

ADAM MASŁOŃ

Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury,
Zakład Inżynierii i Chemii Środowiska, e-mail: amaslon@prz.edu.pl

ANALIZA NIERÓWNOMIERNOŚCI DOPŁYWU ŚCIEKÓW DO MIEJSKIEJ OCZYSZCZALNI W ZAMOŚCIU

Znajomość jakości i ilości ścieków dopływających do komunalnej oczyszczalni jest niezastąpiona do opracowania szczegółowych bilansów, wykorzystywanych podczas przygotowywania projektów technologicznych budowanej, modernizowanej czy rozbudowywanej oczyszczalni ścieków. Nierównomierność dopływu ścieków stanowi główny czynnik powodujący zakłócenia w prawidłowym przebiegu procesów oczyszczania ścieków. Dopływ ścieków do oczyszczalni charakteryzuje się znacznymi wahaniami w cyklu godzinowym, tygodniowym, miesięcznym i kwartalnym.

Celem pracy jest określenie nierównomierności dopływu ścieków do miejskiej oczyszczalni ścieków w Zamościu w latach 2015-2016.

Słowa kluczowe: ścieki, oczyszczalnia ścieków, nierównomierność dopływu

I. WSTĘP

Znajomość jakości i ilości ścieków dopływających do komunalnej oczyszczalni jest konieczna do opracowania szczegółowych bilansów, wykorzystywanych podczas przygotowywania projektów technologicznych budowanej, modernizowanej czy rozbudowywanej oczyszczalni ścieków. Błędny bilans jakościowo-ilościowy ścieków dopływających do obiektu komunalnego może powodować pewne niedoszacowanie, które będzie skutkować kłopotami ze stabilnością uzyskiwanych parametrów ścieków odprowadzanych do odbiornika. Z kolei przewymiarowanie obiektu i w konsekwencji urządzeń technologicznych niepotrzebnie podnosić będzie koszty całej inwestycji. Każdy z błędów przełoży się dalej na konsekwencje ekonomiczne i eksploatacyjne. Analiza zmienności ładunków zanieczyszczeń dopływających do oczyszczalni ścieków stanowi zatem pomocne narzędzie przy optymalizacji pracy obiektu [Bartkowska 2016, Biskup i Masłoń 2016, Dymaczewski 2011, Klaczyński i Ratajczyk 2012, Krupicz i Masłoń 2016].

Nierównomierność dopływu ścieków stanowi główny czynnik powodujący zakłócenia w prawidłowym przebiegu procesów oczyszczania ścieków. Dopływ ścieków do oczyszczalni charakteryzuje się znacznymi wahaniami w cyklu godzinowym, tygodniowym, miesięcznym i kwartalnym. Zróżnicowanie dopływu ścieków wynika przede wszystkim z działalności życia mieszkańców, specyfiką i wielkością zlewni, rodzajem

kanalizacji obsługującej dany obszar oraz uprzemysłowieniem terenu. Znaczącym problemem, który determinuje funkcjonowanie oczyszczalni ścieków jest dopływ wód przypadkowych i infiltracyjnych, który w skrajnych przypadkach może stanowić nawet ponad 50% udziału ścieków dopływających do oczyszczalni w czasie pogody deszczowej [Masłoń i Wontor 2015, Piaskowski i Kołacz 2011].

Celem pracy było określenie nierównomierności dopływu ścieków do miejskiej oczyszczalni w Zamościu w latach 2015-2016.

II. METODYKA

Miejska oczyszczalnia ścieków w Zamościu została oddana do eksploatacji w 1995 roku. Projektowana średniodobowa przepustowość dla pogody bezdeszczowej wynosi $Q_{dsr}=25\,000\text{ m}^3/\text{d}$, a maksymalna dobowa przepustowość stanowi $Q_{dmax}=28\,000\text{ m}^3/\text{d}$ (pogoda deszczowa). Równoważna liczba mieszkańców została określona na poziomie 250 000 RLM. Aktualna wydajność oczyszczalni ścieków wynosi 135 720 RLM. Do oczyszczalni dopływają ścieki komunalne oraz przemysłowe, przy czym udział ścieków z zakładów przemysłowych w ogólnej ilości oczyszczanych ścieków wynosi 6÷9%. Niewielka ilość ścieków jest również dowożona do oczyszczalni tarem asenizacyjnym. Udział tych ścieków wynosi około 1,6% łącznej ilości ścieków surowych. Odbiornikiem ścieków oczyszczonych jest rzeka Łabuńka.

Układ technologiczny oczyszczania ścieków w Zamościu stanowią następujące obiekty i urządzenia: krata rzadka o prześwicie 8,0 mm; komora rozprężna; krata schodkowa gęsta (3 mm); piaskownik poziomy napowietrzany dwukomorowy; 2 osadniki wstępne radialne o średnicy 24 m i objętości czynnej 890 m^3 każdy; 2 komory osadu czynnego o tłokowym przepływie, głębokości czynnej 5,25 m i pojemności czynnej $11\,650\text{ m}^3$ z wydzielonymi strefami – anoksydacyjną (komora predenitryfikacji), anaerobową (komora defosfatacji), anoksydacyjną (komora denitryfikacji) i aerobową (komora nitryfikacji); 2 osadniki wtórne radialne o średnicy 48 m i objętości czynnej $6\,280\text{ m}^3$ każdy. Dodatkowo biologiczne usuwanie fosforu ze ścieków jest wspomagane środkami chemicznymi (PIX 123, PAX 16). Zastosowany system oczyszczania ścieków zapewnia zintegrowane usuwanie związków węgla, azotu i fosforu ze ścieków.

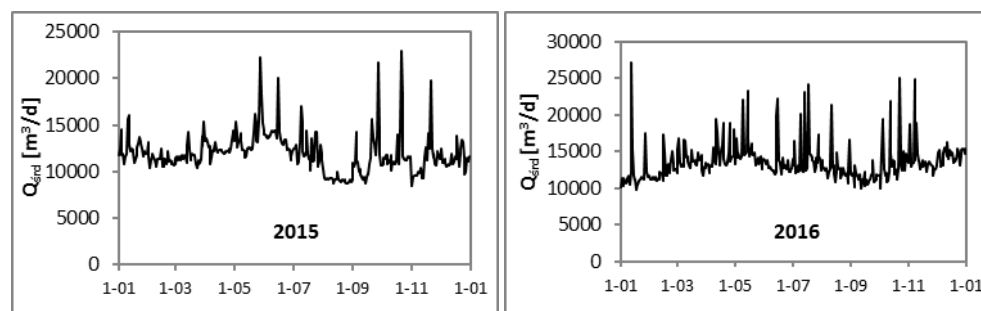
Z kolei osadowy ciąg technologiczny bazuje na zagęszczaniu osadu wstępnego w zagęszczaczu grawitacyjnym oraz zagęszczaniu osadu nadmiernego w zagęszczarce mechanicznej. Zagęszczone osady kierowane są do wydzielonych komór fermentacji, a następnie do otwartego basenu fermentacyjnego pełniącego rolę retencyjną. Dalej osad jest odwadniany na prasie taśmowej, higienizowany i magazynowany na placu. Następnie kierowany jest do rolniczego wykorzystania. Wytworzony biogaz jest spalany i wykorzystywany energetycznie.

Analizę zmienności dopływu ścieków do oczyszczalni w Zamościu przeprowadzono na podstawie wyników udostępnionych przez eksploatatora obiektu, Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej Spółka z o.o. w Zamościu, z okresu od 1 stycznia 2015 roku do 31 grudnia 2016 roku. Liczba pomiarów przepływu ścieków $n=731$. Określono podstawowe statystyki opisowe – miary pozycyjne (wartość średnia, minimalna, maksymalna) oraz miary rozproszenia (odchylenie standardowe, współczynnik zmienności) dla przepływu dobowego (Q_{dsr}) i miesięcznego (Q_m). Przeprowadzono analizę przepływów ścieków w poszczególnych miesiącach i kwartałach, określając średnie wartości Q_{dsr} dla każdego okresu. Wyznaczono histogram przepływów ścieków w rozpatrywanym okresie. Dodatkowo przeprowadzono analizę współczynnika nierównomierności dopływu ścieków do oczyszczalni N_d i N_{dmax} , współczynnika nieregularności (α), amplitudy względnej (A) oraz współczynnika przepływów (W_m)

stanowiącego iloraz miesięcznego przepływu i sumarycznego rocznego przepływu ścieków [Masłoń 2017].

III. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Charakterystykę dobowego przepływu ścieków dla oczyszczalni w Zamościu zilustrowano na wykresie (rys. 1). Przepływ średni dobowy w rozpatrywanym dwuleciu wahał się w przedziale od 8 514 do 27 126 m³/d, przy średniej wartości równej 12 766 m³/d (tab. 1). Współczynnik zmienności w latach 2015-2016 kształtował się na podobnym poziomie – ok. 0,18. W 2015 roku najwyższe przepływy Q_{dsr} notowane były w maju oraz we wrześniu i październiku, z kolei w 2016 roku w styczniu i październiku. Najniższe przepływy dobowe w poszczególnym roku obserwowano natomiast w sierpniu (2015 r.) i wrześniu (2016 r.). Nie zaobserwowano powtarzalnej sezonowości przepływu ścieków. Zróżnicowana wartość Q_{dsr} wynikała bezpośrednio z dopływu wód opadowych w okresie deszczowym, bowiem udział ścieków przemysłowych i dowożonych jest niewielki – łącznie ok. 10%.



Rys. 1. Przepływ ścieków w latach 2015 i 2016

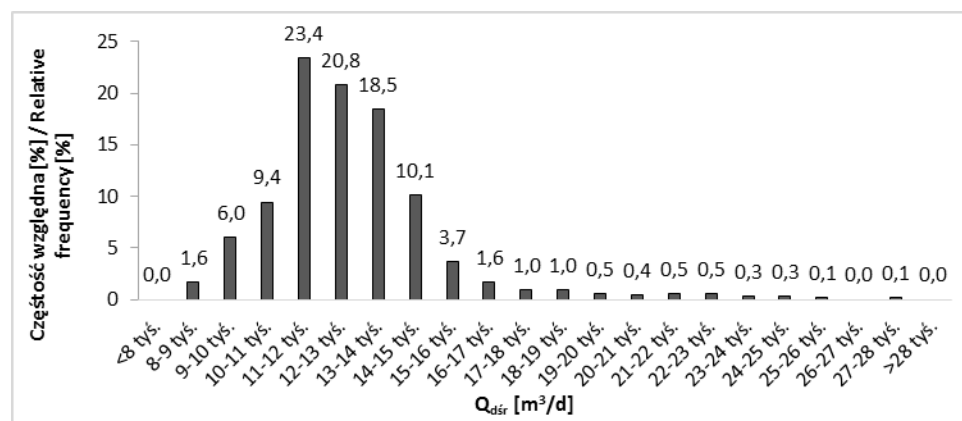
Fig. 1. The amount of wastewater flowing into the WWTP in 2015-2016

Tabela 1 - Table1

Wybrane wartości statystyk opisowych przepływów dobowych Q_{dsr} / Selected values of descriptive full day stats values of wastewater

Dane statystyczne Statistic data	Jednostka Unit	2015	2016	2015-2016
Średnia / Average	m ³ /d	11 946	13 572	12 766
Minimum / Minimum	m ³ /d	8 514	9 888	8 514
Maksimum / Maximum	m ³ /d	22 948	27 126	27 126
Mediana / Median	m ³ /d	11 693	13 130	12 410
Odchylenie standardowe / Standard deviation	m ³ /d	2 047	2 473	2 411
Wsp. zmienności / Coefficient of variation	-	0,17	0,18	0,19
Sumaryczna ilość ścieków Total amount of wastewater	m ³ /rok	4 361 525	4 970 545	9 332 069
Liczba pomiarów / Number of measurements	szt.	365	366	731

Oczyszczalnia ścieków w Zamościu pracowała przy zmiennym dopływie ścieków na poziomie od 34,1 do 108,5%, średnio 51,1%, projektowanej przepustowości $Q_{d\dot{s}r}$. Oczyszczalnia posiada znaczącą rezerwę hydrauliczną. Umożliwia to podłączanie do sieci kanalizacyjnej nowych obszarów, które znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie zlewni. Nie odnotowano przekroczenia maksymalnej dobowej przepustowości obiektu określonej dla pogody deszczowej, nawet w okresie opadów ekstremalnych (styczeń 2016 r.). Odnotowany maksymalny przepływ stanowił 96,8% maksymalnej wartości, jaką jest w stanie przyjąć oczyszczalnia ścieków. Najczęściej notowanymi przepływami były wartości w zakresie 11 000÷12 000 m³/d (23,4% obserwacji). W mniejszym stopniu występowały przepływy dobowe na poziomie 12 000÷13 000 m³/d oraz 13 000÷14 000 m³/d, stanowiące odpowiednio 20,8 i 18,5% obserwacji. Przepływy w przedziałach 9 000÷11 000 m³/d oraz 14 000÷16 000 m³/d występowały rzadko, natomiast przepływy powyżej 16 000 m³/d były incydentalne (rys. 2). Na podstawie analizy histogramu przepływów ścieków można stwierdzić, że oczyszczalnia ścieków funkcjonowała zazwyczaj przy 44÷48% projektowanej przepustowości. Mimo niskiej przepustowości zaobserwowano nagłe zwiększanie się przepływu ścieków w czasie pogody deszczowej. Ekstremalnie wysokie, gwałtownie pojawiające się przepływy mogą wpływać niekorzystnie na pracę biologicznej części oczyszczalni ścieków, bowiem w układzie nie ma zbiornika retencyjnego, który mógłby przyjąć opady nawałne. Z uwagi na charakter zlewni i sieci kanalizacyjnej wskazane staje się zastosowanie zbiornika retencyjnego w oczyszczalni.



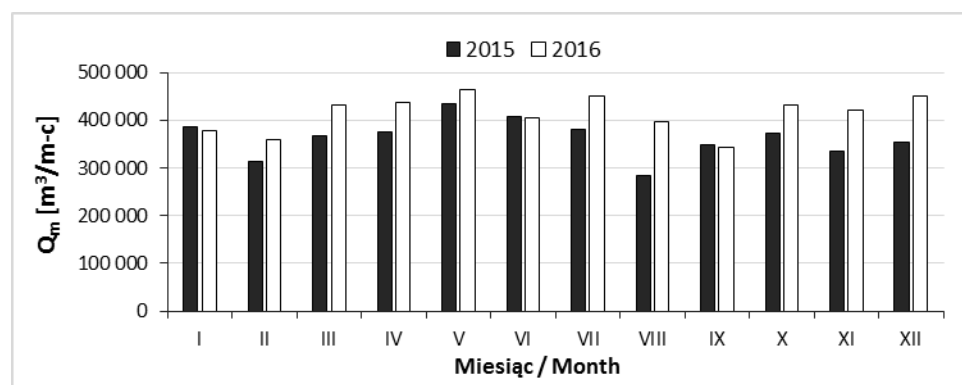
Rys. 2. Częstość występowania (%) dobowych przepływów ścieków w latach 2015-2016

Fig. 2. Relative frequency (%) of the daily amount of wastewater in 2015-2016

Nierównomierność dopływu ścieków określona współczynnikiem nierównomierności maksymalnego dopływu N_{dmax} wynosiła 1,92 (2015 r.) i 2,0 (2016 r.). Z uwagi na losowy charakter spływu ścieków (również wód opadowych) określone wartości N_{dmax} są rozbieżne z przyjmowanymi danymi literatury. Wg Heidricha i Witkowskiego [2015] wartość współczynnika nierównomierności N_{dmax} zależy od wielkości jednostki osadniczej (liczby mieszkańców) i dla miast powyżej 25 000 mieszkańców współczynnik N_{dmax} wynosi 1,2. Skrajne wartości przepływów dobowych w ciągu roku różniły się znacznie. Współczynnik nieregularności wynosił 2,69 i 2,74, z kolei amplituda względna osiągnęła wartość 1,21 i 1,46,

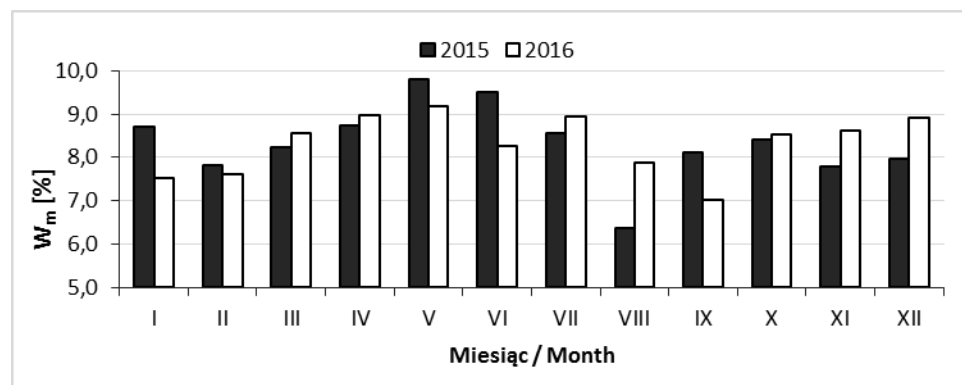
odpowiednio w roku 2015 i 2016. Minimalny przepływ ścieków do obiektu był niższy od średnio dobowego o 34%, a maksymalny o 112% większy.

Analiza przepływów miesięcznych Q_m nie wykazała powtarzalności sezonowej (rys. 3). Najwięcej ścieków dopływało w maju, zarówno w 2015 r. ($435\,850\text{ m}^3/\text{m-c}$), jak i w 2016 r. ($463\,470\text{ m}^3/\text{m-c}$), z kolei najmniej w sierpniu 2015 r. ($283\,200\text{ m}^3/\text{m-c}$) i we wrześniu 2016 r. ($343\,400\text{ m}^3/\text{m-c}$). Najczęściej notowano przepływy miesięczne w zakresie $350\,000\text{--}400\,000\text{ m}^3/\text{m-c}$. Przepływy powyżej $400\,000\text{ m}^3/\text{m-c}$ występowały w okresach maj-czerwiec 2015 roku oraz marzec-lipiec i październik-grudzień w 2016 r. Przepływ ścieków poniżej $300\,000\text{ m}^3/\text{m-c}$ zaobserwowano jedynie w sierpniu 2015 r. Strukturę rocznego przepływu ścieków do oczyszczalni zaprezentowano na rysunku 4. W 2015 roku największy udział dopływających ścieków stwierdzono w maju (9,8%) i czerwcu (9,5%), a najmniejszy w sierpniu (6,4%). W 2016 r. zależności były zupełnie inne, bowiem w kwietniu i maju notowano maksymalny udział ścieków w sumarycznej ilości rocznej, odpowiednio 9,0% i 9,2%, a najmniejszy udział procentowy stwierdzono we wrześniu (7%).



Rys. 3. Sumaryczny miesięczny przepływ ścieków (Q_m)

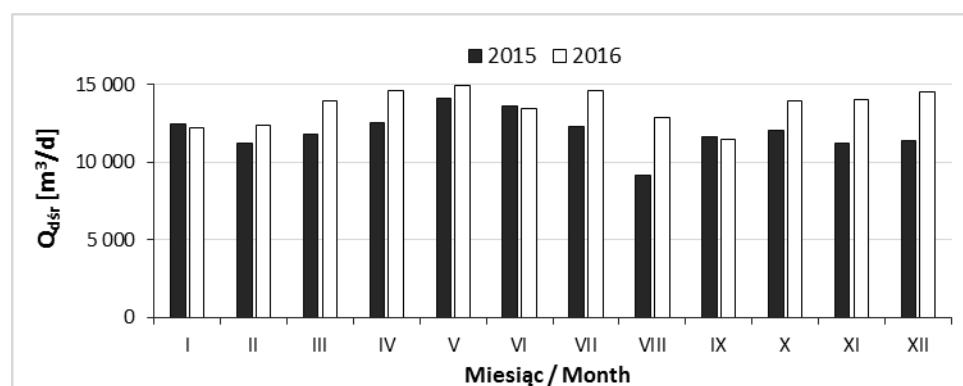
Fig. 3. Total monthly flow of wastewater (Q_m)



Rys. 4. Udział przepływu ścieków w danym miesiącu w rocznym przepływie ścieków

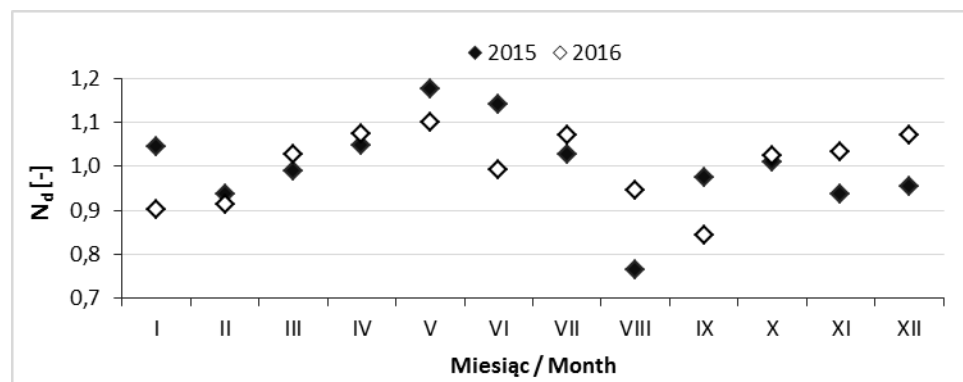
Fig. 4. The share of the wastewater flow in a given month in the annual flow of wastewater

Agregacja danych pozwoliła na określenie średniomiesięcznego przepływu ścieków (rys. 5 i 6). Analizując miesięczną dynamikę przepływu dla oczyszczalni można stwierdzić, że najniższy średniomiesięczny przepływ $Q_{d\bar{s}}$ wystąpił w sierpniu 2015 r. (9 135 m³/d), a najwyższy w maju 2016 r. (14 951 m³/d). W 2016 r. średniomiesięczne przepływy dobowe były bardziej wyrównane aniżeli w roku 2015. Stwierdzono również zróżnicowaną nierównomierność dopływu w poszczególnych miesiącach, dodatkową inną w każdym roku. Miesięczny współczynnik nierównomierności dopływu ścieków N_d oscylował w przedziałach 0,76÷1,18 oraz 0,84÷1,1 w 2015 i 2016 roku. W miesiącach wiosennych i jesiennych nierównomierność była wysoka, powyżej 1,0, natomiast w pozostałych miesiącach była niska, poniżej 1,0.



Rys. 5. Średni miesięczny przepływ ścieków w latach 2015-2016

Fig. 5. Average monthly flow of wastewater in 2015-2016

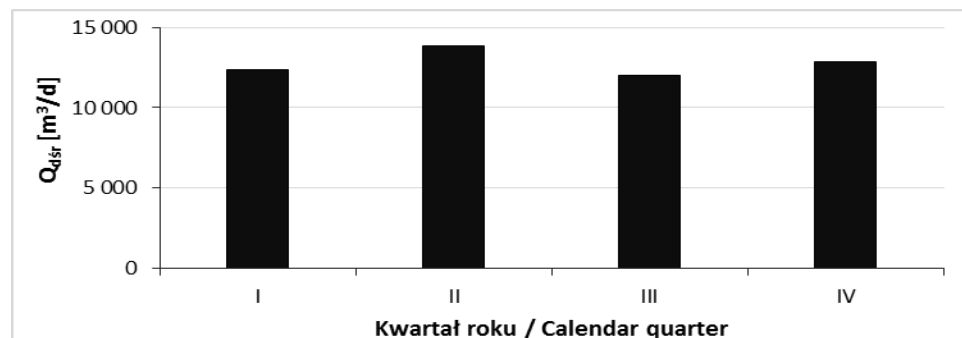


Rys. 6. Zmiany współczynnika nierównomierności dopływu ścieków do oczyszczalni (N_d) w latach 2015-2016

Fig. 6. Changes of unevenness of the wastewater inflow (N_d) into the WWTP in 2015-2016

W rozpatrywanym dwuleciu wartości przepływu ścieków charakteryzowały się również zauważalnym zróżnicowaniem sezonowym w cyklu kwartalnym (rys. 7). Najniższy przepływ dobowy średni sezonowy stwierdzono dla III kwartału (11 981 m³/d), natomiast najwyższy dla II kwartału (13 869 m³/d). Analiza sezonowej dynamiki wskazuje, że

w poszczególnych kwartałach kalendarzowych przepustowość oczyszczalni w Zamościu kształtowała się na poziomie odpowiednio 49,3% (I kw.), 55,5% (II kw.), 47,9% (III kw.) i 51,4% (IV kw.) przepustowości projektowej.



Rys. 7. Średni przepływ dobowy w poszczególnym kwartale (wartość średnia dla lat 2015-2016)

Fig. 7. The average daily flow in a particular calendar quarter (average value for 2015-2016)

IV. WNIOSKI

1. W rozpatrywanym latach 2015-2016 oczyszczalnia w Zamościu funkcjonowała przy zróżnicowanej ilości dopływających ścieków. Przepływ średni dobowy wahał się w przedziale od 8 514 do 27 126 m^3/d , średnio 12 766 m^3/d . Zróżnicowana objętość ścieków wynikała bezpośrednio z dopływu wód opadowych w okresie deszczowym.
2. Oczyszczalnia ścieków pracowała przy przepustowości na poziomie od 34,1 do 108,5%, stanowiąc średnio 51,1% wartości projektowanej. Oczyszczalnia posiada znaczącą rezerwę hydrauliczną i istnieje możliwość zwiększenia przepustowości obiektu poprzez podłączanie do sieci kanalizacyjnej nowych obszarów.
3. Analiza przepływów miesięcznych nie wykazała powtarzalności sezonowej. Najczęściej notowano przepływy miesięczne w zakresie 350 000÷400 000 $m^3/miesiąc$.
4. Stwierdzono zróżnicowaną nierównomierność dopływu ścieków w poszczególnych miesiącach, dodatkową inną w każdym roku. Miesięczny współczynnik nierównomierności dopływu ścieków N_d oscylował w przedziałach 0,76÷1,18 oraz 0,84÷1,1 w 2015 i 2016 roku.
5. Przepływ ścieków charakteryzował się zauważalnym zróżnicowaniem sezonowym w cyklu kwartalnym. Najniższy przepływ dobowy średni sezonowy stwierdzono dla III kwartału (jesień), natomiast najwyższy dla II kwartału (wiosna).
6. Analiza bilansu ilościowego ścieków dopływających do oczyszczalni w Zamościu umożliwia poprawę eksploatacji obiektu. Znajomość ekstremalnie wysokich przepływów Q_{dmax} pozwala na określenie objętości czynnej dla zbiornika retencyjnego, którego celem będzie przyjęcie znacznej ilości wód opadowych w czasie pogody deszczowej. Należy spodziewać się w dłuższej perspektywie czasowej progresji wód opadowych, wobec czego obecność zbiornika retencyjnego w układzie technologicznym oczyszczalni ścieków w Zamościu staje się nieodzowna.

BIBLIOGRAFIA

1. Bartkowska I. 2016. Zmienność odpływu ścieków oczyszczonych. Inżynieria Ekologiczna. 48. 1-8. DOI: 10.12912/23920629/63258
2. Biskup B., Masłoń A. 2016. Bilans ilościowo-jakościowy ścieków dopływających do oczyszczalni dla miasta Sanoka. Forum Eksploatatora. 3 (84). 18-23.
3. Dymaczewski Z. 2011. Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. PZITS.
4. Heidrich Z., Witkowski A. 2015. Urządzenia do oczyszczania ścieków. Projektowanie, przykłady obliczeń. Wydawnictwo Seidel-Przywecki. Wyd. III.
5. Klaczyński E., Ratajczyk P. 2012. Oczyszczalnia ścieków - bilans jakościowy i ilościowy. Wodociągi Kanalizacja. 1(95). 30-33.
6. Krupicz A., Masłoń A. 2016. Zmienność ładunków zanieczyszczeń dopływających do oczyszczalni ścieków w Stalowej Woli. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury. t. XXXIII. 63 (2/I/16). 101-114. DOI: 10.7862/rb.2016.113
7. Masłoń A., Wontor M. 2015. Bilans ilościowo-jakościowy ścieków dopływających do oczyszczalni. [w:] K. Pikoń, M. Czop (red.). Współczesne problemy ochrony środowiska II. Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska. Gliwice. 91-101.
8. Masłoń A. 2017. Dynamika dopływu ścieków do oczyszczalni w aspekcie funkcjonowania sekwencyjnych reaktorów porcjowych. Instal. 10. 57-62.
9. Piaskowski K., Kołacz K. 2011. Zmienność ilościowo-jakościowa ścieków surowych w oczyszczalni ścieków komunalnych. Forum Eksploatatora. 3. 62-69.

ANALYSIS OF UNEVENNESS OF THE WASTEWATER INFLOW INTO THE ZAMOŚĆ WWTP

Summary

Knowledge of the quality and quantity of wastewater flowing into the municipal wastewater treatment plant is essential for the development of detailed balance sheets that are used for the preparation of technological projects for the construction, modernization or expansion of the WWTP. Unevenness of the wastewater inflow into the WWTP is a major factor causing disturbance in the proper course of wastewater treatment processes. The flow of wastewater to the WWTP is subject to significant fluctuations in cycle, hourly, weekly, monthly and quarterly.

The aim of the work is to determine the uneven wastewater inflow into the Zamość WWTP in the years 2015-2016.

Keywords: wastewater, wastewater treatment plant, uneven wastewater inflow