

Katarzyna MAJ¹
Adam MASŁOŃ²

WIELOPARAMETRYCZNA OCENA EFEKTYWNOŚCI OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W RZESZOWIE PRZED MODERNIZACJĄ

Przedmiotem opracowania jest wieloparametryczna ocena efektywności oczyszczalni ścieków w Rzeszowie przed jej modernizacją. Miejska oczyszczalnia ścieków w Rzeszowie wybudowana w latach 1974-1988 była wielokrotnie modernizowana (1992-1998, 2001, 2003-2004, 2012-2013). Projektowana średniodobowa przepustowość wynosi $Q_{d\text{sr}} = 62\,500\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, $Q_{d\text{max}} = 75\,000\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, a równoważna liczba mieszkańców 400000 RLM. Technologia oczyszczania ścieków zakłada mechaniczno-biologiczne oczyszczanie ścieków ze zintegrowanym usuwaniem substancji biogenych oparte na konwencjonalnym wielofazowym osadzie czynnym z denitryfikacją wyprzedzającą i nityfikacją w układzie cyrkulacyjnym. Ciąg technologiczny obiektu stanowi krata schodkowa, piaskownik poziomy, osadnik wstępny, komora osadu czynnego oraz osadniki wtórne. Od stycznia 2011 do grudnia 2013 r. oczyszczalnia ścieków w Rzeszowie pracowała w zmiennych warunkach obciążeń hydraulicznych. Średni przepływ w analizowanym okresie wynosił $39\,961\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$. W latach 2011-2013 średnia efektywność usuwania zanieczyszczeń ze ścieków w oczyszczalni komunalnej w Rzeszowie wyniosła: $BZT_5 - 98,1 \pm 1,05\%$, $ChZT_{Cr} - 94,4 \pm 2,34\%$, zawiesina ogólna $- 97,5 \pm 2,21\%$, azot ogólny $- 76,4 \pm 6,48\%$, fosfor ogólny $- 94,1 \pm 5,23\%$. W analizowanym okresie oczyszczalnia ścieków zapewniała właściwą skuteczność usuwania zanieczyszczeń względem wymagań określonych w pozwoleniu wodnoprawnym. Interpretacja efektywności oczyszczalni ścieków w odniesieniu do wymagań określonych w RMS dla obiektów o wielkość RLM ≥ 100000 wykazała liczne przekroczenia wartości dopuszczalnych. Wskazuje to na potrzebę modernizacji oczyszczalni przede wszystkim w zakresie usuwania związków biogenych. Modernizacja oczyszczalni ścieków przyczyni się do zmniejszenia odprowadzanego do środowiska wodnego ładunku zanieczyszczeń związków biogenych, ograniczenia ryzyka eutrofizacji wód odbiornika i w konsekwencji do poprawy jakości środowiska wodnego.

Słowa kluczowe: ścieki, oczyszczalnia ścieków, wskaźniki zanieczyszczeń

¹ Katarzyna Maj, Politechnika Rzeszowska

² Autor do korespondencji/corresponding author: Adam Masłoń, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 7432407, amaslon@prz.edu.pl

1. Wprowadzenie

Oczyszczanie ścieków to proces realizowany w celu zmniejszenia koncentracji zanieczyszczeń w ściekach, obniżenia ich stężenia do poziomów odpowiadających zapisom w aktualnych rozporządzeniach. Proces oczyszczania ścieków w oczyszczalniach mechaniczno-biologicznych z usuwaniem substancji biogenych – azotu w procesach nityfikacji i denityfikacji oraz fosforu w procesie defosfatacji biologicznej – bądź strącania chemicznego wynika z działań ochronny względem odbiorników ścieków. Przyjmowane przez odbiornik ścieki oczyszczone powinny zawierać takie ładunki zanieczyszczeń, które nie spowodują pogorszenia jego stanu czystości.

W celu uzyskania pewności o odpowiedniej wysokości ładunków odprowadzanych do odbiornika należy wykonać odpowiednią analizę jakości ścieków. Wykonanie analizy jakościowej ścieków pozwala ocenić prawidłowość funkcjonowania oczyszczalni ścieków oraz wpływ odprowadzanych ścieków na odbiornik i środowisko wodne.

2. Charakterystyka oczyszczalni ścieków w Rzeszowie

Miejska oczyszczalnia ścieków w Rzeszowie jest zlokalizowana przy ul. Ciepłowniczej 2, na prawym brzegu rzeki Wisłok, w północnej części miasta oddalona około 3,1 km od centrum. Rzędne terenu oczyszczalni ścieków wahają się między 197,70 a 200,20 m n.p.m. [5]. Rzeka Wisłok – lewy dopływ Sanu stanowi sieć hydrograficzną w tym rejonie, przepływa w odległości około 100 m od oczyszczalni i jest bezpośrednim odbiornikiem ścieków oczyszczonych z rzeszowskiego obiektu [5, 14].

W większej części Rzeszowa funkcjonuje rozdzielczy systemem kanalizacji. Lewobrzeżna część miasta odprowadza ścieki systemem kanalizacji ogólnospławnej. Obecnie trwa przebudowa kanalizacji w celu całkowitego rozdzielenia systemu kanalizacji sanitarnej na obszarze całego miasta [5, 8]. Ze względu na zróżnicowane ukształtowanie terenu i dołączanie do sieci nowych osiedli oraz gmin konieczna jest budowa przepompowni. Obecnie na terenie miasta jest eksploatowanych 81 przepompowni. Długość kanalizacji sanitarnej wynosi łącznie 619,3 km długości (107,2 km stanowią przyłącza) [5, 8]. Ze względu na rozwój miasta, budowę nowych osiedli oraz przyłączania do miasta nowych obszarów zostały podjęte działania, które obejmują budowę nowych odcinków dla sieci kanalizacji sanitarnej. Z chwilą rozpoczęcia działań były to głównie tereny bez możliwości przyłączenia do kanalizacji sanitarnej. Pod koniec 2012 r. skanalizowanie miasta stanowiło 98% [8]. Wody opadowe są odprowadzane z terenu Rzeszowa do rzeki Wisłok. Lokalne odbiorniki wód deszczowych dla lewobrzeżnej części Rzeszowa to: kolektor Baranówka, kolektor przechodzący przez Staromieście

i ulicę Trembeckiego, potoki: Hermanówka, Przyrwa, Mikośka, Lubcza, Paryja,

natomiast dla prawobrzeżnej części miasta: Strug i Młynówka. Większa część kanalizacji deszczowej jest powiązana z wymienionymi odbiornikami, a pozostałe wody opadowe są odprowadzane bezpośrednio do rzeki Wisłok. Sieć kanalizacji deszczowej wynosi łącznie 335,6 km długości (stan na 31 grudnia 2012 r.) [5, 8]. Sieci kanalizacyjne eksploatuje Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Rzeszowie.

Oczyszczalnia ścieków w Rzeszowie została wybudowana w latach 1974-1988. Linia technologiczna oczyszczalni ścieków była modernizowana etapami w latach 1992-1998 do systemu Bardenpho. Modernizacja zwiększyła przepustowość oczyszczalni do obecnej wartości 62 500 m³/d. Obliczeniowe obciążenie hydrauliczne oczyszczalni ścieków w Rzeszowie wynosi $Q_{dśr} = 62\,500\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, $Q_{dmax} = 75\,000\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ oraz 400000 RLM [5]. Wprowadzono automatyczną kontrolę i sterowanie procesami technologicznymi oraz urządzeniami do mechanicznego zagęszczania i odwadniania osadów [5]. W 2001 roku zmodyfikowano system oczyszczania ścieków na system MUCT, wprowadzając recyrkulację z komory denitryfikacji do komory defosfatacji. W latach 2003-2004 dokonano kolejnej modernizacji części osadowej, która obejmowała budowę dwóch dodatkowych komór fermentacyjnych o pojemności czynnej 2200 m³ każdy [5]. W latach 2012-2013 zmodernizowano część mechaniczną oczyszczalni ścieków. W ramach tego przedsięwzięcia zmodernizowano piaskowniki, halę krat, zbiornik retencyjny, osadniki wstępne i wtórne.

Obecnie w oczyszczalni ścieków w Rzeszowie jest przeprowadzana modernizacja części biologicznej, która zakłada wysoko sprawne usuwanie związków biogenych ze ścieków. Zakończenie prac modernizacyjnych przewiduje się na drugą połowę grudnia 2015 r. [5, 14].

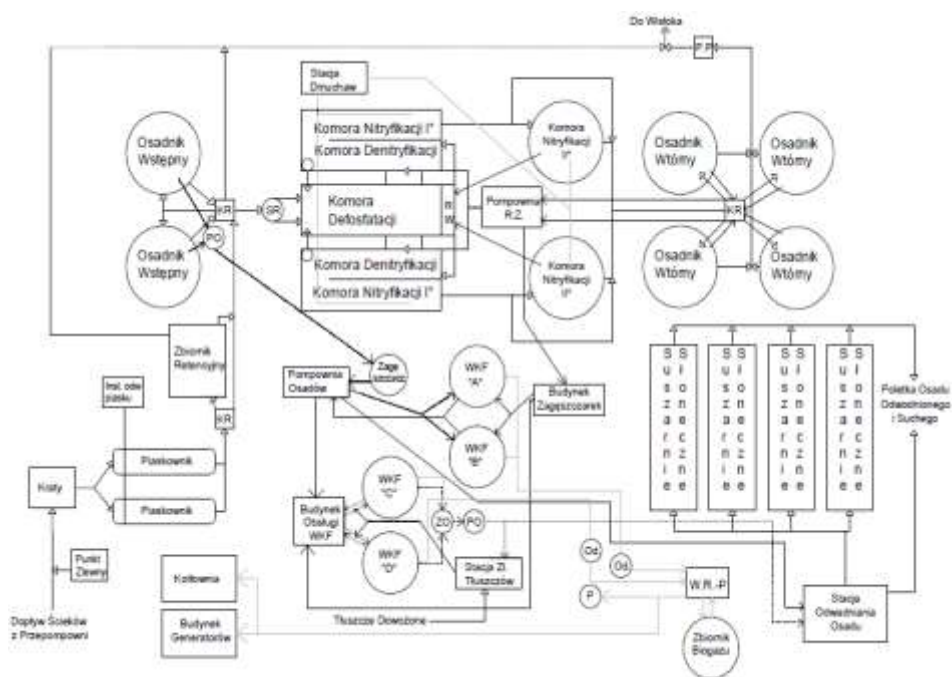
Konieczność podjęcia modernizacji części biologicznej wynikała ze zmian wymagań dotyczących jakości ścieków oczyszczonych odprowadzanych z oczyszczalni do odbiornika. Modernizacji wymagały również obiekty zniszczone technicznie przez wieloletnią eksploatację. Po przeprowadzonej inwestycji oczyszczalnia ścieków w Rzeszowie będzie posiadała infrastrukturę techniczną, która pozwoli na osiągnięcie wyższej efektywności niż dotychczas oraz spełni wymagania stawiane w Dyrektywie 91/271/EWG w sprawie oczyszczania ścieków komunalnych i w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do

wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Po rozbudowie wielkość oczyszczalni będzie wynosiła 398 000 RLM, tj. o 2 000 RLM mniej niż obecnie [5, 7].

Planowane przedsięwzięcie obejmie modernizację i rozbudowę komór biologicznych z automatyzacją procesu oczyszczania ścieków. Komory biologiczne zwiększą swoją objętość z 25 915 do 49 900 m³. Projekt przewiduje budowę nowej stacji dmuchaw, nowej pompowni osadu wstępnego oraz węzła koagula-

cji odcieków z odwadniania. Zmodernizowany zostanie system sterowania i wizualizacji oczyszczalni ścieków [5].

Technologia oczyszczania ścieków w rzeszowskiej oczyszczalni zakłada mechaniczno-biologiczne oczyszczanie ścieków ze zintegrowanym usuwaniem substancji biogenych według technologii konwencjonalnego wielofazowego osadu czynnego z denitryfikacją wyprzedzającą i nityfikacją w układzie cyrkulacyjnym (rys. 1.). Obejmuje dwa stopnie oczyszczania [5, 7, 8, 14].



Rys. 1. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Rzeszowie

Fig. 1. Scheme of technological system of Rzeszów WWTP

Oczyszczanie I^o to oczyszczanie mechaniczne ścieków – ścieki dopływają z pompowni i są dowożone do punktu zlewnego, kanałem ścieków surowych przepływają do budynku krat, gdzie zachodzą procesy cedzenia i sedymentacji realizowane w trzech kolejnych urządzeniach: kratkach, piaskownikach napowietrzanych i osadnikach wstępnych [5]. W budynku krat znajdują się trzy kraty schodkowe mechaniczne, z których skratki trafiają na prasę hydrauliczną i są magazynowane na zewnątrz budynku pod zadaszaną wiatą. Ścieki z krat przepływają grawitacyjnie do dwóch poziomych, dwukomorowych piaskowników z komorą ulgi. Za pomocą zgarniaczy dennych piasek jest zgarniany do leja, a stamtąd

pompowany do stanowiska odwadniania, kolejno do płuczki i po zagęszczeniu za pomocą przenośnika śrubowego trafia bezpośrednio na przyczepę. Wypłukany piasek wykorzystuje się na terenie oczyszczalni. Z piaskowników ścieki trafiają do komory przelewowej, następnie do komory rozdziału i ostatecznie do dwóch osadników wstępnych o pojemności 3 768 m³ objętości czynnej każdy [5]. Dodatkowym obiektem występującym w mechanicznym węźle oczyszczalni ścieków jest zbiornik retencyjny ścieków opadowych o objętości czynnej 5 062 m³, do którego trafiają ścieki z komory przelewowej w okresie deszczowym. W zbiorniku retencyjnym są zamontowane dwa mieszadła zatapialne, aby zapobiec sedymentacji i zagniwaniu ścieków. Zbiornik ma wmontowane dwie pompy, z których jedna prowadzi ścieki przez komorę zasuw do osadników wstępnych, a druga pompuje ścieki do komory ściekowej położonej przed piaskownikiem. W osadnikach wstępnych przebiega proces wstępnej sedymentacji zawieszin, skąd są mechanicznie doprowadzane korytami zbiorczymi do studni rozdzielczej. Osad z leja osadowego jest zbierany w komorze osadowej, w której jest zainstalowana pompa zatapialna. Z komory osad trafia przez kanał przed zagęszczacz i grawitacyjnie dopływa do zbiornika zagęszczacza grawitacyjnego. Ścieki oczyszczone mechanicznie są transportowane ze studni rozdzielczej do komory dopływowej, a następnie wpływają do komory defosfatacji (KD) o objętości 2775 m³. Tu zaczyna się II° oczyszczania ścieków.

Ścieki kanałami dopływają do dwóch komór biologicznych, które przedzielone przegrodami tworzą komory denitryfikacji (KDN) oraz komory nityfikacji I° (KN1) od strony zewnętrznej. Objętość każdej z nich wynosi 2840 m³. Z komór nityfikacji I° ścieki są transportowane kanałem do dwóch komór nityfikacji II° (KN2) o objętości 5900 m³ każda. Transport ścieków może być prowadzony również kanałem obiegowym, ścieki trafiają wówczas do rozdzielacza ścieków i osadów umiejscowionych przy osadnikach wtórnych. Ścieki odpływają kanałami z komór nityfikacji II° do rozdzielacza ścieków. W komorach KD znajdują się dwie pompownie ścieków recyrkulowanych, które recyrkulują ścieki z KN2 i przewodami odprowadzają ścieki do komór KDN. Z rozdzielacza ścieki dopływają do czterech osadników wtórnych, ścieki są transportowane króćcami z kolumn do części czynnej osadnika, a osady do komory zewnętrznej. Osad zgromadzony na dnie osadników jest odprowadzany za pomocą systemu ssawkowo-pompowego z systemem zgarniania i odprowadzania części pływających do studni rozdzielczej osadów, skąd trafia do pompowni osadu recyrkulowanego i nadmiernego. Dodatkowo jest również stosowane chemiczne końcowe strącanie fosforu ze ścieków za pomocą siarczynu żelaza. Sklarowane ścieki dopływają do koryta przelewowego, następnie są odprowadzane kanałem żelbetowym do kanału zbiorczego ścieków oczyszczonych, gdzie znajduje się punkt poboru prób ścieków oczyszczonych odprowadzanych do odbiornika. Pomiar trafia do komputera

w centrali sterowni. Ścieki oczyszczone są odprowadzane kolektorem do rzeki Wisłok w km 58 + 300 [5, 7, 8, 14].

3. Metodyka analizy efektywności pracy oczyszczalni ścieków

Wieloparametryczną ocenę efektywności oczyszczalni w Rzeszowie oparto na wynikach średnich dziennych badań jakościowych ścieków surowych i oczyszczonych wykonanych przez laboratorium oczyszczalni w latach 2011-2013. Analiza opiera się na wybranych wskaźnikach zanieczyszczeń: BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesina ogólna, azot ogólny i fosfor ogólny. Dla każdego wskaźnika zanieczyszczeń otrzymano 1096 wyników badań w ściekach surowych i oczyszczonych.

Oczyszczalnia ścieków w Rzeszowie posiada pozwolenie wodnoprawne [2], którego wymagania prawne są rozbieżne względem Rozporządzenia Ministra Środowiska (RMŚ) z dnia 24 lipca 2006 r. [11] dla obiektów o wielkości RLM \geq 100 000. W pozwoleniu wodnoprawnym określonym dla oczyszczalni ścieków w Rzeszowie nie uwzględniono dopuszczalnego poziomu dla wskaźnika zanieczyszczeń ChZT_{Cr}, ponieważ określono dopuszczalny poziom OWO (tab. 1.).

Tabela 1. Najwyższe dopuszczalne wartości zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych

Table 1. Permissible concentration of pollutants in the treated wastewater

Wskaźnik zanieczyszczeń	Według pozwolenia wodnoprawnego [2]	Według RMŚ [11]
BZT ₅ [mg O ₂ ·dm ⁻³]	15,0	15,0
ChZT _{Cr} [mg O ₂ ·dm ⁻³]	-	125,0
OWO [mg C·dm ⁻³]	40,0	-
Zawiesina ogólna [mg·dm ⁻³]	50,0	35,0
Azot ogólny [mg N·dm ⁻³]	20,0	10,0
Fosfor ogólny [mg P·dm ⁻³]	1,5	1,0

Wyniki badań jakości ścieków surowych i oczyszczonych zostały poddane analizie statystycznej, która pozwoliła na scharakteryzowanie wielkości i zmian stężeń wskaźników zanieczyszczeń. Obliczono podstawowe statystyki opisowe: średnią, minimum, maksimum, medianę, współczynnik zmienności, odchylenie standardowe i rozstęp.

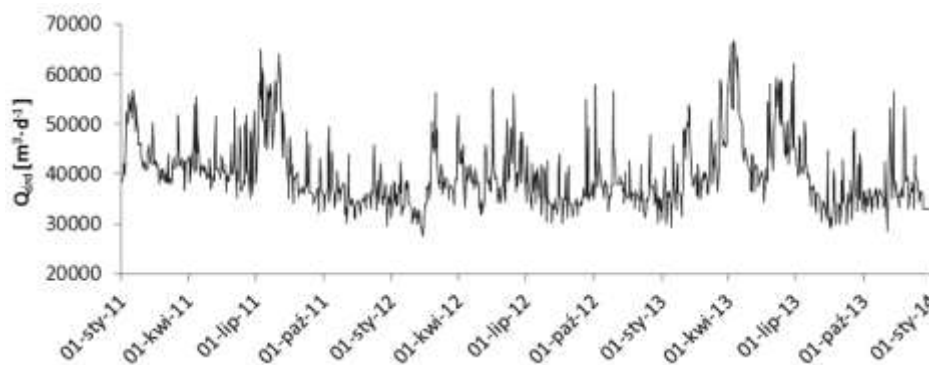
Analizę efektywności oczyszczania ścieków wykonano na podstawie analizy porównawczej ścieków surowych i oczyszczonych, określając procentową redukcję zanieczyszczeń. Dla wiarygodniejszej oceny efektywności oczyszczania

nia ścieków określono niezawodność oczyszczalni pod kątem usuwania wybranych zanieczyszczeń. Do obliczeń niezawodności wykorzystano współczynnik niezawodności WN oraz wskaźnik technologicznej sprawności P_{sw} [9, 12].

4. Analiza wyników funkcjonowania oczyszczalni i dyskusja

4.1. Obciążenie hydrauliczne obiektu

W rozpatrywanym trzyleciu pracy oczyszczalni obciążenie hydrauliczne kształtowało się na poziomie średnio $39\,961\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, stanowiąc 63,9% poziomu zaprojektowanej średniodobowej przepustowości. Nie zaobserwowano periodyczności dopływu ścieków do oczyszczalni (rys. 2.). Największą rozpiętość przepływów średniodobowych zaobserwowano w 2013 r., z kolei najmniejszą w 2011 (tab. 2.). Ilość ścieków dopływających do oczyszczalni była ściśle powiązana z opadami atmosferycznymi, które zwiększały dopływ ścieków. Ilość dopływających ścieków do oczyszczalni w 2011 r. była bardzo zróżnicowana. W 2011 roku najniższy dopływ ścieków wyniósł $29\,631\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ (grudzień), natomiast najwyższy $64\,879\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ (lipiec). Średnia ilość ścieków dopływających do oczyszczalni w 2011 r. wynosiła $41\,559\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, co stanowi 66,5% zaprojektowanej przepustowości średniej dobowej. Najniższy średni miesięczny dopływ ścieków odnotowano w miesiącu listopadzie, a największy w lipcu, co było spowodowane obfitymi opadami deszczu w tym miesiącu. W 2012 roku ilość ścieków dopływających do oczyszczalni wahała się w granicach od $27\,610\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ (luty) do $57\,868\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ (październik). Średni przepływ dla rozpatrywanego okresu wynosił $37\,701\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, będący 60,3% zaprojektowanego obciążenia. Najwyższe średnie miesięczne przepływy odnotowano w czerwcu w okresie deszczowej pogody, a najniższe w sierpniu. Funkcjonowanie oczyszczalni ścieków w 2013 r. przebiegało w podobnie zmiennych warunkach hydraulicznych. Przepływ ścieków oscylował w przedziale od $28\,624\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ (listopad) do $66\,773\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ (kwiecień). Średni dobowy przepływ w rozpatrywanym roku kształtował się na poziomie $40\,629\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, co odpowiadało 65% założonego obciążenia. Najwyższy średni miesięczny przepływ odnotowano w kwietniu, najniższy zaś w sierpniu. Wskaźnik roczny przyrostu ścieków w 2012 r. był o 9% niższy niż w roku



Rys. 2. Średnie dobowe ilości ścieków dopływających do oczyszczalni w latach 2011-2013

Fig. 2. The average daily volume of wastewater flowing into the treatment plant in 2011-2013

Tabela 2. Charakterystyka ilościowa ścieków dopływających do oczyszczalni ścieków

Table 2. Quantitative characteristics of the influent wastewater treatment plants

Q_{srd} [$m^3 \cdot d^{-1}$]	2011	2012	2013	2011-2013
Wartość średnia	41 559	37 701	40 629	39 961
Wartość minimalna	29 631	27 610	28 624	27 610
Wartość maksymalna	64 879	57 868	66 773	66 773
Sumaryczna ilość ścieków [$m^3 \cdot a^{-1}$]	15 169 048	13 798 676	14 829 551	43 757 275

wcześniejszym. Z kolei w 2013 r. do oczyszczalni dopłynęło o 7% więcej ścieków niż w 2012. Na podstawie monitoringu przepływów stwierdzono, że w rozpatrywanym okresie najczęściej występowały przepływy w zakresie $34\,000 \div 38\,000 m^3 \cdot d^{-1}$ (33% obserwacji). Wyniki powyżej $62\,000 m^3 \cdot d^{-1}$ i poniżej $30\,000 m^3 \cdot d^{-1}$ występowały sporadycznie. Podobne zróżnicowanie dopływu ścieków do oczyszczalni zaobserwowano w Jaśle, Warszawie, Tarnowie i Sandomierzu [1, 3, 4, 13].

4.2. Jakość ścieków surowych, obciążenie substratowe obiektu

Do miejskiej oczyszczalni ścieków w Rzeszowie dopływają ścieki bytowe, przemysłowe oraz deszczowe z kanalizacji ogólnospławnej. Jakość ścieków surowych oraz obciążenie ładunkiem zanieczyszczeń determinuje biologiczne oczyszczanie ścieków, przede wszystkim związków biogenych. Analiza danych w rozpatrywanym okresie wykazała zróżnicowane wartości wybranych wskaźników zanieczyszczeń w dopływających ściekach (tab. 3).

Ścieki dopływające do rzeszowskiej oczyszczalni w analizowanym okresie charakteryzowały się nierównomiernym składem jakościowym. Ze względu na rozległą sieć kanalizacyjną i dopływ ścieków z różnych źródeł (ścieki bytowe, przemysłowe i opadowe) nie odnotowano sezonowego zróżnicowania jakości

ścieków surowych. Najniższe średnie wartości zanieczyszczeń w ściekach surowych odnotowano w przypadku wszystkich pięciu wskaźników w 2011 r.

Dynamika zmian jakościowo-ilościowych ścieków surowych przekładała się na zróżnicowane obciążenie substratowe obiektu. Rozrzut dobowych ładunków zawiesiny ogólnej oscylował na poziomie $3672,6 \div 61423,2 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$. Z kolei średnie dobowe obciążenie oczyszczalni ładunkiem zanieczyszczeń organicznych wyrażonych wskaźnikami BZT_5 i ChZT_{Cr} wyniosło odpowiednio $4090,5 \div 39079,4 \text{ kg O}_2 \cdot \text{d}^{-1}$ oraz $5333,6 \div 94676,8 \text{ kg O}_2 \cdot \text{d}^{-1}$. Dobowy ładunek związków biogenych obejmował zakres $585,9 \div 4995,5 \text{ kg N} \cdot \text{d}^{-1}$ oraz $133,2 \div 1059,7 \text{ kg P} \cdot \text{d}^{-1}$. Średnie dobowe ładunki zanieczyszczeń dopływające do oczyszczalni w Rzeszowie w danym roku zostały przedstawione w tab. 4. Obliczeniowe obciążenie rzeszowskiej oczyszczalni wynosi 400 000 RLM. W rozpatrywanym trzyleciu średnie obciążenie wyniosło 233 078 RLM. Z kolei w poszczególnych latach równoważna liczba mieszkańców kształtowała się na poziomie: 2011 r. – 237 520 RLM, 2012 r. – 225641 RLM, 2013 r. – 235 538 RLM.

Tabela 3. Zestawienie statystyk opisowych wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych dla oczyszczalni w Rzeszowie w latach 2011-2013

Table 3. Values of descriptive statistics parameters in raw wastewater at WWTP in Rzeszów in years 2011-2013

Wskaźnik zanieczyszczeń		Średnia	Mediana	Min.	Maks.	Wsp. zmien.	Odch. stand.	Rozstęp
BZT_5 [$\text{mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$]	2011	342,9	330,0	71,0	920,0	0,35	118,8	849,0
	2012	359,1	357,5	142,0	970,0	0,20	72,7	828,0
	2013	347,8	351,0	38,1	788,0	0,25	85,9	759,9
ChZT_{Cr} [$\text{mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$]	2011	845,6	840,0	180,0	2500,0	0,31	262,2	2320,0
	2012	934,0	940,0	61,0	2350,0	0,20	188,4	1989,0
	2013	951,4	960,0	159,0	2510,0	0,26	246,2	2351,0
Zawiesina ogólna [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$]	2011	386,3	390,0	100,0	720,0	0,25	98,3	620,0
	2012	437,0	438,0	102,0	1200,0	0,23	99,7	1098,0
	2013	442,6	440,0	80,0	1140,0	0,28	124,1	1060,0
Azot ogólny [$\text{mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$]	2011	64,2	67,0	10,0	99,0	0,21	13,7	89,0
	2012	73,2	74,0	37,2	146,0	0,16	12,0	108,8
	2013	64,6	65,0	21,3	96,0	0,21	13,6	74,7
Fosfor ogólny [$\text{mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$]	2011	10,0	10,0	2,3	19,0	0,28	2,8	16,7
	2012	11,3	11,1	3,7	20,6	0,22	2,5	16,9
	2013	12,2	12,2	3,8	27,2	0,30	3,7	23,4

Tabela 4. Dobowe ładunki zanieczyszczeń w ściekach surowych dopływający do oczyszczalni w Rzeszowie w latach 2011-2013 (wartości średnie)

Table 4. The daily pollutant loads in raw sewage flowing in the sewage treatment plant in Rzeszów in 2011-2013 (the value of average annual)

Ładunek zanieczyszczeń	Zawiesina ogólna [kg·d ⁻¹]	BZT ₅ [kg O ₂ ·d ⁻¹]	ChZT _{Cr} [kg O ₂ ·d ⁻¹]	N _{og} [kg N·d ⁻¹]	P _{og} [kg P·d ⁻¹]
2011	16053,2	14251,2	35140,7	2666,8	416,6
2012	16477,3	13538,5	35213,1	2758,3	424,8
2013	17984,0	14132,3	38653,5	2626,5	497,2
2011-2013	16863,6	13984,7	36377,9	2690,6	446,6

Analiza ładunków zanieczyszczeń wykazała, że w 2013 r. odnotowano dopływ najwyższych średnich ładunków zanieczyszczeń zawiesiny ogólnej, fosforu ogólnego i ChZT_{Cr}. Najwyższy ładunek BZT₅ i azotu ogólnego dopłynął do oczyszczalni w 2011 r. Średni dopływ ładunków w trzyleciu był niższy niż w 2013 r., z wyjątkiem azotu ogólnego. Średni ładunek azotu ogólnego w latach 2011-2013 był niższy niż odnotowany w 2012 r.

4.3. Efektywność oczyszczania ścieków

Skuteczność usuwania zanieczyszczeń wyrażoną jakością ścieków oczyszczonych oraz procentową redukcją analizowanych wskaźników zanieczyszczeń przedstawiono w tab. 5., 6. oraz na rys. 3., 4.

Tabela 5. Zestawienie statystyk opisowych wartości wskaźników zanieczyszczeń dla ścieków oczyszczonych w oczyszczalni w Rzeszowie w latach 2011-2013

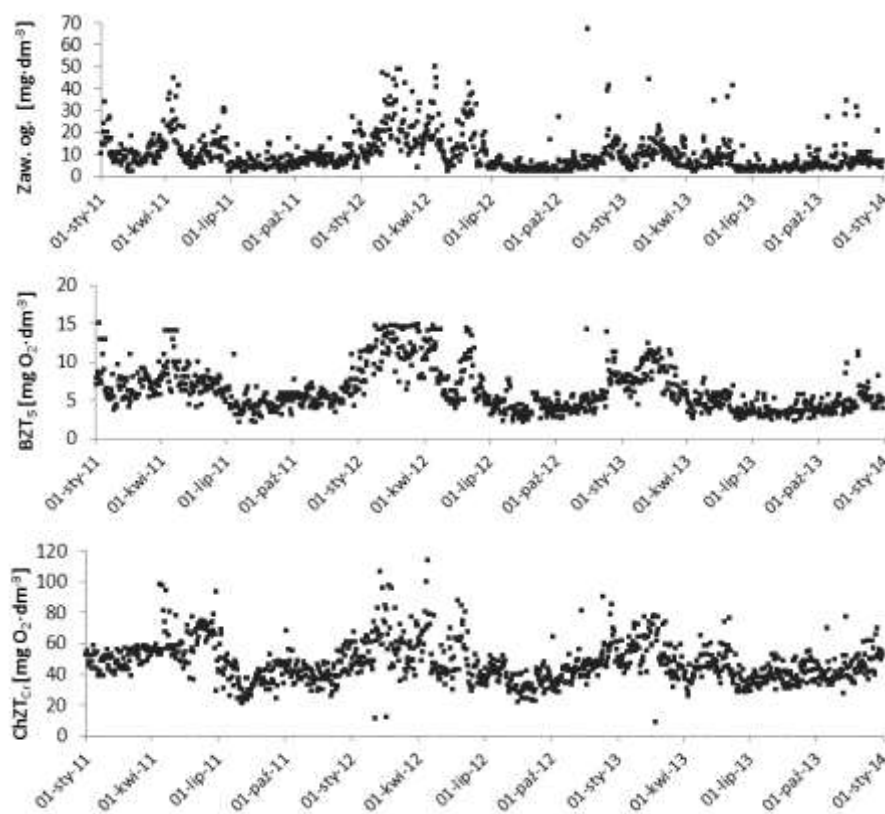
Table 5. Values of descriptive statistics values of pollutants in the effluent of the Rzeszów WWTP in 2011-2013

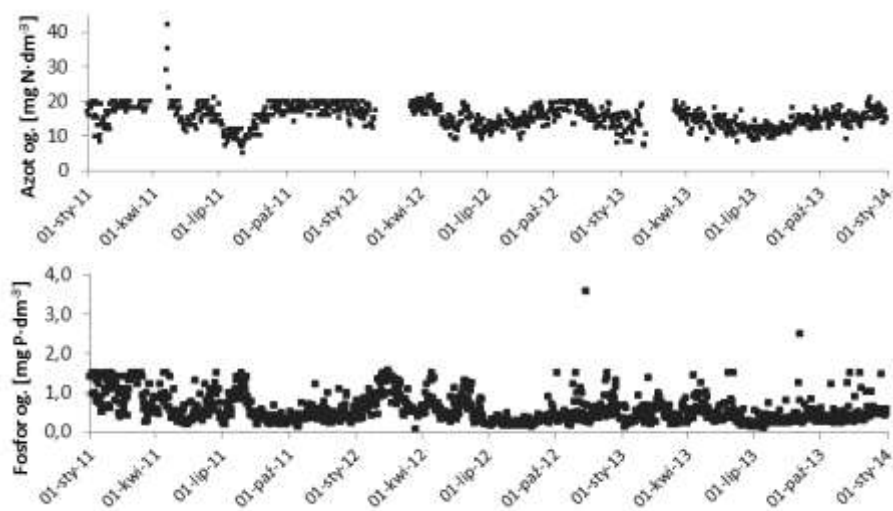
Wskaźnik zanieczyszczeń		Średnia	Mediana	Min.	Maks.	Wsp. zmien.	Odch. stand.	Rozstęp
BZT ₅ [mg O ₂ ·dm ⁻³]	2011	6,2	5,9	0,0	15,0	0,34	2,1	13,0
	2012	7,3	5,9	2,1	14,9	0,00	3,7	12,8
	2013	5,2	4,6	2,2	12,5	0,40	2,2	10,3
ChZT _{Cr} [mg O ₂ ·dm ⁻³]	2011	48,2	47,0	21,0	98,0	0,27	13,0	77,0
	2012	48,3	45,0	10,9	114,0	0,32	15,6	103,1
	2013	45,5	43,8	8,7	78,0	0,24	11,0	69,3
Zawiesina ogólna [mg·dm ⁻³]	2011	10,0	7,8	2,0	45,0	0,68	6,8	43,0
	2012	12,6	9,0	2,0	67,0	0,87	10,9	65,0
	2013	7,4	5,7	2,0	43,9	0,78	5,8	41,9
Azot ogólny [mg N·dm ⁻³]	2011	16,4	17,0	5,1	42,0	0,24	3,9	36,9
	2012	15,6	15,6	8,0	18,0	0,18	2,8	13,8
	2013	13,9	14,0	7,2	21,0	0,18	2,5	13,8
Fosfor ogólny [mg P·dm ⁻³]	2011	0,7	0,5	0,1	1,5	0,59	0,4	1,4
	2012	0,6	0,5	0,1	3,6	0,65	0,4	3,5
	2013	0,5	0,4	0,1	2,5	0,60	0,3	2,4

Tabela 6. Efektywność usuwania zanieczyszczeń ze ścieków w latach 2011-2013

Table 6. The effectiveness of removing contaminants from wastewater in 2011-2013

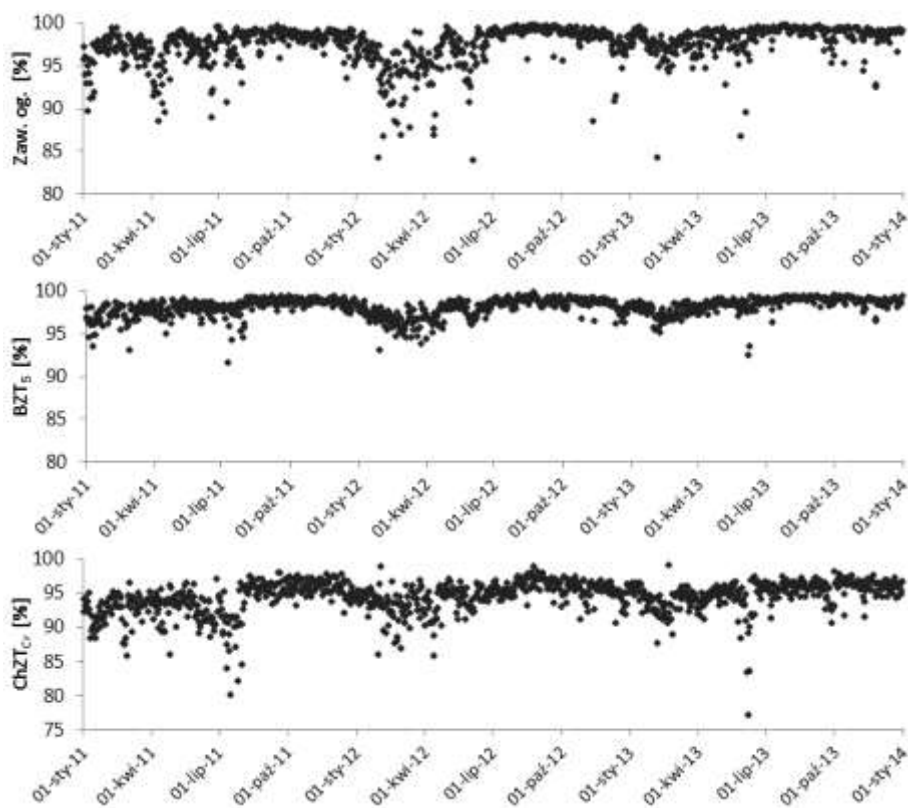
Statystyka opisowa	Zawiesina ogólna [%]	BZT ₅ [%]	ChZT _{Cr} [%]	N _{og} [%]	P _{og} [%]
Wartość średnia	97,5	98,1	94,4	76,4	94,1
Mediana	98,2	98,4	94,9	77,6	96,0
Wartość minimalna	83,8	91,5	77,1	29,4	47,8
Wartość maksymalna	99,7	99,7	99,1	89,7	99,3
Współczynnik zmienności	0,02	0,01	0,02	0,08	0,06
Odchylenie standardowe	2,21	1,05	2,34	6,48	5,23
Rozstęp	15,9	8,2	22,0	60,3	51,4
Percentyl 10%	94,9	96,7	91,4	69,4	87,9
Percentyl 90%	99,3	99,1	96,7	82,7	98,1

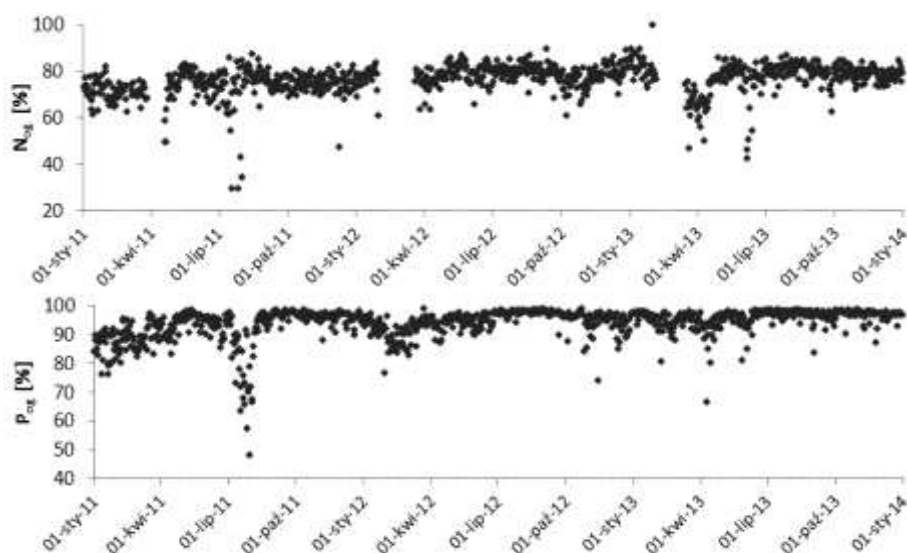




Rys. 3. Jakość ścieków oczyszczonych w latach 2011-2013

Fig. 3. Quality of wastewater from WWTP in years 2011-2013





Rys. 4. Efektywność usuwania zanieczyszczeń ze ścieków w latach 2011-2013

Fig. 4. The effectiveness of removal pollutants from wastewater in years 2011-2013

Analizując funkcjonowanie oczyszczalni w rozpatrywanym trzyleciu, można stwierdzić, że wartości wskaźnika BZT_5 w ściekach oczyszczonych najczęściej występowały w przedziale $3,0 \div 6,0 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ (55,2% wyników). Z kolei najczęściej występujące wartości $ChZT_{Cr}$ wyniosły od $40,0$ do $50,0 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ (35,2% obserwacji). Wyniki poniżej $20 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ oraz powyżej $100,0 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ odnotowywano incydentalnie. Ścieki oczyszczone charakteryzowały się dobowym ładunkiem zanieczyszczeń organicznych na poziomie $65,9 \div 822,4 \text{ kg O}_2 \cdot \text{d}^{-1}$, (BZT_5) oraz $304,3 \div 6358,1 \text{ kg O}_2 \cdot \text{d}^{-1}$ ($ChZT_{Cr}$). Stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach po procesach oczyszczania było zróżnicowane. Najczęściej odnotowywano wartości Z_{og} z przedziału $2,0 \div 8,0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (52% obserwacji). Dobowy ładunek zawiesiny ogólnej kształtował się w granicach $60,6 \div 2498,8 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$. W analizowanym okresie odnotowano temperaturę w komorze osadu czynnego poniżej 12°C , w związku z czym do analizy efektywności usuwania zanieczyszczeń azotu ze ścieków zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska [11] wyniki te nie zostały uwzględnione. Najwyższa dopuszczalna wartość określona w pozwoleniu wodnoprawnym została przekroczona 11 razy. Stężenie azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych określone w rozporządzeniu [11] zostało przekroczone w rozpatrywanym okresie 916 razy na 1096 próbek, czyli ponad 83% próbek nie odpowiadało wymaganiom stawianym dla obiektów o wielkości $RLM \geq 100000$. Najczęściej występowały stężenia azotu ogólnego w odpływie z oczyszczalni w zakresie od $12,0 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ do $18,0 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ (59,2% obserwacji). Dobowy rozkład azotu

ogólnego wynosił od 241,1 do 1720,3 kg N·d⁻¹. W odniesieniu do pozwolenia wodnoprawnego stężenie fosforu ogólnego w ściekach po oczyszczaniu było wyższe w trzech przypadkach. Podobnie przekroczenia wytycznych zaobserwowano w odniesieniu do rozporządzenia [11], wyższe wartości odnotowano 141 razy, co daje 12,9% prób niespełniających wymagań. Najczęściej stężenie P_{og} występowało w przedziale 0,2÷0,4 mg P·dm⁻³ (35,4% wyników). Rozkład ładunków fosforu ogólnego w odpływie z oczyszczalni oscylował w przedziale 2,6÷132,5 kg P·d⁻¹. Oczyszczalnia miejska w Rzeszowie w analizowanym okresie osiągnęła wysoki poziom usuwania zanieczyszczeń ze ścieków (tab. 6., rys. 4.).

Efektywność usuwania zawiesiny ogólnej w poszczególnych latach wyniosła: 88,5÷99,6% (2011 r.), 83,8÷99,7% (2012 r.) i 84,2÷99,6% (2013 r.). Skuteczność usuwania zanieczyszczeń organicznych wyrażona stopniem zmniejszenia BZT₅ osiągnęła odpowiednio poziom 91,5÷99,3% (2011 r.), 93,1÷99,7% (2012 r.) i 92,4÷99,6% (2013 r.). W odniesieniu do ChZT_{Cr} uzyskano efektywność: 80,0÷98,0% (2011 r.), 85,8÷98,8% (2012 r.) oraz 77,1÷99,1% (2013 r.). Zdecydowanie większy rozrzut sprawności obiektu odnotowano w przypadku związków biogenych. Skuteczność usuwania azotu ogólnego ze ścieków kształtowała

się na poziomie 29,4÷87,3%, 60,7÷89,4% i 42,5÷89,7% odpowiednio w 2011, 2012 i 2013 r. Z kolei stopień redukcji fosforu ogólnego oscylował w przedziałach 47,8÷98,8% (2011 r.), 74,2÷99,3% (2012 r.) oraz 66,7÷98,8% (2013 r.). Średnia efektywność oczyszczania ścieków w całym rozpatrywanym okresie wyniosła odpowiednio: BZT₅ – 98,1±1,05%, ChZT_{Cr} – 94,4±2,34%, Z_{og} – 97,5±2,21%, P_{og} – 94,1±5,23%, N_{og} – 76,4±6,48%.

Analiza wskaźnika niezawodności wykazała wysoką niezawodność pracy oczyszczalni ścieków w Rzeszowie. Wyjątek stanowił współczynnik obliczony dla azotu ogólnego, dla którego praca oczyszczalni wykazuje niższą niezawodność. Średnie wartości WN w rozpatrywanym trzyleciu wynosiły w odniesieniu do Rozporządzenia Ministra Środowiska [11]: BZT₅ – 0,41, ChZT_{Cr} – 0,38, zawiesina ogólna – 0,29, azot ogólny – 1,27, fosfor ogólny – 0,57. Natomiast w odniesieniu do pozwolenia wodnoprawnego kształtowały się na poziomie: BZT₅ – 0,41; zawiesina ogólna – 0,20, azot ogólny – 0,79, fosfor ogólny – 0,30. Niskie wartości współczynnika WN wskazują na prawidłową pracę oczyszczalni. Najwyższą wartości uzyskano dla azotu ogólnego, co świadczy o niskiej skuteczności usuwania związków azotu ogólnego ze ścieków [9, 12].

Interpretacja wyznaczonego wskaźnika technologicznej sprawności oczyszczalni ścieków wskazuje na prawidłową pracę obiektu z wyjątkiem usuwania azotu ogólnego. Średnie wartości P_{sw} określone w odniesieniu do rozporządzenia wynosiły odpowiednio: BZT₅ – 99,9%, ChZT_{Cr} – 99,9%, zawiesina ogólna – 97,6%, azot ogólny – 16,4%, fosfor ogólny – 87,1%. Z kolei wartości wskaźnika P_{sw} względem pozwolenia wodnoprawnego osiągnęły dla poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń poziom: BZT₅ – 99,9%, zawiesina ogólna – 99,8%,

azot ogólny – 98,1%, fosfor ogólny – 99,6%. Podobnie jak w przypadku WN, oczyszczalnia wykazuje niski wskaźnik dla związków azotu ogólnego.

5. Podsumowanie

W analizowanym okresie miejska oczyszczalnia ścieków w Rzeszowie zapewniała właściwą skuteczność usuwania zanieczyszczeń względem wymagań określonych w pozwoleniu wodnoprawnym. Analiza wyników otrzymanych w latach 2011-2013 wykazała średnią efektywność usuwania zanieczyszczeń ze ścieków, która dla poszczególnych wskaźników wyniosła: BZT_5 – 98,1±1,05%, $ChZT_{Cr}$ – 94,4±2,34%, Z_{og} – 97,5±2,21%, P_{og} – 94,1±5,23%, N_{og} – 76,4±6,48%. Wysoki stopień usuwania zanieczyszczeń osiągnięto dla wskaźników określających związki organiczne i fosfor ogólny. Niska skuteczność usuwania azotu ogólnego stanowiła w rozpatrywanym okresie znaczący problem dla pracy oczyszczalni.

Interpretacja efektywności oczyszczalni ścieków w odniesieniu do wymagań określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska [11] dla obiektów o wielkość $RLM \geq 100000$ ukazuje liczne przekroczenia wartości dopuszczalnych, co wskazuje na potrzebę przeprowadzenia modernizacji oczyszczalni, przede wszystkim w zakresie usuwania związków biogenych. Odnosząc wyniki uzyskanych średnich skuteczności eliminacji związków ze ścieków względem wartości prezentowanych w rozporządzeniu stwierdzono, że w przypadku BZT_5 , $ChZT_{Cr}$ i zawiesiny ogólnej liczba próbek w ciągu każdego analizowanego roku niespełniających wymagania tego rozporządzenia nie przekroczyła dopuszczalnej liczby 25. Inaczej było w przypadku azotu ogólnego i fosforu ogólnego – liczba próbek niespełniających wymagań rozporządzenia w każdym z roku objętych obserwacjami została przekroczona. Niemniej jednak przekroczenia odnotowano zazwyczaj w okresach zimowych. W związku z tym planowana modernizacja oczyszczalni skupiająca się na efektywniejszym usuwaniu związków biogenych jest jak najbardziej uzasadniona.

Modernizacja miejskiej oczyszczalni ścieków w Rzeszowie zostanie przeprowadzona w ramach projektu „Rozbudowa (modernizacja) ciągu biologicznego komunalnej oczyszczalni ścieków w Rzeszowie”, realizowanego w ramach „Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko”, oś priorytetowa I – Gospodarka wodno-ściekowa, działanie 1.1 – gospodarka wodno-ściekowa w aglomeracjach powyżej 15 tys. RLM. Wartość całkowita projektu wynosi 45 733 336,03 zł, z czego dofinansowanie z Funduszu Spójności wynosi 20 503 698,21 zł. Termin zakończenia modernizacji został ustalony na 31 grudnia 2015. W ramach przedsięwzięcia od lipca 2014 r. do grudnia 2015 r. jest planowana:

- modernizacja i rozbudowa komór biologicznych wraz z automatyzacją procesu oczyszczania ścieków,
- budowa nowej stacji dmuchaw,

- budowa węzła koagulacji odcieków z odwadniania osadów ściekowych,
- budowa nowej pompowni osadu wstępnego, modernizacja systemu sterowania i wizualizacji oczyszczalni ścieków.

Realizacja planowanej modernizacji obiektu przełoży się na znaczną poprawę standardu technicznego oczyszczalni, umożliwi uzyskanie wyższej niż obecnie efektywności oczyszczania ścieków pozwalającej na spełnienie wymagań określonych dla oczyszczalni ścieków o RLM $\geq 100\,000$ oraz przyczyni się do spełnienia przez aglomerację Rzeszów wymogów „Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych” do końca 2015 r.

Modernizacja rzeszowskiej oczyszczalni ścieków przyczyni się do zmniejszenia odprowadzanego do środowiska wodnego ładunku zanieczyszczeń związków biogenych, ograniczenia ryzyka eutrofizacji wód odbiornika i w konsekwencji do poprawy jakości środowiska wodnego. Aktualnie stan/potencjał ekologiczny oraz stan chemiczny rzeki Wisłok poniżej zrzutu ścieków

z rzeszowskiej oczyszczalni jest określany jako dobry [10]. Przewiduje się, że po usprawnieniu biologicznego oczyszczania ścieków jakość wody w odbiorniku poniżej odpływu z oczyszczalni ulegnie dalszej poprawie. Intensyfikacja biologicznego oczyszczania ścieków, w tym usuwania związków biogenych, w znacznym stopniu pozwoli dodatkowo ograniczyć wpływ ścieków oczyszczonych

na stan troficzny wód odbiornika. Przykładowo, modernizacja oczyszczalni ścieków „Sitkowska” w Kielcach przyczyniła się do zmiany stanu troficznego odbior-

nika z eutroficznego (przed modernizacją) do mezoeutroficznego (po modernizacji) [6].

Literatura

- [1] Chmielowski K., Ślizowski R.: Ocena skuteczności usuwania zanieczyszczeń w oczyszczalni ścieków w Tarnowie. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, no. 5, 2009, s. 137-146.
- [2] Decyzja Wojewody Podkarpackiego z 20.09.1999 r. w sprawie pozwolenia wodnoprawnego na odprowadzanie ścieków z oczyszczalni m. Rzeszów. Znak OŚ- III-2-6210/9/99.
- [3] Długosz J., Gawdzik J.: Ocena poprawności działania oczyszczalni ścieków w Sandomierzu. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 5, 2014, s. 195-199.
- [4] Masłoń A.: Evaluation of the effectiveness of wastewater treatment plant in Jasło under different hydraulic loading. *Archives of Waste Management and Environmental Protection*, vol. 16, issue 2, 2014, pp. 31-40.
- [5] Materiały informacyjne udostępnione przez Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o. o. w Rzeszowie.

- [6] Neverova-Dziopak E., Cierlikowska P.: Wpływ modernizacji wybranej oczyszczalni ścieków na stan troficzny wód odbiornika. *Ochrona Środowiska*, vol. 36, nr 2, 2014, s. 53-58.
- [7] Nowak A.: Instalacja dezintegracji osadu nadmiernego na Oczyszczalni Ścieków w Rzeszowie. *Forum Eksploatatora*, nr 5, 2006.
- [8] Program ochrony środowiska Miasta Rzeszowa na lata 2013-2016 z uwzględnieniem zadań zrealizowanych w 2013 roku oraz perspektywą na lata 2017-2020, 2003.
- [9] Rak J., Wieczysty A.: Funkcjonowanie system oczyszczalnia-odbiornik ścieków w świetle teorii niezawodności. IX Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”, Rajgród 1997, s. 16-24.
- [10] Raport o stanie środowiska w województwie podkarpackim w 2013 roku. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Rzeszowie. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Rzeszów 2014.
- [11] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. Nr 137, poz. 984 z późn. zm.).
- [12] Wałęga A.: Ocena funkcjonowania oczyszczalni ścieków metodami statystycznymi. *Forum Eksploatatora*, nr 5, 2009, s. 30-34.
- [13] Wróbel K., Łagód G., Sobczuk H.: Analiza zmian ładunku zanieczyszczeń dopływających do miejskich oczyszczalni ścieków na przykładzie miast Warszawy i Lublina. *Proc. of ECOpole*, vol. 2, no. 2, 2008, s. 499-504.
- [14] www.mpwik.rzeszow.pl (dostęp 28.11.2014 r.).

MULTIPARAMETER EVALUATION OF EFFECTIVENESS OF WASTEWATER TREATMENT PLANT IN RZESZÓW BEFORE MODERNIZATION

Summary

The aim of the paper is multiparameter evaluation of the effectiveness of wastewater treatment plant in Rzeszów before modernization. The Rzeszów WWTP was built between 1974-1988 and was modernized several times (1992-1998, 2001, 2003-2004, 2012-2013). The proposed average daily capacity is $Q_{srd} = 62\,500\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, $Q_{dmax} = 75\,000\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ and 400000 PE. Wastewater technology involves mechanical-biological treatment of wastewater with integrated nutrient removal based on a conventional multistage activated sludge with a pre-emptive denitrification and nitrification. The Rzeszów WWTP worked under varying conditions of hydraulic loads in the period from January 2011 to December 2013. The average flow of raw wastewater amounted to $39\,961\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$. In 2011-2013, the average efficiency of removal of pollutants from WWTP in Rzeszów was: BOD₅ – $98,1 \pm 1,05\%$, COD – $94,4 \pm 2,34\%$, TSS – $97,5 \pm 2,21\%$, TN – $76,4 \pm 6,48\%$ and TP

– 94,1±5,23%. Proper removal efficiency of pollutants in relation to the requirements of the water-legal permit was provided in the analyzed period. Interpretation of the efficiency of wastewater treatment plants in relation to the requirements specified in the RMŚ for objects of the size of PE ≥ 100000 indicates the number of limit values, which indicates the need for modernization of wastewater treatment, primarily for the nutrients removal. Modernization of the Rzeszów WWTP will help to reduce discharged into the aquatic environment of the pollution load of nutrients, reduce the risk of eutrophication of the receiver and, consequently, to improve the quality of the aquatic environment.

Keywords: wastewater, wastewater treatment plant, pollutants' indexes

Przesłano do redakcji: 07.01.2015 r.

Przyjęto do druku: 28.03.2015 r.

DOI: 10.7862/rb.2015.20