszczalni a miesiącem, w którym on występuje. Dodatkowo stwierdzono, że istnieje istotna zależność pomiędzy wysokością opadu atmosferycznego a objętością ścieków dopływającą do oczyszczalni w Zagórzu oraz Besku.

**Słowa kluczowe:** ścieki, obciążenie hydrauliczne, oczyszczalnie

### **WSTĘP**

Polska jako członek Unii Europejskiej zobowiązana jest do ciągłej poprawy gospodarki wodno-ściekowej. Dokumentem przedstawiającym obecny stan skanalizowania poszczególnych obszarów jest Krajowy Program Oczyszczania Ścieków (KPOŚ). Zawarte

---

Adres do korespondencji – Corresponding authors: mgr inż. Dariusz Młyński, dr hab. inż. Krzysztof Chmielowski, Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, mgr inż. Anna Młyńska, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, e-mail: [dariusz.mlynski@gmail.com](mailto:dariusz.mlynski@gmail.com), [k.chmielowski@ur.krakow.pl](mailto:k.chmielowski@ur.krakow.pl), [a.mlynska13@gmail.com](mailto:a.mlynska13@gmail.com).

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2017

w nim informacje służą ocenie sytuacji wodno-ściekowej danej aglomeracji, dotyczącej zarówno zbiorczych systemów kanalizacyjnych, jak i zbiorczych oczyszczalni, przyjmujących ścieki z określonego obszaru [Miernik i Młyński 2014, Chmielowski i in. 2016a, Kaczor i in. 2016].

W zagadnieniach projektowania oraz optymalizacji układów oczyszczania ścieków kluczową rolę odgrywają informacje o natężeniu ścieków dopływających do oczyszczalni. Ilość ścieków komunalnych dopływających do zbiorczych oczyszczalni wynika głównie z ilości wody zużywanej na cele społeczno-gospodarcze. Ilość ta charakteryzuje się znaczną nierównomiernością w czasie. Stwarza to problemy wyznaczenia miarodajnej objętości ścieków, niezbędnej do wymiarowania elementów systemów kanalizacyjnych oraz oczyszczalni ścieków. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż w ostatnich latach zauważalny jest ciągły spadek zużycia wody przez wszystkie grupy odbiorców, co znajduje bezpośrednie odbicie w ilości powstających ścieków. Tendencja spadkowa poboru wody oraz ilości odprowadzanych ścieków nie zawsze jednak przekładała się na modernizację systemów odprowadzania oraz oczyszczania ścieków [Sobota i Szetela 2005, Bartkowska 2016].

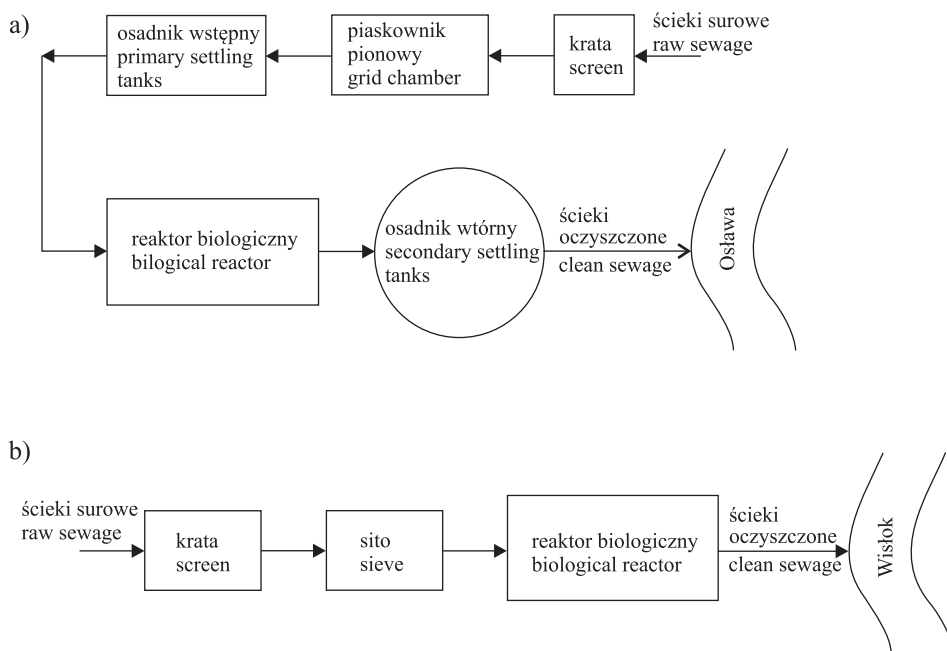
W oczyszczalniach ścieków może występować zjawisko niedociążenia lub przeciążenia hydraulicznego. Niedociążenie hydrauliczne może powodować zakłócenie pracy poszczególnych elementów oczyszczalni, gdyż na wielkość redukcji wskaźników zanieczyszczeń wpływa ilość dopływających ścieków [Bugajski 2007]. Efekt przeciążenia hydraulicznego spowodowany jest głównie dopływem do sieci kanalizacyjnej wód obcych. Stanowią one wody przypadkowe oraz infiltracyjne. Wody przypadkowe to głównie te, które pochodzą z opadów atmosferycznych bądź tajania pokrywy śnieżnej. Przedostają się do sieci kanalizacyjnej przez otwory we włazach do studzienek, bądź też są nielegalnie odprowadzane ze spustów rynien dachowych lub wpustów podwórzowych do sieci kanalizacji sanitarnej. Wody infiltracyjne to wody gruntowe dopływające do kanalizacji poprzez jej nieszczelności. Przeciążenie hydrauliczne może przynieść szereg niekorzystnych skutków w funkcjonowaniu oczyszczalni, gdyż na procesy technologiczne istotny wpływ ma stała prędkość przepływu oraz dany czas zatrzymania ścieków. Zachwianie tych czynników obniża sprawność działania urządzeń takich jak: piaskowniki, osadniki wstępne oraz wtórne czy też bioreaktory. Dlatego w celu minimalizacji szkodliwego wpływu przeciążenia hydraulicznego na pracę oczyszczalni konieczne jest ujmowanie wód przypadkowych oraz ich odpowiednie zagospodarowanie [Zawilski i Brzezińska 2003, Kaczor 2011].

Mając powyższe na uwadze, za cel pracy postawiono analizę zmienności dynamiki kształtowania się objętości ścieków dopływających do wybranych oczyszczalni powiatu sanockiego.

## MATERIAŁ I METODY

W ramach realizacji określonego celu pracy badaniom poddano oczyszczalnie ścieków zlokalizowanych na obszarze powiatu sanockiego (województwo podkarpackie): w Zagórzcu oraz Besku. Uproszczone schematy technologiczne badanych obiektów przedstawiono na ryc. 1. Oczyszczalnia ścieków w Zagórzcu to obiekt typu mechaniczno-biolo-

gicznego, obsługujący 12 567 równoważnej liczby mieszkańców (RLM). Średniobowa przepustowość hydrauliczna dla pogody bezdeszczowej to  $2600 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Procesy mechanicznego oczyszczania ścieków realizowane są na kratkach, piaskowniku pionowym oraz osadniku wstępnym. Część biologiczną stanowi trójstopniowy reaktor biologiczny, pracujący wg procesu Bardenpho. Z reaktora biologicznego ścieki kierowane są do osadnika wtórnego, a następnie odprowadzane do odbiornika – rzeki Osława. Oczyszczalnia ścieków w Besku jest obiektem mechaniczno-biologicznym obsługującym 4 584 RLM. Średniobowa przepustowość obiektu wynosi  $602 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Mechaniczne oczyszczanie ścieków zachodzi na kracie koszowej oraz sicie bębnowym. Następnie ścieki kierowane są do reaktora biologicznego, gdzie procesy biologicznego oczyszczania realizowane są wg metody osadu czynnego. Odbiornikiem ścieków oczyszczonych na oczyszczalni w Besku jest rzeka Wisłok.



Ryc. 1. Uproszczone schematy technologiczne oczyszczalni: a) Zagórz; b) Besko

Fig. 1. Simplified technological scheme of wastewater treatment plant: a) Zagórz; b) Besko

Analizy obciążenia hydraulicznego oczyszczalni w Zagórz oraz w Besku dokonano na podstawie dobowego rejestru objętości ścieków dopływających, w wieloleciu 2007–2014 (Zagórz) oraz 2011–2014 (Besko). Dane te zostały udostępnione przez eksploatatorów wymienionych obiektów. Wyznaczono statystyki opisowe: miary pozycyjne – wartości minimalne ( $Q_{dmin}$ ), średnie ( $Q_{dśr}$ ) oraz maksymalne ( $Q_{dmax}$ ) dobowych objętości ścieków dopływających w badanym wieloleciu; miary rozproszenia – odchylenie standardowe ( $s$ ) i współczynnik zmienności ( $V_s$ ); miary kształtu rozkładu badanej zmiennej losowej – współczynnik skośności ( $Sko$ ) oraz kurtozę ( $Kurt$ ).

Dla rozpatrywanego wielolecia określono wartości maksymalnych dobowych współczynników nierównomierności dopływu ścieków ( $N_{dmax}$ ) do oczyszczalni w Zagórzcu oraz w Besku, wg wzoru [Heidrich 1998]:

$$N_{dmax} = \frac{Q_{dmax}}{Q_{dśr}} \quad (1)$$

gdzie:

$Q_{dmax}$  – maksymalny dobowy dopływ ścieków do oczyszczalni w rozpatrywanym okresie  $m^3 \cdot d^{-1}$ ,

$Q_{dśr}$  – średni dobowy dopływ ścieków do oczyszczalni w rozpatrywanym okresie,  $m^3 \cdot d^{-1}$ .

W celu oceny trendu rzeczywistych dobowych dopływów ścieków do oczyszczalni w Zagórzcu oraz Besku w badanym wieloleciu wykorzystano test Manna-Kendalla. Statystyka  $S$  Manna-Kendalla szeregu czasowego, wyznacza się za pomocą równań [Węglarczyk 2010, Rutkowska i Ptak 2012]:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (2)$$

gdzie:

$$\text{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{dla } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{dla } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{dla } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$n$  – liczba elementów szeregu czasowego.

Na podstawie znormalizowanej statystyki testowej  $Z$  wyznaczonej z równania:

$$Z = \frac{S - \text{sign}(S)}{\text{Var}(S)^{1/2}} \quad (4)$$

gdzie:

$\text{Var}(S)$  – wariancja  $S$ , określona z równania:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \cdot (n \cdot (n-1) \cdot (2 \cdot n + 5)) \quad (5)$$

obliczono prawdopodobieństwo związane ze znormalizowaną statystyką testową  $Z$ . Trend jest uznawany za rosnący, jeśli  $Z$  ma wartość dodatnią, a mówimy o trendzie malejącym, jeżeli  $Z$  ma wartość ujemną. W przypadku, gdy obliczone prawdopodobieństwo testowe  $p$  jest mniejsze od przyjętego w badaniach poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ , to analizowany trend jest istotny statystycznie.

Oceny sezonowości objętości ścieków dopływających do oczyszczalni w Zagórzcu oraz Besku w badanym wieloleciu dokonano na podstawie tzw. wskaźników Colwella oraz analizy autokorelacji. Wskaźniki Colwella mogą przyjmować wartości od 0 do 1 i są to: przewidywalność  $P$  oraz jej komponenty: stałość  $C$  oraz sezonowość  $M$ . Przewidywalność to miara regularności występowania danego zjawiska – jest ona sumą stałości oraz sezonowości. W przypadku, gdy jej wartość jest większa od 50%, wówczas mówi się o przewidywalności powyżej przeciętnej. Stałość opisuje skłonność danej cechy do pozostania w niezmiennym stanie przez cały okres i przyjmuje maksymalne wartości, gdy badana zmienna ma tę samą wartość w każdym badanym okresie. Sezonowość osiąga maksymalną wartość, gdy wielkość zmiennej jest różna w pewnych krokach czasowych lecz wystąpienie określonych wartości jest możliwe do przewidzenia. W sytuacji, gdy stosunek  $M/P$  jest większy jak 50%, wówczas mówi się o regularnej sezonowości [Wałęga i Młyński 2016]. Wskaźniki Colwella wyznacza się je na podstawie zależności [Colwell 1974]:

$$C = 1 - \frac{H(Y)}{\log(s)} \quad (6)$$

$$M = \frac{H(X) + H(Y) - H(XY)}{\log(s)} \quad (7)$$

$$P = C + M \quad (8)$$

gdzie:

- $H(X)$  – niepewność w odniesieniu do czasu wystąpienia danego zjawiska,
- $H(Y)$  – niepewność w odniesieniu do stanu danego zjawiska,
- $H(XY)$  – niepewność w odniesieniu do interakcji czasu i stanu danego zjawiska,
- $s$  – liczba analizowanych przedziałów klasowych opisujących dane zjawisko.

W niniejszej pracy analizy sezonowości objętości ścieków dopływających do badanych oczyszczalni dokonano w odniesieniu do dopływów średnich, dopływających w poszczególnych miesiącach wielolecia.

W celu opisanie zmienności czasowej ciągów dopływów średnich miesięcznych do oczyszczalni w Zagórzcu oraz Besku wykorzystano analizę autokorelacji, która umożliwia badanie korelacji opóźnionych zmiennych ze sobą. Wartość współczynnika korelacji z opóźnieniem wyznacza się wg zależności [Wałęga i Michalec 2014]:

$$r_m = \frac{\sum_{n=1}^N [(x_n - \bar{x}) \cdot (x_{n-m} - \bar{x})]}{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2} \quad (9)$$

gdzie:

- $r_m$  – współczynnik autokorelacji dla opóźnienia  $m$ ,
- $m$  – opóźnienie,
- $n$  – liczba obserwacji,

- $x$  – kolejne obserwacje,  
 $x_{n-m}$  – kolejne obserwacje opóźnione o  $m$ ,  
 $\bar{x}$  – średnia dla obserwacji (bez opóźnienia).

Statystyczną istotność współczynników korelacji określono za pomocą testu  $Q$  Ljunga-Boxa. Weryfikacji badanych hipotez przeprowadzono dla poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ . Statystyka Ljunga-Boxa przyjmuje następującą postać [Ljung i Box 1978]:

$$Q = n + (n + 2) \sum_{i=1}^k \frac{r_{m_i}}{n-1} \quad (10)$$

gdzie:

- $Q$  – statystyka testowa Ljunga-Boxa,  
 $n$  – liczba obserwacji,  
 $k$  – przesunięcie autokorelacji,  
 $r_{m_i}$  – współczynnik autokorelacji przy przesunięciu  $k = 1$ .

Uzupełnieniem przeprowadzonej analizy było określenie wpływu wysokości opadu atmosferycznego na kształtowanie się objętości ścieków dopływających do oczyszczalni w Zagórzcu oraz Besku. W tym celu pozyskano rejestry dobowych sum opadów atmosferycznych, w wieloletniu 2007–2014 dla stacji opadowej zlokalizowanej najbliżej badanych oczyszczalni ścieków, w miejscowości Lesko. Kolejno ze względu na wysokość opadu atmosferycznego dokonano podziału dób okresu badawczego na siedem zasadniczych grup wg metody zaproponowanej przez Chmielowskiego i in. [2016b]: I – doby bez opadu deszczu, II – doby z opadem od 0 do 5 mm · d<sup>-1</sup>, III – doby z opadem od 5 do 10 mm · d<sup>-1</sup>, IV – doby z opadem od 10 do 15 mm · d<sup>-1</sup>, V – doby z opadem od 15 do 20 mm · d<sup>-1</sup>, VI – doby z opadem od 20 do 25 mm · d<sup>-1</sup>, VII – doby z opadem powyżej 25 mm · d<sup>-1</sup>. Na tej podstawie, przy wykorzystaniu testu sumy rang Kruskala-Wallisa określono istotność różnic pomiędzy objętością ścieków dopływających do badanych oczyszczalni, w czasie wystąpienia opadu, należącego do danej grupy. Test sumy rang Kruskala-Wallisa wyrażany jest statystyką [Kruskal i Wallis 1952]:

$$\chi^2 = \frac{12}{n(n+1)} \cdot \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - 3(n+1) \quad (11)$$

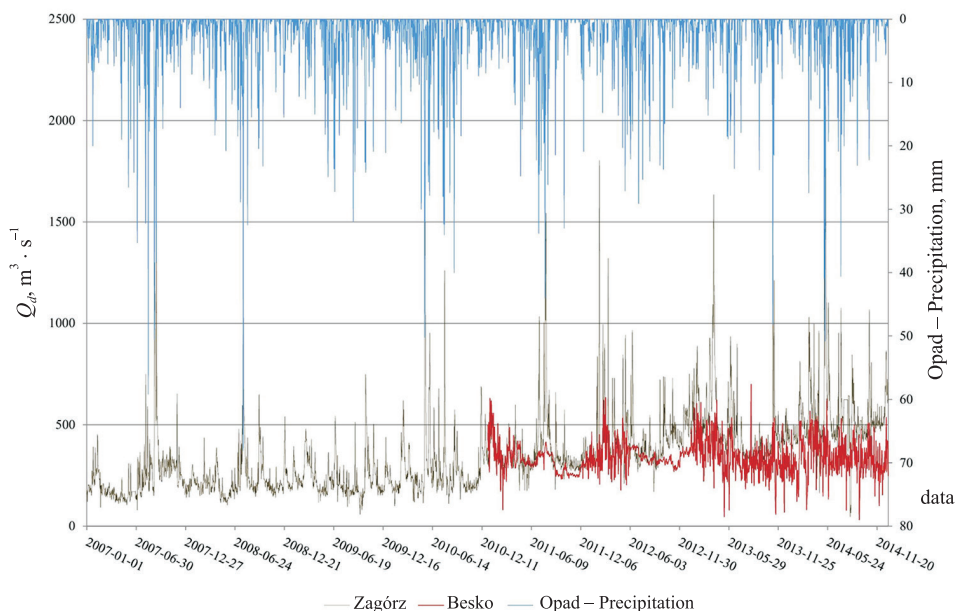
gdzie:

- $n$  – liczba wyrazów ciągu,  
 $k$  – liczba prób, na które został podzielony ciąg,  
 $T_i$  – suma rang każdej z prób.

Przeprowadzona analiza pozwoliła na określenie wpływu wysokości opadu atmosferycznego na wielkość objętości ścieków dopływających do badanych oczyszczalni, w czasie wystąpienia opadu lub jego braku.

## WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Na ryc. 2 przedstawiono wielkości dobowego dopływu ścieków do oczyszczalni w Zagórz oraz Besko, na tle wysokości opadu dobowego w wieloleciu 2007–2014. W tabeli 1 przedstawiono wyznaczone wartości statystyk opisowych oraz maksymalnych dobowych współczynników nierównomierności dopływu ścieków do oczyszczalni w badanym wieloleciu.



Ryc. 2. Ilość ścieków dopływająca do oczyszczalni w Zagórz oraz Besko na tle wysokości opadu dobowego w wieloleciu 2007–2014

Fig. 2. Amount of inflowing sewage to wastewater treatment plant in Zagórz and Besko against daily precipitation in years 2007–2014

Tabela 1. Charakterystyka dopływu ścieków do oczyszczalni w Zagórz oraz Besko w badanym wieloleciu

Table 1. Characteristics of inflowing sewage to wastewater treatment plant in Zagórz and Besko

Oczyszczalnia Wastewater Treatment Plant	Parametr dopływu ścieków – Parameter of inflowing sewage							
	$Q_{dmin}$ $m^3 \cdot d^{-1}$	$Q_{d\bar{r}}$ $m^3 \cdot d^{-1}$	$Q_{dmax}$ $m^3 \cdot d^{-1}$	$S$ $m^3 \cdot d^{-1}$	$V_s$	$Sko$	$Kurt$	$N_{dmax}$
Zagórz	47	355	2398	195	0,55	3	13	6,76
Besko	33	340	700	80	0,24	1	2	2,06

Na podstawie danych opadowych zestawionych na ryc. 1 można stwierdzić przewagę opadów letnich (od maja do lipca) nad opadami zimowymi (od grudnia do lutego). Jest to zjawisko charakterystyczne dla strefy klimatu umiarkowanego, w zasięgu której znajduje się Polska [Wąsik i in. 2016]. Ponadto zauważono, że opad średni roczny, dla wielolecia 2007–2014, był nieznacznie wyższy (9%) jak jego wartość określona przez Cebulską i in. [2013], w wielolecia 1951–2005. Jak stwierdzono w pracy Czarneckiej i Nidzgorskiej-Lencewicz [2012], w południowej Polsce brak jest statystycznie istotnego trendu wieloletnich zmian wysokości opadu, zatem różnicę tą można uznać za nieistotną.

Analizując dane dotyczące dobowej objętości ścieków dopływających do badanych oczyszczalni, zauważono, że obiekt w Zagórz charakteryzował się rozpiętością dopływu na poziomie  $2351 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , przy wartości średniej wynoszącej  $355 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Współczynnik zmienności utrzymywał się na poziomie ponad 50%, zatem dynamika dopływu ścieków do oczyszczalni w Zagórz charakteryzowała się bardzo dużą zmiennością. Wielkość współczynnika skośności wskazuje na prawostronną asymetrię rozkładu badanej zmiennej. Natomiast kurtoza wskazuje na leptokurtyczny rozkład zmiennej. W przypadku oczyszczalni ścieków w Besku różnica pomiędzy  $Q_{dmin}$  a  $Q_{dmax}$  wynosiła około 95%, a wartość średnia dobowego dopływu ścieków to  $340 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Wartość współczynnika zmienności wskazuje na przeciętną zmienność wielkości dopływu ścieków dla oczyszczalni w Besku. Współczynnik skośności mówi o prawostronnej asymetrii rozkładu zmiennej losowej, wartość kurtozy wskazuje na jej leptokurtyczny rozkład.

Wartości  $N_{dmax}$  wyznaczone dla oczyszczalni w Zagórz znacząco odbiegają od literaturowych wielkości tego współczynnika – jest ponad 4,5 razy większa od przytaczanych wielkości. Podobne dysproporcje stwierdzono w pracach Młyńskiego i in. [2016] oraz Młyńskiego i Chmielowskiego [2016], gdzie dokonano badań obciążenia hydraulicznego innych obiektów zlokalizowanych w województwie podkarpackim. Otrzymane wartości maksymalnych dobowych współczynników nierównomierności dopływu ścieków również wykazywały kilkukrotne przewyższenie w odniesieniu do zalecanych wartości. Należy podkreślić, iż przyjmowanie, na etapie projektowania, zawyżonych wielkości  $N_{dmax}$  może skutkować przewymiarowaniem oczyszczalni ścieków, co prowadzi do zakłócenia procesów redukcji zanieczyszczeń oraz jest niekorzystne ze względów ekonomicznych.

W kolejnym etapie badań dokonano analizy trendu rzeczywistych dobowych dopływów ścieków do oczyszczalni w Zagórz oraz w Besku, przy zastosowaniu testu Manna-Kendalla. Wyniki analizy przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki analizy trendu testem Manna-Kendalla, dla dopływów ścieków do oczyszczalni w Zagórz oraz Besku

Table 2. Results of trend analysis by Mann-Kendall test for inflowing sewage to wastewater treatment plant in Zagórz and Besko

Oczyszczalnia Wastewater Treatment Plant	Zakres – Range $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$		$S$	$Z$ testowe $Z$ test	$P$	Trend na poziomie istotności $\alpha = 5\%$ Trend for significant level $\alpha = 5\%$
	od – from	do – to				
Zagórz	141,0	843,4	2720	8,61	0,0000	istotny – significant
Besko	250,7	463,8	–8	–0,06	0,3982	brak – non significant



Wyznaczone wartości statystyk  $S$  dla oczyszczalni w Zagórz oraz Besko wskazują występowanie trendu rosnącego (Zagórz) oraz malejącego (Besko). Natomiast tylko w pierwszym przypadku trend ten jest istotnie statystyczny, gdyż wielkość  $p$  przyjmuje wartości poniżej założonego poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ . Tłumaczy się to tym, że dla Zagórza po 2010 roku nastąpił widoczny przyrost objętości ścieków dopływających do oczyszczalni. Przyczyną tego był istotny wzrost procentu ludności korzystającej z sieci kanalizacyjnej. W roku 2011 było to około 31% całkowitej liczby mieszkańców, a pod koniec 2014 roku z sieci kanalizacyjnej korzystało już prawie 80% liczby mieszkańców. Dla oczyszczalni w Besko w całym analizowanym wieloletnim dopływ ścieków znajdował się na stałym, wyrównanym poziomie, gdyż liczba mieszkańców korzystającej z kanalizacji, w latach 2011–2014 nie zmieniała się istotnie [KPOŚ 2007–2014].

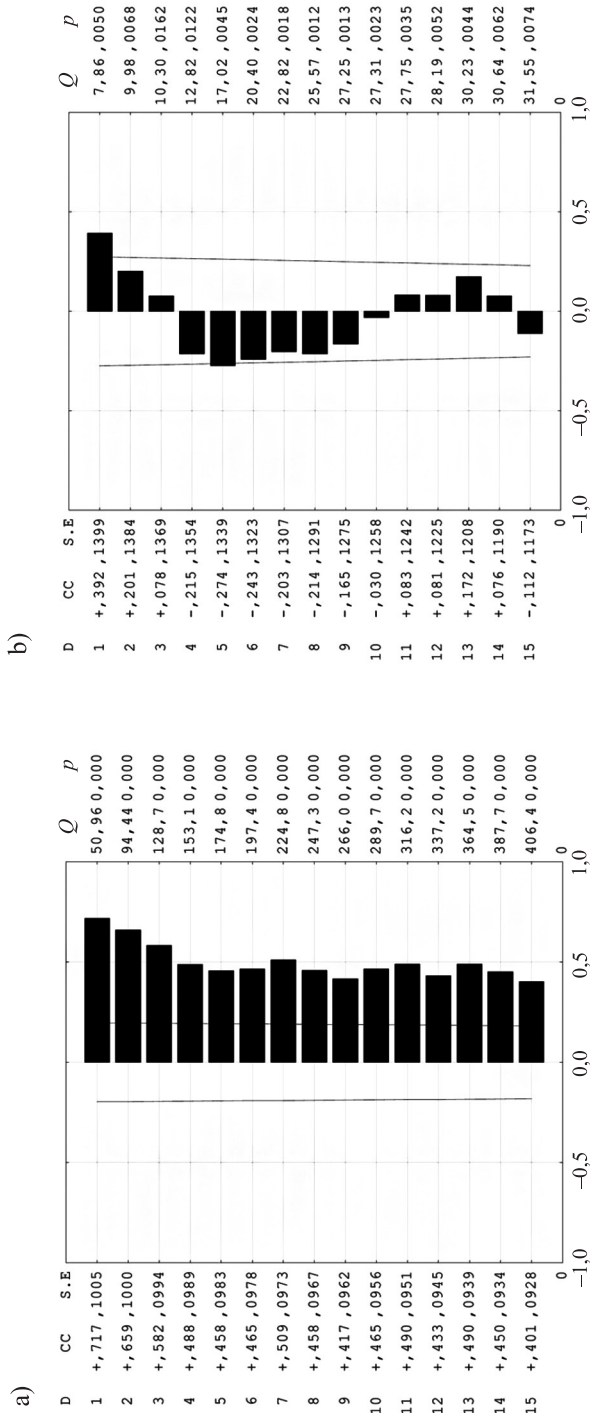
Kolejnym etapem badań była analiza sezonowości średniego miesięcznego dopływu ścieków do oczyszczalni w Zagórz oraz Besko. Dokonano jej na podstawie wykorzystania wskaźników Colwella oraz analizy autokorelacji. Otrzymane wyniki zestawiono w tabeli 3 oraz na rycinie 3.

Tabela 3. Wartości wskaźników Colwella dla średnich miesięcznych dopływów ścieków do oczyszczalni w Zagórz oraz Besko

Table 3. Values of Colwell indices for average monthly inflow of sewage to Wastewater treatment plant in Zagórz and Besko

Oczyszczalnia Wastewater Treatment Plant	Wskaźniki Colwella – Colwell indices				
	$P$	$C$	$M$	$C/P$	$M/P$
Zagórz	0,54	0,45	0,08	0,85	0,15
Besko	0,96	0,79	0,17	0,82	0,18

Na podstawie wyników zestawionych w tabeli 3 stwierdzono, iż oczyszczalnia w Besko charakteryzowała się stabilniejszym dopływem ścieków jak oczyszczalnia w Zagórz, o czym świadczą wartości wskaźnika stałości  $C$ . Zarówno dla Zagórza, jak i Beska, wielkość przewidywalności przyjmuje wartości powyżej 50%, zatem wolno stwierdzić, że stosunkowo łatwo można prognozować dopływy ścieków w zależności od rozpatrywanego okresu. Wartości stosunku  $M/P$  dla obydwu oczyszczalni przyjmują wielkości poniżej 50%, zatem stwierdzono nieregularną sezonowość w odniesieniu do objętości ścieków dopływających do oczyszczalni w Zagórz oraz Besko. Bazując na wynikach analizy autokorelacji (ryc. 3), stwierdzono, iż średnie miesięczne dopływy do oczyszczalni w Zagórz oraz Besko są silnie skorelowane wewnętrznie. Świadcą o tym wartości statystyki  $Q$  Ljunga-Boxa oraz wyznaczone dla nich wielkości prawdopodobieństwa testowego  $p$ , które przyjmuje wartości niższe od założonego poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ . Zatem wartości współczynników autokorelacji są istotne, co wskazuje na niestacjonarny proces analizowanego szeregu czasowego. Świadczy to o nieistotnej sezonowości średnich miesięcznych dopływów ścieków do oczyszczalni w Zagórz oraz Besko, co jest również potwierdzeniem wyników uzyskanych za pomocą wskaźników Colwella.



Ryc. 3. Korelogram średnich miesięcznych dopływów ścieków do oczyszczalni: a) w Zagórz; b) w Besku: D – opóźnienie, | – przedział ufności, CC – współczynnik korelacji, S.E. – błąd standardowy, Q – statystyka Ljunga-Boxa, p – prawdopodobieństwo

Fig. 3. Correlogram of average monthly sewage inflow to wastewater treatment plant in: a) Zagórz; b) Besko: D – delay, | – range of trust, CC – correlation coefficient, S.E. – standard error, Q – Ljung-Box statistics, p – probability

Uzupełnieniem przeprowadzonych badań była analiza wpływu wysokości opadu atmosferycznego na kształtowanie się objętości ścieków dopływających do oczyszczalni w Zagórz oraz Besko. Przeprowadzono ją za pomocą nieparametrycznego testu sumy rang Kruskala-Wallisa. Wyniki analizy przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki analizy wpływu wysokości opadu atmosferycznego na objętość ścieków dopływających do oczyszczalni w Zagórz oraz Besko

Table 4. Results of impact height precipitation on volume inflowing sewage to wastewater treatment plant in Zagórz and Besko

Grupa opadowa Precipitation group	<i>N</i> ważnych <i>N</i> significant	Suma rang Sum of ranks	Średnia rang Average of ranks	$\chi^2$	<i>p</i>
Zagórz					
I	1381	1877702	1359,668	76,6349	0,0000
II	1101	1628330	1478,955		
III	248	403248	1625,998		
IV	69	118888	1723,007		
V	53	101426	1913,698		
VI	33	65811	1994,273		
VII	34	66337	1951,074		
Besko					
I	714	486793,0	681,7829	21,0365	0,0018
II	533	403231,5	756,5319		
III	117	89041,5	761,0385		
IV	33	30677,5	929,6212		
V	20	15233,0	761,6500		
VI	19	13655,0	718,6842		
VII	12	10444,5	870,3750		

Na podstawie danych zestawionych w tabeli 4 stwierdzono, iż w wieloleciu 2007–2014 (okres badawczy dla oczyszczalni w Zagórz) dni bez opadu (grupa I) utrzymywała się 47% czasu trwania całego analizowanego wielolecia. Opady z grupy II stanowiły 38%, z grupy III 8%, z grupy IV i V 2%, a VI i VII 1% czasu trwania okresu 2007–2014. W przypadku wielolecia 2011–2014 (okres badawczy dla oczyszczalni w Besko) procentowy rozkład wysokości opadu jest bardzo zbliżony w odniesieniu do lat 2007–2014. Dni bez opadu to 49% okresu badawczego, a opady z grupy II, III, IV, V, VI i VII stanowiły odpowiednio 37%, 8%, 2%, 1%, 1%, 1% wielolecia 2011–2014. Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej stwierdzono, iż wysokość opadów ma istotny wpływ na kształtowanie się wielkości objętości ścieków dopływających do oczyszczalni w Zagórz oraz Besko. Świadczą o tym wartości statystyk  $\chi^2$ , które są mniejsze od wielkości przyjętej do budowy obszaru krytycznego – dla 7 porównywalnych grup przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$   $\chi_{kr}^2 = 12,592$ . Otrzymane wyniki tłumaczy się niewielkim udziałem kanalizacji

deszczowej w całkowitej długości sieci w aglomeracji Zagórz (3 km kanalizacji deszczowej na 157,6 km całkowitej długości sieci kanalizacyjnej). Natomiast w aglomeracji Besko brak jest kanalizacji deszczowej. Należy zatem przyjąć, że różnice w dopływie ścieków do analizowanych oczyszczalni w czasie opadu wynikają z wpływu wód przypadkowych.

## WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie oceny zmienności dopływu ścieków do oczyszczalni w Zagórz oraz Besku można sformułować następujące wnioski końcowe:

1. Średnia objętość ścieków dopływająca do oczyszczalni w Zagórz oraz Besku stanowiła odpowiednio 16 oraz 54% projektowej przepustowości badanych oczyszczalni. Zatem analizowane oczyszczalnie funkcjonowały w warunkach niedociążenia hydraulicznego, co może mieć wpływ na zakłócenie pracy poszczególnych obiektów ciągu technologicznego oczyszczania ścieków.
2. W analizowanych wieloletniach oczyszczalnie w Zagórz oraz Besku charakteryzowały się dużą zmiennością obciążenia hydraulicznego. Świadczą o tym wartości maksymalnych dobowych współczynników nierównomierności dopływu ścieków do tych obiektów.
3. Wieloletnie rejestry dobowe objętości ścieków dopływających do oczyszczalni w Zagórz wskazują na istotną tendencję wzrostową. Potwierdza to analiza trendu badanej zmiennej przeprowadzona za pomocą testu Manna-Kendalla. Oczyszczalnia ścieków w Besku, w latach 2011–2014 charakteryzowała się stałym dopływem objętości ścieków.
4. Badania sezonowości dopływu ścieków do oczyszczalni w Zagórz oraz Besku przeprowadzone za pomocą wskaźników Colwella oraz analizy autokorelacji wykazały brak istotnej zależności pomiędzy wielkością dopływu a miesiącem, w którym on występuje.
5. Wykazano istotny wpływ wysokości opadu na kształtowanie się wielkości dopływu ścieków do oczyszczalni w Zagórz oraz Besku w analizowanym wieloletniu. Dlatego postuluje się, aby przeprowadzić dodatkowe badania w zakresie dopływu do sieci kanalizacyjnej wód przypadkowych, pochodzących z opadów atmosferycznych.

## PIŚMIENNICTWO

- Bartkowska, I. (2016). Zmienność odpływu ścieków oczyszczonych. *Inżyn. Ekolog.*, 48, 1–8.
- Bugajski, P. (2007). Dynamika dopływu ścieków do oczyszczalni w Głogowie Małopolskim. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiej.*, 2, 103–109.
- Cebulska, M., Szczepanek, R., Twardosz, R. (2013). Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych w dorzeczu górnej Wisły. Opady Średnie (1952–1981). WIS PK, IGIGP UJ, Kraków.
- Chmielowski, K., Bugajski, P., Kaczor, G. (2016a). Compositional analysis of the sewage incoming to and discharged from the sewage treatment plant in Kolbuszowa Dolna. *J. Ecol. Engin.*, 17, 9–16.
- Chmielowski, K., Mazur, R., Bedla, D., Nowak, A. (2016b). Analiza obciążenia hydraulicznego w oczyszczalni ścieków w Kolbuszowie Dolnej. *Episteme*, 30, 319–335.

- Colwell, R. K. (1974). Predictability, constancy, and contingency of periodic phenomena. *Ecology*, 55, 1148–1153.
- Czarnecka, M., Nidzgorska-Lencewicz, J. (2012). Wieloletnia zmienność sezonowych opadów w Polsce. *Woda Środ. Obsz. Wiej.*, 38, 45–60.
- Heidrich, Z. (1998). Przydomowe oczyszczalnie ścieków. CIOB, Warszawa.
- Kaczor, G. (2011). Wpływ wiosennych roztopów śniegu na dopływ wód przypadkowych do oczyszczalni ścieków bytowych. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 10(2), 27–34.
- Kaczor, G., Bugajski, P., Chmielowski, K. (2016). Wpływ lokalizacji oczyszczalni na temperaturę dopływających do nich ścieków. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiej.*, 2, 615–626.
- Kruskal, W.H., Wallis, W.A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *J. American Statistical Association*, 260, 583–621.
- Ljung, G.M., Box, G.E.P. (1978). On a Measure of a Lack of Fit in Time Series Models. *Biometrika*, 65, 297–303.
- Miernik, W., Młyński, D. (2014). Analiza pracy oczyszczalni ścieków po modernizacji. *Episteme*, 29, 303–310.
- Młyński, D., Chmielowski K. (2016). Analiza obciążenia hydraulicznego wybranych oczyszczalni powiatu jasielskiego. *Inżyn. Ekolog.*, 50, 171–178.
- Młyński, D., Chmielowski, K., Młyńska, A. (2016). Analysis of hydraulic load of a wastewater treatment plant in Jasło. *J. Water Land Develop.*, 28, 67–67.
- Myszograj, S., Panek, E. (2007). Bilansowanie ilości ścieków dopływających do oczyszczalni. *Gaz Woda Techn. Sanit.*, 5, 9–12.
- Rutkowska, A., Ptak M. (2012). On certain stationary tests for hydrological series. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 1, 51–63.
- Sobota, J., Szetela, R. (2005). Jednowymiarowe modele natężenia i jakości ścieków dopływających do oczyszczalni komunalnych. *Ochr. Środ.*, 1, 15–22.
- Wałęga A., Młyński D. 2016. Ocena sezonowości występowania przepływów niskich rzeki górskiej za pomocą wskaźników Colwella. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiej.*, 2, 557–568.
- Wałęga, A., Michalec B. (2014). Characteristics of Extreme Heavy Precipitation Events Occurring in the Area of Cracow (Poland). *Soil Water Res.*, 9, 182–191.
- Wąsik, E., Bugajski, P., Chmielowski, K., Cupak, A. (2016). Wpływ opadów atmosferycznych w Kotlinie Sądeckiej na zmienność ilościową ścieków dopływających do oczyszczalni Wielopole. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiej.*, 2, 543–555.
- Węglarczyk, S. (2010). *Statystyka w inżynierii środowiska*. Wydawnictwo PK, Kraków.
- Zawilski, M., Brzezińska, M. (2003). Wpływ przeciążenia biologicznej oczyszczalni ścieków w okresach mokrej pogody na jej sprawność. *Ochr. Środ.*, 2, 37–42.
- KPOŚ (2007–2014). Zbiornice zestawienie sprawozdań marszałków województw z realizacji Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków w latach 2007–2014.

## THE ANALYSIS OF THE QUANTITY VARIABILITY OF THE SEWAGE INFLOWING TO THE SELECTED WASTEWATER TREATMENT PLANTS OF SANOK DISTRICT

In the article the analysis of the quantity variability of the sewage inflowing to the selected wastewater treatment plants of Sanok district: Zagórz and Besko was performed. The study was conducted based on the records of the daily sewage volume inflowing to the analyzed treatment plants in the period of 2007–2014 (Zagórz) and 2011–2014 (Besko). Based on the performed analysis it was concluded that analyzed wastewater treatment plants have worked under hydraulic underload conditions. Moreover, a significant irregularity of

the volume of the sewage inflowing to the both wastewater treatment plants was noted. Performed analysis of trend has shown a significant growing trend of the sewage volume inflowing to the Wastewater Treatment Plant in Zagórz and the constant sewage inflow in the case of Besko treatment plant. The study of the seasonality has not shown a significant dependence between the quantity of the inflowing sewage and a particular months. In addition, it was concluded that there is a significant dependence between the precipitation amounts and the volume of the sewage inflowing both to the Wastewater Treatment Plant in Zagórz and in Besko.

**Key words:** sewage, hydraulic load, wastewater treatment plant

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 20.12.2016*

Do cytowań – For citation: Młyński, D., Chmielowski, K., Młyńska, A. (2017). Analiza zmienności ilościowej ścieków dopływających do wybranych oczyszczalni powiatu sanockiego. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 16(1), 77–90.