

Piotr Bugajski

ZMIENNOŚĆ ILOŚCI DOPŁYWAJĄCYCH ŚCIEKÓW DO OCZYSZCZALNI W TĘGOBORZY

VARIABILITY OF THE AMOUNT OF THE SEWAGE FLOWING INTO THE TREATMENT PLANT IN TĘGOBORZA

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań częstości występowania charakterystycznych dopływów ścieków bytowych do oczyszczalni typu Eko-Clear/II zlokalizowanej w miejscowości Tęgororza. Przedmiotowa oczyszczalnia ścieków została zaprojektowana na dobowy dopływ ścieków od 1630 RLM. Zakładany w projekcie średni dobowy dopływ ścieków $Q_{d,śr.}$ wynosi $204 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Analizę wyników badań opracowano na podstawie dobowych odczytów dopływających ścieków w okresie 5 lat (2002–2006). W każdym roku określono przedziały klasowe, w których najczęściej pojawiały się dopływy ścieków oraz omówiono częstotliwość pojawiania się dopływów maksymalnych, znacznie przekraczających dopuszczalne obciążenia oczyszczalni. Oczyszczalnia ścieków w okresie badań była niedociążona hydraulicznie. W roku 2002 do oczyszczalni dopływało niecałe 32% $Q_{d,śr.}$, w roku 2003 wartość ta wzrosła do około 42% $Q_{d,śr.}$. W kolejnym roku 2004 odnotowano najwyższy dopływ faktyczny w badanym okresie, który wyniósł ponad 49% zakładanego dopływu. W dwóch kolejnych latach odnotowano regres dopływających ścieków w porównaniu do lat poprzednich. W roku 2005 dopływ wahał się na poziomie 41%, a w roku 2006 dopływało niecałe 35% $Q_{d,śr.}$. W roku 2002 najczęściej pojawiały się dopływy w przedziałach $40 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} - 60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ i $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} - 80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W tych samych przedziałach częstości najczęściej pojawiały się dopływy w kolejnym 2003 roku. W roku 2004 przedziały o najczęściej pojawiającym się dopływie to $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} - 80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ i $80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} - 100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W roku 2005, tak jak w poprzednim roku w dwóch tych samych przedziałach odnotowano większość dobowych dopływów ścieków. Najbardziej wyrównany dopływ ścieków miał miejsce w roku 2006. Na zbliżonym poziomie częstości występował dopływ ścieków w 5. przedziałach klasowych. Z wyjątkiem roku 2002 zdarzały się dopływy przekraczające kilkakrotnie dopływ średni. Były to dopływy na poziomie

przewyższającym $200 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, a w roku 2006 nawet $300 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Dopływy takie pojawiały się w okresie dużych opadów atmosferycznych. Wskazuje to na dużą ilość dopływających wód przypadkowych do kanalizacji.

Słowa kluczowe: ilość ścieków, nierównomierność dopływu, częstość występowania

Summary

The paper presents the results of the analyses of the distinctive household sewage inflows frequency to the type Eko-Clear/II sewage treatment plant located in Tęgoborza. The objective sewage treatment plant was designed to receive sewage from 1630 ENI. The designed average daily sewage inflow $Q_{d.av}$ equals $204 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. The results were analyzed on the basis of the daily read of the inflowing sewage in the 5 years' period 2002–2006. Each year the range of the incoming sewage was described and the frequency of the maximum inflows, exceeding the treatment plant's admissible loads, was discussed. The sewage treatment plant during the research was hydraulically underloaded. In 2002 less than 32% $Q_{d.av}$ flowed into the treatment plant, in 2003 this amount increased to about 42% $Q_{d.av}$. In the next year - 2004 the highest inflow was found in the tested period, which was over 49% of the designed inflow of sewage. In next two years the amount of incoming sewage decreased in comparison with the previous years. In 2005 the inflow balanced around 41%, whereas in 2006 less than 35% $Q_{d.av}$ flowed into the treatment plant. In 2002 the most frequent inflows ranged between $40 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ and $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ or $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ and $80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. In the next year, 2003 the inflows balanced in the same ranges. The most frequent inflow ranges in 2004 were: $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} - 80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ and $80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} - 100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. In 2005, similarly to the previous year, the majority of the average daily sewage inflows balanced in the same ranges. The most stable sewage inflow was found in 2006. Sewage inflow from 5 different classes was on the similar level of frequency. With exception for the year 2002, some inflows were a few times higher than the average inflow. These were inflows which exceeded $200 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, and in 2006 even $300 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Such inflows occurred during huge precipitation. This indicated high amount of the accidental water flowing into the sewerage system.

Key words: amount of sewage, inflow irregularity, frequency of occurrence

WSTĘP

Niedociążenia hydrauliczne małych wiejskich oczyszczalni ścieków są aktualnie zjawiskiem powszechnym i często spotykanym [Kaczor, Pawełek 2002; Bugajski 2006; Bugajski 2007; Bugajski, Bergel 2009]. Przyczyn tego stanu jest kilka. Przede wszystkim często powstaje oczyszczalnia ścieków, natomiast brak jest sieci kanalizacyjnej na terenie obszaru obsługiwanego przez obiekt. Rozbudowa sieci kanalizacyjnej trwa często zbyt długo, co oczywiście związane jest z brakiem środków finansowych. Niska świadomość ekologiczna społeczeństwa powoduje, że nawet po wybudowaniu kanalizacji część miesz-

kańców nie wyraża chęci podłączenia się do kolektorów kanalizacyjnych, ponieważ nie chcą ponosić dodatkowych kosztów za odprowadzane ścieki. Ścieki od tych mieszkańców dalej trafiają do przydomowych szamb, które w bardzo wielu przypadkach są nieszczelne [Błażejowski, Nawrot 2009]. W wyniku czego w dalszym ciągu zanieczyszczają wody podziemne i powierzchniowe. Kolejnym czynnikiem wpływającym na mniejszy dopływ ścieków od zakładanego w projekcie jest mniejsze zużycie wody przez mieszkańców wsi od normatywnych zużyć przyjmowanych przez projektantów oczyszczalni. Badania dotyczące faktycznego zużycia wody na terenach wiejskich w Małopolsce dowiodły, iż zużycie faktyczne jest na poziomie $60\text{--}70 \text{ dm}^3 \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, a nie jak często się przyjmuje $120\text{--}150 \text{ dm}^3 \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ [Bergel 2005; Bergel, Kaczor 2007]. Na wsiach dochodzi do tego tak zwane bezzwrotne zużycie wody. Gdzie woda jest używana do podlewania ogródków przydomowych, mycia pojazdów mechanicznych, utrzymania czystości wokół domów itp. Ten czynnik decyduje, iż ilość odprowadzanych ścieków jest jeszcze mniejsza, niż ilość zużywanej wody [Bergel, Bugajski 2008].

CEL ORAZ ZAKRES PRACY

Celem badań było określenie częstości oraz prawdopodobieństwa pojawienia się charakterystycznych dopływów ścieków do zbiorczej oczyszczalni w miejscowości Tęgoborze. Analizę wyników badań opracowano na podstawie dobowych dopływów ścieków w okresie 5 lat (2002–2006). W każdym roku określono przedziały klasowe w których najczęściej pojawiały się dopływy ścieków oraz omówiono częstotliwość pojawiania się dopływów maksymalnych, znacznie przekraczających dopuszczalne obciążenia oczyszczalni.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Analizowana oczyszczalnia ścieków Eko-Clear/II zlokalizowana jest miejscowości Tęgoborze w gminie Łososina Dolna, w województwie małopolskim. Do oczyszczalni dopływają ścieki bytowe od mieszkańców sołectwa Tęgoborze. Przedmiotowa oczyszczalnia ścieków została zaprojektowana na dopływ ścieków od 1630 RLM. Projektowany średni dobowy dopływ ścieków $Q_{d.sr.}$ wynosi $204 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Obiekt ma 2 reaktory biologiczne typu Eko-Clear, które pracują naprzemiennie. Przed reaktorami biologicznymi znajduje się krata gęsta o prześwicie 6 mm. Dodatkowo obiekt jest wyposażony w dwa zagęszczacze osadu, które są zespolone z reaktorami biologicznymi. Osad nadmierny trafia do aparatu workowego w celu zmniejszenia uwodnienia osadu.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Analizą objęto wyniki badań częstości występowania dobowych dopływów ścieków osobno dla każdego analizowanego roku, tak aby wykazać czy w okresie od 2002 do 2006 roku występowała zmienność ilości dopływających ścieków do przedmiotowej oczyszczalni. Po przeliczeniu częstości wystąpienia poszczególnych wielkości dopływów ustalono szereg rozdzielczy zgodnie ze wzorem [Józwiak, Podgórski 2001]:

$$k \leq 5 \log n$$

gdzie:

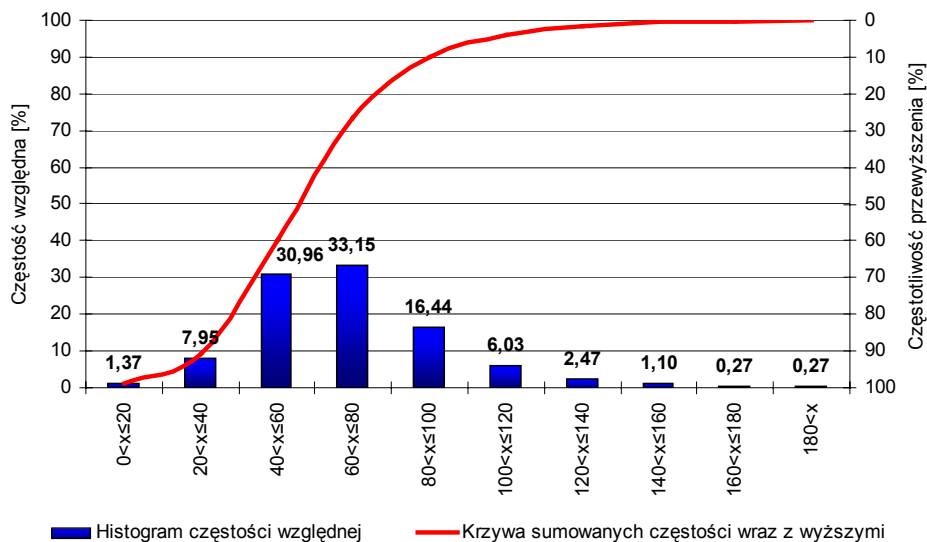
- k – liczba przedziałów klasowych ($5 < k < 20$)
- n – liczebność badanej próby

Przedziały klasowe dla poszczególnych wielkości dopływów dobrano tak, aby szereg rozdzielczy dał możliwie szczegółowy, a zarazem przejrzysty obraz struktury zbioru statystycznego. Aby możliwe było porównanie dopływu ścieków w każdym roku przyjęto przedziały klasowe o tej samej rozpiętości czyli $20 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W każdym roku przyjęto również tę samą ilość przedziałów klasowych czyli 10.

Tabela 1. Charakterystyka dopływów ścieków do oczyszczalni w latach 2002–2006
Table 1. Characteristic of the sewage inflows into the treatment plant in years 2002–2006

Parametr		Jednostka	Wartość parametru dla roku:				
			2002	2003	2004	2005	2006
wielkość	maksymalna	$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	184,0	246,0	241,0	219,0	350,0
	średnia		69,41	85,16	100,25	83,59	71,15
	minimalna		11,0	14,0	26,0	10,0	10,0
	odchylenie standartowe		25,46	39,04	28,35	28,83	39,16

Rok 2002 był pierwszym rokiem funkcjonowania oczyszczalni po jej wybudowaniu i uruchomieniu. W ciągu pierwszych 12 miesięcy najczęściej pojawiającym się dopływem był dopływ w przedziale od $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ do $80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Na zbliżonym poziomie odnotowano częstość występowania dopływu z przedziału $40 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ – $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W obu tych przedziałach odnotowano ponad 64% wszystkich dopływów. Incydentalnie zdarzyły się dopływy ścieków powyżej $180 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Taki przypadek odnotowano jednorazowo w ciągu 365 dni analizowanego 2002 roku. Częstości wystąpienia oraz prawdopodobieństwo pojawienia się danego dopływu ścieków przedstawiono na rysunku 1.

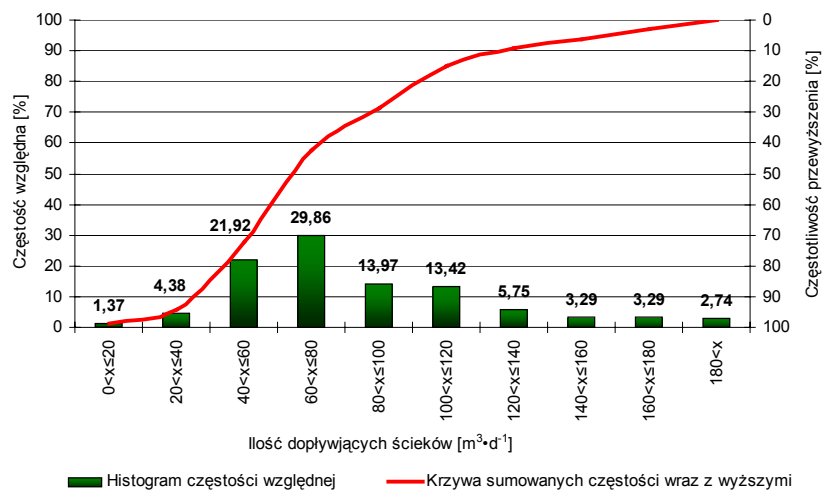


Rysunek.1. Histogram częstości względnej oraz krzywa sumowanych częstości wraz z wyższymi ilościami dopływających ścieków w roku 2002

Figure 1. Histogram of the relative part and the curve of the frequency sum together with the higher amounts of the incoming sewage in 2002

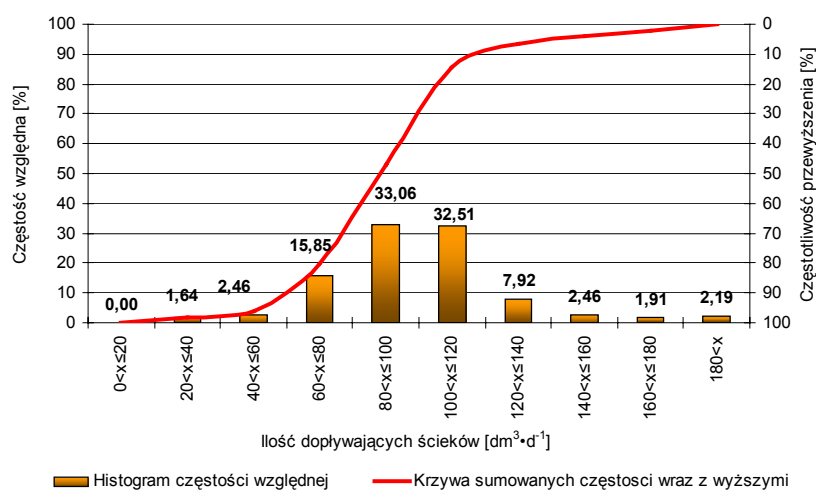
W kolejnym roku 2003 najczęściej występującym dopływem ścieków był dopływ z przedziału $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ – $80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W przedziale tym odnotowano blisko 30% przypadków wystąpienia dopływów. Zdecydowanie więcej pojawiło się dopływów z wyższych przedziałów. Na podstawie częstości występowania dopływów ścieków z poszczególnych przedziałów przedstawionych na rysunku 2 można stwierdzić, iż dopływ ścieków był bardziej równomierny w porównaniu z rokiem poprzednim (rys. 1). W 10 przypadkach została przekroczona wartość $180 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W analizowanym roku 2003 kolejna grupa mieszkańców podłączyła się do kanalizacji, co skutkowało większym dopływem ścieków do oczyszczalni.

Wraz z upływem czasu wzrastał dopływ ścieków do oczyszczalni. W kolejnym roku 2004 nastąpiło zwiększenie częstości dopływających ścieków w przedziale $80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ – $100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W tym zakresie zarejestrowano ponad 33% wszystkich dobowych dopływów. Również duży udział miał dopływ w przedziale $100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ – $120 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ (32,51%). Łączny udział dopływów ścieków w tych przedziałach wyniósł blisko 66% przypadków. Tak jak w roku poprzednim zdarzały się dopływy ścieków w ponad przeciętnej objętości. W 8 przypadkach zanotowano dopływy w ilości ponad $180 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$.



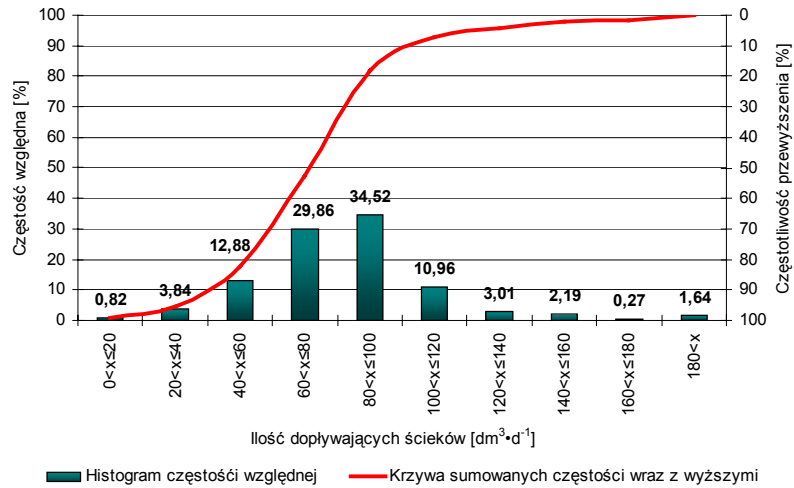
Rysunek 2. Histogram częstości względnej oraz krzywa sumowanych częstości wraz z wyższymi ilościami dopływających ścieków w roku 2003

Figure 2. Histogram of the relative part and the curve of the frequency sum together with the higher amounts of the incoming sewage in 2003



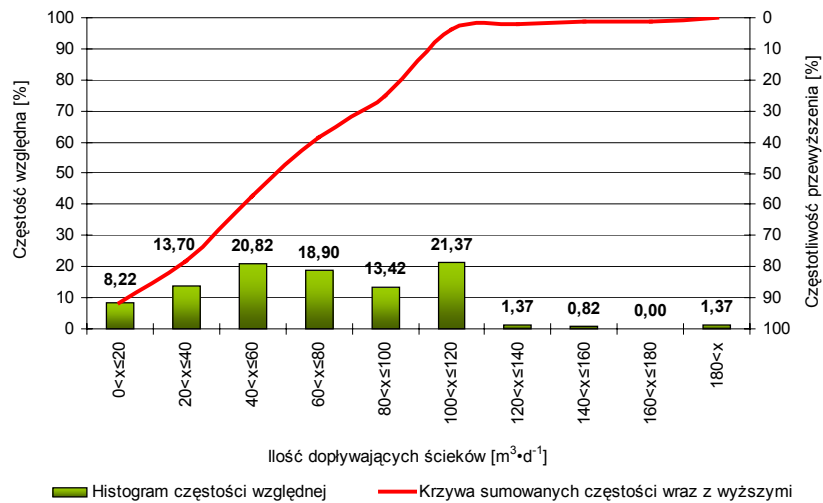
Rysunek 3. Histogram częstości względnej oraz krzywa sumowanych częstości wraz z wyższymi ilościami dopływających ścieków w roku 2004

Figure 3. Histogram of the relative part and the curve of the frequency sum together with the higher amounts of the incoming sewage in 2004



Rysunek 4. Histogram częstości względnej oraz krzywa sumowanych częstości wraz z wyższymi ilości dopływających ścieków w roku 2005

Figure 4. Histogram of the relative part and the curve of the frequency sum together with the higher amounts of the incoming sewage in 2005



Rysunek 5. Histogram częstości względnej oraz krzywa sumowanych częstości wraz z wyższymi ilości dopływających ścieków w roku 2006

Figure 5. Histogram of the relative part and the curve of the frequency sum together with the higher amounts of the incoming sewage in 2006

W następnym 2005 roku również odnotowano najczęściej pojawiające się dopływy ścieków w przedziale $80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ – $100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ (34,52% przypadków). Natomiast dużo mniejsze dopływy w porównaniu do poprzedniego okresu 12 miesięcy odnotowano w przedziale $100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ – $120 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, bo tylko 10,96% przypadków. Drugim przedziałem pod względem częstości występowania dopływów ścieków był przedział $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ – $80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W przedziale tym odnotowano blisko 30% przypadków. Tak jak w 2 latach poprzednich zdarzyły się duże dopływy ścieków ponad $180 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Było to w 6 przypadkach i stanowiło niewiele ponad 1,6% wszystkich dopływów ścieków.

W ostatnim analizowanym roku badań 2006 dopływy ścieków miały zdecydowanie inny rozkład częstości niż w latach poprzednich. Na zbliżonym poziomie częstości występowania dopływ ścieków był w 3 przedziałach, tj. $40 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ – $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ (20,82% przypadków), $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ – $80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ (18,90% przypadków) i $100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ – $120 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ (21,37% przypadków). Na nieco niższym poziomie częstości występował dopływ w 2 przedziałach, tj. $20 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ – $40 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ (13,70% przypadków) i $80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ – $100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ (13,42% przypadków). W roku 2006 nie było przedziału klasowego, w którym była by zdecydowana przewaga częstości pojawiających się dopływów ścieków. W roku 2006 zdarzyły się kilkukrotnie dopływy w ilości ponad $180 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W analizowanym 2006 roku wystąpił 2-krotnie wyjątkowo wysoki dopływ ścieków na poziomie przekraczającym $300 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$.

Podsumowując analizę zmienności dopływu ścieków w latach 2002–2006, można stwierdzić, iż zgodnie z przewidywaniami eksploatorów oczyszczalni ilość dopływających ścieków systematycznie wzrastała od roku 2002. Taki stan zaobserwowano do końca 2004 roku. Po tym okresie, tj. od początku roku 2005 do końca roku 2006 odnotowano spadek dopływających ścieków. Początkowy wzrost ilości dopływających ścieków wynikał z faktu podłączania się kolejnych mieszkańców do sieci kanalizacyjnej. Natomiast późniejszy spadek dopływu wynikał z oszczędności zużywanej wody przez mieszkańców. W każdym analizowanym roku występowały dopływy ścieków kilkakrotnie przewyższające średnie wartości. Dopływy takie pojawiały się w okresie dużych opadów atmosferycznych. Wskazuje to na dużą ilość dopływu wód przypadkowych do kanalizacji w wyniku nieszczelności sieci lub nielegalnych podłączeń rynien dachowych do kanalizacji. Jednakże aby to stwierdzić należy przeprowadzić inwentaryzację sieci oraz badania jakości ścieków surowych dopływających do oczyszczalni.

WNIOSKI I STWIERDZENIA

Na podstawie analizy wyników częstości występowania charakterystycznych dopływów ścieków do oczyszczalni w Tęgoborzy sformułowano następujące stwierdzenia i wnioski:

1. Zbiorcza oczyszczalnia ścieków w Tęgoborzy w okresie badań była niedociążona hydraulicznie. Obiekt został zaprojektowany na średni dobowy dopływ ścieków $204,0 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, natomiast w każdym roku badań dopływ był dużo niższy. W roku 2002 do oczyszczalni dopływało niecałe 32% $Q_{\text{sr.d.}}$, w roku 2003 wartość ta wzrosła do blisko 42% $Q_{\text{sr.d.}}$, w kolejnym roku 2004 odnotowano najwyższy dopływ faktyczny w badanym okresie, który wyniósł ponad 49% zakładanego dopływu. W dwóch kolejnych latach odnotowano regres dopływających ścieków w porównaniu do lat poprzednich. W roku 2005 dopływ wahał się na poziomie 41%, a w roku 2006 niecałe 35% $Q_{\text{sr.d.}}$

2. W wieloleciu 2002–2006 występowała duża zmienność dobowego dopływu ścieków do przedmiotowej oczyszczalni. W roku 2002 najczęściej pojawiały się dopływy w przedziałach $40 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} - 60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ i $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} - 80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W tych samych przedziałach częstości najczęściej pojawiały się dopływy w kolejnym 2003 roku. W roku 2004 przedziały o najczęściej pojawiającym się dopływie to $60 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} - 80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ i $80 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} - 100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W roku 2005, tak jak w poprzednim roku w dwóch tych samych przedziałach odnotowano większość dobowych dopływów ścieków. Najbardziej wyrównany dopływ ścieków miał miejsce w roku 2006. Na zbliżonym poziomie częstości występował dopływ ścieków w 5-ciu przedziałach klasowych.

3. Z wyjątkiem roku 2002 zdarzały się dopływy przekraczające kilkakrotnie dopływ średni. Były to dopływy na poziomie przewyższającym $200 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, a w roku 2006 nawet $300 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Dopływy takie pojawiały się w okresie dużych opadów atmosferycznych. Wskazuje to na dużą ilość dopływających wód przypadkowych do kanalizacji w wyniku nieszczelności sieci lub nielegalnych podłączeń rynien dachowych do kanalizacji. Jednakże, aby to stwierdzić należy przeprowadzić inwentaryzację sieci oraz badania jakości ścieków surowych dopływających do oczyszczalni.

BIBLIOGRAFIA

- Bergel T. *Objętość ścieków odprowadzanych z gospodarstw wiejskich do kanalizacji zależności od struktury zużycia wody wodociągowej*. Rozprawa doktorska – maszynopis. AR w Krakowie, 2005
- Bergel T., Bugajski P. *Wpływ wybranych czynników na bezzwrotne zużycie wody w gospodarstwach wiejskich*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2008/9, s. 60–63
- Bergel T., Kaczor G. *Wielkość i nierównomierność poboru wody przez pojedyncze gospodarstwa wiejskie*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 2007/1, s. 125–136

- Błażejowski R., Nawrot T. *Jak uszczelnić system gromadzenia i dowożenia nieczystości ciekłych?* Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2009/9, s. 2–3
- Bugajski P. *Ilość dopływających ścieków do oczyszczalni SBR – BIOVAC w miejscowości Książ Wielki w latach 2000–2004.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 2006/3/1, s. 97–105
- Bugajski P. *Dynamika dopływu ścieków do oczyszczalni w Głogowie Małopolskim.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 2007/2, s. 103–109
- Bugajski P., Bergel T. *Niedociężenia hydrauliczne przydomowych oczyszczalni ścieków.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 2009/5, s. 147–154
- Kaczor G., Pawełek J. *Pomiary natężenia przepływu ścieków w wybranych oczyszczalniach województwa małopolskiego.* Inżynieria Rolnicza, 2002/3(36), s. 239–251
- Jóźwiak J., Podgórski J. *Statystyka od podstaw.* Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2001.

Dr inż. Piotr Bugajski
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.
e-mail: p.bugajski@ur.krakow.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. inż. Jan Kempański*