



OCENA SKUTECZNOŚCI PRACY OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W JASŁE

***Dariusz Młyński¹, Krzysztof Chmielowski¹, Anna Młyńska²,
Włodzimierz Miernik¹***

¹Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kollątaja w Krakowie, ²Politechnika Krakowska

EVAULATION OF EFFICENCY OF SEWAGE TREATMENT PLANT IN JASŁO

Streszczenie

Artykuł zawiera ocenę funkcjonowania oczyszczalni ścieków w Jasle, w wieloleciu 2010 – 2014. Na podstawie wyników badań fizyko-chemicznych ścieków surowych i oczyszczonych wyznaczono wskaźniki niezawodności pracy oczyszczalni takie jak: sprawność oczyszczania, współczynnik niezawodności technologicznej, technologiczną sprawność oczyszczania oraz ryzyko negatywnej oceny działania oczyszczalni, w odniesieniu do następujących wskaźników zanieczyszczeń: zawiesina ogólna, BZT₅, ChZT_{Cp}, azot ogólny oraz fosfor ogólny.

Na podstawie przeprowadzonych, badań stwierdzono, że średnia redukcja ładunku zanieczyszczeń kształtowała się na poziomie powyżej 90%. Tylko w przypadku azotu ogólnego średnia redukcja była niższa i wynosiła 77%. Bazując na wynikach obliczeń pozostałych wskaźników niezawodności stwierdzono, że badana oczyszczalnia ścieków działała poprawnie i oczyszczała ścieki, których skład spełniał wymogi pozwolenia wodno-prawnego.

Słowa kluczowe: ścieki, oczyszczalnia ścieków, niezawodność pracy oczyszczalni

Abstract

The article contains evaluation of functionality of sewage treatment plant in Jasło for multiplicity 2010 – 2014. On the basis of the results raw and cleaned sewage physico-chemical analysis, the efficiency of sewage treatment, coefficient of technological reliability, technological efficiency of sewage treatment and risk of the negative assessment of work of sewage treatment plant, were obtained, for following pollutions indicators: total suspended solids, BOD₅, COD_{Cr}, total nitrogen and total phosphorus.

Based on obtained results its conclude the average reduction of pollution on level below 90%. Only for total nitrogen the average reduction is lower and is on level 77%. Based on other values of indicators of reliability work of sewage treatment plant its conclude that the tested sewage treatment plant may be certified to operate in high quality and the sewage treated by this plant doesn't threaten the collector of the treated sewage.

Key words: *sewage, sewage treatment plant, the reliability of work of sewage treatment plant*

WPROWADZENIE

Główny problem związany z gospodarczym wykorzystywaniem wody przez człowieka dotyczy skutecznego unieszkodliwiania powstających w związku z tym ścieków. Zawierają one bowiem w swym składzie substancje szkodliwe, mogące wywierać negatywny wpływ, zarówno na zdrowie ludzi, jak i na środowisko przyrodnicze (Chmielowski i in. 2009). Przy określonym stężeniu, substancje te wprowadzane do wód powierzchniowych lub gruntu, mogą prowadzić do ich skażenia lub pogorszenia panujących w nich warunków biotycznych (Chmielowski 2008). Tymczasem obserwowany rozwój systemów wodociągowych oraz coraz wyższy standard wyposażenia mieszkań w urządzenia sanitarne powoduje wzrost zużycia wody, a to pociąga za sobą wzrost ilości wytwarzanych ścieków w gospodarstwach domowych (Krzyszowski i Wałęga 2006). Konieczne jest zatem poszukiwanie rozwiązań, prowadzących do skutecznej redukcji ładunku zanieczyszczeń, zawartego w ściekach, przed ich odprowadzeniem do odbiornika. Jednym z nich może być budowa zbiorczych oczyszczalni ścieków (Chmielowski i Ślizowski 2009, 2010). Bazują one na różnych rozwiązaniach technologicznych i technicznych, które są w stanie zaspokoić lokalne wymogi, co do jakości oczyszczonych ścieków (Bugajski i Mielenz 2008). Przy doborze odpowiedniej technologii należy kierować się z jednej strony jej efektywnością, z drugiej nakładami finansowymi na jej realizację (Łagożny i in. 2015). Należy też mieć na uwadze to, że niewłaściwy dobór rozwiązania technologicznego

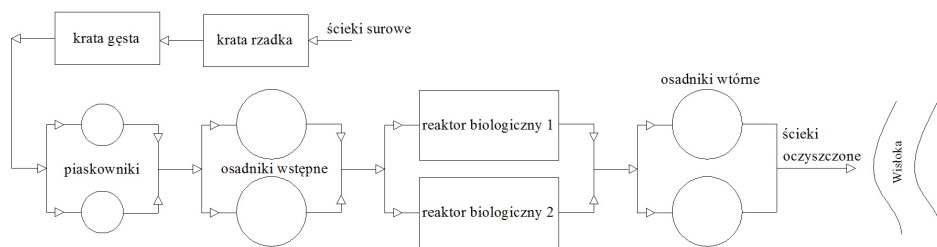
może wiązać się z problemami eksploatacyjnymi oraz ewentualnymi karami finansowymi, nakładanych za złą jakość odprowadzanych ścieków, odbiegając od wymaganej stosownymi przepisami (Bugajski 2014). Problem doboru odpowiedniej technologii oczyszczania ścieków stwarza też bogata różnorodność konstrukcyjna oczyszczalni. Wpływa ona na ograniczoną możliwość wymiany doświadczeń, pomiędzy eksploatatorami oczyszczalni danego typu. Uzyskane, na bazie wieloletnich obserwacji, parametry pracy układu technologicznego danego obiektu, nie są w stanie być przełożone na warunki pracy innej oczyszczalni. Stwarza to istotne trudności w podejmowaniu decyzji przy wyborze rozwiązania technologicznego nowych obiektów (Kaczor i Bugajski 2007).

Technologiczna różnorodność oczyszczalni ścieków, powoduje także zróżnicowanie efektów ich pracy – czyli redukcję ładunku zanieczyszczeń, do poziomu stwarzającego jak najmniejsze zagrożenie, zarówno dla człowieka, jak i całego środowiska przyrodniczego. Dlatego istnieje potrzeba prowadzenia permanentnych badań, których wyniki umożliwiłyby analizę pracy takich obiektów, co pozwoliłoby ich eksploatatorom ocenić skuteczność przyjętych rozwiązań technologicznych i konstrukcyjnych (Pawełek i in. 1998; Miernik 2007).

Mając powyższe na uwadze przyjęto, że celem niniejszej pracy jest analiza i ocena funkcjonowania dwustopniowej, mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków w Jaśle (woj. podkarpackie).

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Oczyszczalnia ścieków w Jaśle to obiekt, na którym procesy oczyszczania ścieków realizowane są w dwustopniowym systemie: mechaniczno-biologicznym. Jej projektowana przepustowość w porze suchej wynosi $20\ 000\ \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, a dla pory deszczowej – $72\ 000\ \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Jaśle przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Uproszczony schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Jaśle
[źródło: opracowanie własne]

Figure 1. Simplified scheme of technological system of sewage treatment plant in Jasło
[source: own elaboration]

Ze schematu wynika, że pierwszym etapem oczyszczania ścieków jest mechaniczna redukcja zanieczyszczeń, realizowana na kratkach (najpierw rzadkich, a później gęstych), następnie w piaskownikach oraz osadnikach wstępnych. Po osadnikach wstępnych ścieki kierowane są do dwóch reaktorów biologicznych (komór osadu czynnego), pracujących wg systemu Bardenpho. Następnie ścieki przepływają do osadników wtórnych, w których następuje separacja osadu czynnego od ścieków oczyszczonych. Oczyszczone ścieki, odpływają grawitacyjnie kolektorem do odbiornika – rzeki Wisłoki.

Zrzut ścieków oczyszczonych do odbiornika uregulowany jest pozwoleniem wodno-prawnym. Zostało ono udzielone eksploatatorowi oczyszczalni, którym jest Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej w Jaśle, przez Starostę Jasielskiego (Decyzja...2003). Zapisane w nim warunki normujące objętość oraz skład ścieków oczyszczonych, odprowadzanych do odbiornika zestawiono w tabeli 1.

Tabela. 1. Objętość i skład ścieków oczyszczonych, odprowadzanych z oczyszczalni w Jaśle do rzeki Wisłoki wg pozwolenia wodno-prawnego

Table 1. Volume and composition of clean sewage discharged from sewage treatment plant in Jasło to river Wisłoka by water-law permission

Objętość ścieków oczyszczonych [m ³ · d ⁻¹]	Wskaźnik zanieczyszczenia [mg · dm ⁻³]				
	zawiesina ogólna	BZT ₅	ChZT _{Cr}	azot ogólny	fosfor ogólny
20 000	35	15	125	2	15

Źródło: opracowania własne
Source: own elaboration

MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Podstawę do przeprowadzenia analizy i oceny pracy oczyszczalni ścieków w Jaśle stanowiły materiały źródłowe udostępnione przez Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej. Były to: dokumentacja techniczna obiektu, pozwolenie wodno-prawne oraz wyniki analiz fizyko-chemicznych ścieków surowych i oczyszczonych. Te ostatnie obejmują wielolecie 2010 – 2014, a swym zakresem obejmują wskaźniki zanieczyszczeń takie jak: zawiesina ogólna, BZT₅, ChZT_{Cr}, azot ogólny (N_{og}) i fosfor ogólny (P_{og}). W rozpatrywanym okresie czasu badania jakości prób ścieków surowych oraz oczyszczonych wykonywano dwa razy w ciągu miesiąca, a liczba prób pobranych do analizy to 141, w odniesieniu do każdego wskaźnika zanieczyszczeń. Próbkę ścieków surowych i oczysz-

czonych zostały pobrane przez eksploatatora jasielskiej oczyszczalni zgodnie z wymogami norm: PN-74/C-04620/00 – „Woda i ścieki – Pobieranie próbek – Postanowienie ogólne i zakres normy” oraz PN-EN 25667-2: 1999 – „Jakość wody – Pobieranie próbek – Wytyczne dotyczące technik pobierania próbek”. Jakość ścieków została przebadana przez eksploatatorów oczyszczalni ścieków w Jaśle, wg norm: PN-EN 1899-2:2002 – „Jakość wody – Oznaczanie biochemicznego zapotrzebowania tlenu po n dniach (BZT_n) – Część 2: Metoda do próbek nierozcieńczonych”; PN-ISO 15705:2005 – „Jakość wody – Oznaczanie indeksu chemicznego zapotrzebowania tlenu (SP-ChZT) – Metoda zminiaturyzowana z zastosowaniem szczelnych probówek”; PN-EN 872:2007 – „Jakość wody – Oznaczanie zawiesin – Metoda z zastosowaniem filtracji przez sączi z włókna szklanego; PN-EN ISO 11905-1:2001 – „Jakość wody – Oznaczanie azotu – Część 1: Metoda mineralizacji nadtlenodwusiarczanem”; PN-EN ISO 15681-2:2006 – „Jakość wody – Oznaczanie ortofosforanów i fosforu ogólnego metodą analizy przepływowej (FIA i CFA) – Część 2: Metoda ciągłej analizy przepływowej (CFA)”.

Dla każdego wskaźnika oznaczonego w ściekach surowych i oczyszczonych, obliczono podstawowe statystyki opisowe, a wśród nich: miary pozycyjne, czyli – wartości minimalne, średnie i maksymalne oraz miary rozproszenia, czyli – odchylenia standardowe (s) i współczynniki zmienności (V_s). Ponadto dla każdego wskaźnika oznaczanego w ściekach oczyszczonych wyznaczono histogramy i dystrybuanty empiryczne. Określenie liczby przedziałów (L_k) i ich szerokości (Δ) dokonano wg wzorów podanych w pracy (Miernik i Wałęga 2013):

$$L_k \approx 5 \cdot \log N \quad (1)$$

gdzie:

N – liczba danych w ciągu obserwacyjnym.

$$\Delta = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{L_k} \quad (2)$$

gdzie:

S_{\max} – maksymalna wartość wskaźnika w ciągu obserwacyjnym [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$],

S_{\min} – minimalna wartość wskaźnika w ciągu obserwacyjnym [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$].

Jako indykatory efektywności oczyszczania ścieków przyjęto następujące wskaźniki: sprawność oczyszczania (η), współczynnik niezawodności technologicznej (WN), technologiczną sprawność oczyszczania (P_{sw}) oraz ryzyko negatywnej oceny działania oczyszczalni (R_s).

Wskaźnik sprawności oczyszczania ścieków (η), wyrażany jest przez iloraz różnicy stężenia zanieczyszczeń w ściekach surowych i oczyszczonych do stężenia zanieczyszczeń w ściekach surowych. Opisany jest równaniem (Chmielowski i in. 2015):

$$\eta = \frac{S_d - S_o}{S_d} \quad (3)$$

gdzie:

S_d – stężenie zanieczyszczeń w ściekach surowych [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$],

S_o – stężenie zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$].

Jako współczynnik niezawodności technologicznej (WN) przyjmuje się iloraz średniej wartości stężenia danego wskaźnika na odpływie do dopuszczalnej wartości danego wskaźnika na odpływie. Wartość WN wyznacza się wg wzoru (Miernik i Wałęga 2006):

$$WN = \frac{x_{sr}}{x_{dop}} \quad (4)$$

gdzie:

x_{sr} – średnia wartość danego wskaźnika zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$],

x_{dop} – dopuszczalna wartość danego wskaźnika zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$].

Wskaźnik technologicznej sprawności oczyszczania (P_{sw}) oblicza się jako stosunek liczby wyników badań na odpływie zgodnych z wartościami dopuszczalnymi z pozwolenia wodno-prawnego i liczby wszystkich wyników badań (Rak i Wiczysty 1997):

$$P_{sw} = \frac{n_z}{N} \quad (5)$$

gdzie:

n_z – liczba wyników badań zgodnych z wartościami dopuszczalnymi z pozwolenia wodno-prawnego,

N – liczba wszystkich wyników badań.

Ryzyko negatywnej pracy oczyszczalni (R_{so}) definiuje się jako prawdopodobieństwo przekroczenia dopuszczalnej wartości stężenia zanieczyszczeń w ściekach na odpływie (Andraka i Dzienis 2013):

$$R_{so} = P(n_n > N_{dop}) \quad (6)$$

gdzie:

n_n – liczba próbek ścieków na odpływie, o stężeniach przekraczających wartości z pozwolenia wodno-prawnego,

N_{dop} – dopuszczalna liczba próbek, które mogą nie spełniać wymagań, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska (2014)

WYNIKI BADAŃ

Wyznaczone wartości poszczególnych parametrów statystycznych, określonych dla wyników analiz fizyko-chemicznych ścieków surowych i oczyszczonych, w oczyszczalni w Jaśle, miały na celu scharakteryzować dynamikę zmian kształtowania się ich składu. Wartości poszczególnych statystyk opisowych, dla rozpatrywanych wskaźników zanieczyszczeń zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Podstawowe statystyki opisowe wskaźników zanieczyszczeń, oznaczanych dla ścieków surowych oraz oczyszczonych na oczyszczalni ścieków w Jaśle

Table 2. Values of the descriptive statistics for Pollution indicators in raw sewage and cleaned sewage on sewage treatment plant in Jasło

Wskaźnik [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$]	Statystyka (n = 141)				
	min	średnia	max	s	V_s
ścieki surowe					
zawiesina ogólna	47,00	168,34	702,00	80,61	0,48
BZT ₅	60,00	317,08	600,00	107,94	0,34
ChZT _{Cr}	100,00	565,05	1066,00	200,04	0,35
N _{og}	11,80	41,53	86,00	13,74	0,33
P _{og}	1,40	5,02	11,00	2,00	0,40
ścieki oczyszczone					
zawiesina ogólna	1,40	4,65	18,60	2,84	0,61
BZT ₅	0,73	3,61	16,00	2,00	0,56
ChZT _{Cr}	11,70	35,57	68,00	10,35	0,29
N _{og}	2,41	9,01	24,20	4,00	0,44
P _{og}	0,06	0,30	2,82	0,42	1,37

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration

Analizując skład ścieków surowych, dopływających do oczyszczalni ścieków w Jaśle, stwierdzono, że wartości oznaczanych wskaźników zanieczyszczeń, odbiegały od typowego składu ścieków bytowych, podawanego przez Błaziejewskiego (2003), natomiast podobne zakresy wartości stwierdził Kaczor (2009) w ściekach bytowych wytwarzanych na terenie Polski południowej. Stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach surowych, dopływających do oczyszczalni w Jaśle w latach 2010 – 2014, wahało się od 47,0 do 702,0 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, przyjmując średnią wartość na poziomie około 170 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Oznaczane w tym samym czasie wartości jednego z tlenowych wskaźników zanieczyszczeń, jakim jest BZT₅,

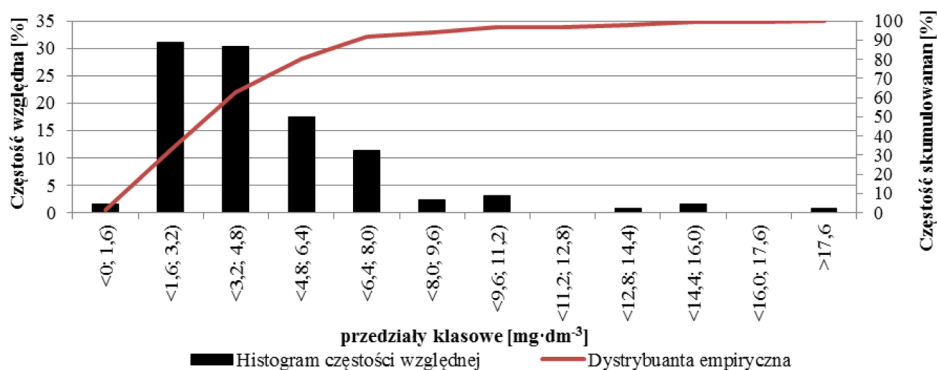
zmieniały się w przedziale od 60,0 do 600,0 $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, a jego średnia wartość wynosiła 317,0 $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Wartości kolejnego wskaźnika zanieczyszczeń z grupy tlenowej, czyli ChZT_{Cr} mieściły się w granicach od 100,0 do 1066,0 $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, a jego wartość średnia wynosiła 565 $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Zawartość związków biogenych, w ściekach surowych poddawanych procesowi oczyszczania na oczyszczalni w Jaśle charakteryzują oznaczone w nich stężenia azotu ogólnego i fosforu ogólnego. Stężenia pierwszego z tych wskaźników wahały się od 11,8 do 86,0 $\text{mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$, a drugiego od 1,4 do 11,0 $\text{mgP}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. Stężenia średnie wynosiły odpowiednio: 41,5 $\text{mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ i 5,0 $\text{mgP}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Wg klasyfikacji Muchy (1999) stwierdzono, że zmienność składu ścieków surowych, dopływających do oczyszczalni w Jaśle w latach 2010 – 2015 charakteryzowała się poziomem przeciętnym. Świadczą o tym obliczone wartości współczynników zmienności (V_s) wahające się od 0,33 (azot ogólny) do 0,48 (zawiesina ogólna).

Bazując z kolei na wynikach analiz fizyko-chemicznych próbek ścieków oczyszczonych stwierdzono, że stężenie zawiesiny ogólnej wahało się w nich, w przedziale od 1,4 do 18,6 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, przyjmując wartość średnią ok. 4,7 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. W przypadku BZT_5 jego wartość w ściekach na odpływie, dla rozpatrywanego wielolecia zawierała się w przedziale pomiędzy ok. 0,7 a 16,0 $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, a średnio wynosiła 3,6 $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Wartość ChZT_{Cr} w ściekach oczyszczonych w wieloleciu 2010 – 2014 w oczyszczalni w Jaśle, wahała się natomiast w przedziale od 11,7 do 68,0 $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, przyjmując wartość średnią na poziomie 35,6 $\text{mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Zawartość związków biogenych na odpływie z oczyszczalni, w przypadku azotu ogólnego wahała się od 2,4 do 24,2 $\text{mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$, a jego stężenie średnie wynosiło 9,0 $\text{mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. Stężenia fosforu ogólnego zawierały się natomiast w przedziale od 0,06 do 2,82 $\text{mgP}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$, a jego stężenie średnie wynosiło 0,30 $\text{mgP}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$.

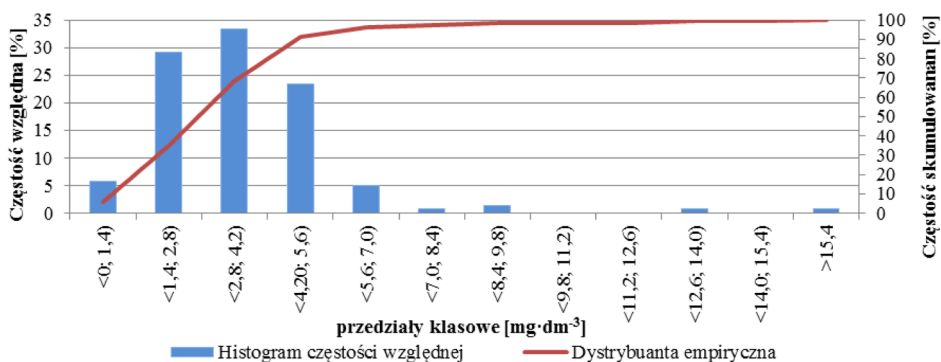
Oceniając stabilność składu ścieków oczyszczonych, odpływających do odbiornika w wieloleciu 2010 – 2014 z badanego obiektu stwierdzono, że charakteryzował się on generalnie wysoką zmiennością. Świadczą o tym obliczone wartości współczynników zmienności (V_s), które zmieniały się w zakresie od 0,29 (ChZT_{Cr}) do nawet 1,37 (P_{og}).

Uzupełnienie analizy jakości ścieków oczyszczonych w oczyszczalni w Jaśle, w rozpatrywanym wieloleciu stanowią też opracowane histogramy częstości oraz dystrybuant empirycznych oznaczanych w nich wskaźników zanieczyszczeń. Liczbę przedziałów klasowych oraz ich rozpiętości wyznaczono odpowiednio za pomocą równań 1 i 2. Częstości wystąpienia poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych, wraz z ich dystrybuantami empirycznymi przedstawiono na rysunkach 2 – 6.



Rysunek 2. Histogram częstości względnej wraz z dystrybuantą empiryczną zawiesiny ogólnej ścieków oczyszczonych w oczyszczalni w Jaśle w latach 2010 – 2014 [źródło: opracowanie własne]

Figure 2. Histogram and empirical distribution of total suspended solids in the cleaned sewage on the sewage treatment plant in years 2010 – 2014 [source: own elaboration]

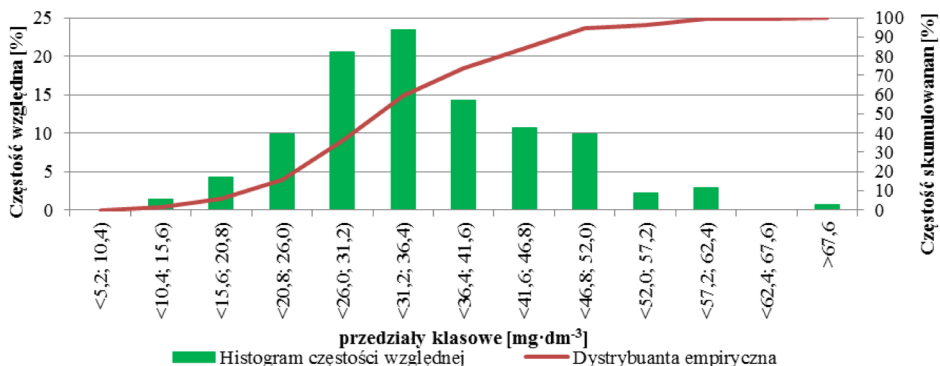


Rysunek 3. Histogram częstości względnej wraz z dystrybuantą empiryczną BZT₅ ścieków oczyszczonych w oczyszczalni w Jaśle w latach 2010 – 2014 [źródło: opracowanie własne]

Figure 3. Histogram and empirical distribution of BOD₅ in the cleaned sewage on the sewage treatment plant in years 2010 – 2014 [source: own elaboration]

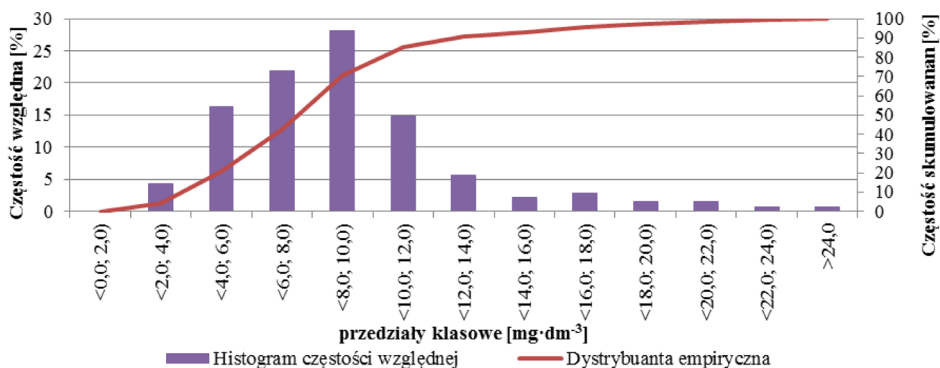
Na podstawie analizy rysunku 2 stwierdzono, że stężenia zawiesiny ogólnej ściekach oczyszczonych najczęściej mieściły się w przedziale klasowym od 1,6 do 3,2 mg·dm⁻³, w którym odnotowano 41 wyników oznaczeń, co stanowiło nieco ponad 30% udziału wszystkich obserwacji. Ponadto

w analizowanym okresie badań nie stwierdzono przekroczenia stężenia granicznego dla tego wskaźnika, regulowanego pozwoleniem wodno-prawnym.



Rysunek 4. Histogram częstości względnej wraz z dystrybuantą empiryczną ChZT_{Cr} ścieków oczyszczonych w oczyszczalni w Jasle w latach 2010 – 2014 [źródło: opracowanie własne]

Figure 4. Histogram and empirical distribution of COD_{Cr} in the cleaned sewage on the sewage treatment plant in years 2010 – 2014 [source: own elaboration]

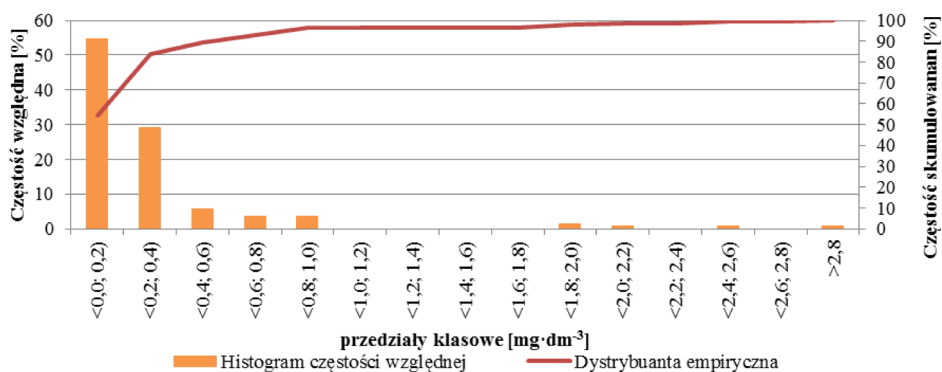


Rysunek 5. Histogram częstości względnej wraz z dystrybuantą empiryczną azotu ogólnego ścieków oczyszczonych w oczyszczalni w Jasle w latach 2010 – 2014 [źródło: opracowanie własne]

Figure 5. Histogram and empirical distribution of total nitrogen in the cleaned sewage on the sewage treatment plant in years 2010 – 2014 [source: own elaboration]

Analizując rysunek 3 można zauważyć, że najczęściej pojawiającymi się wartościami BZT₅ w ściekach na odpływie, były wartości z przedziału od 2,8 do 4,2 mgO₂·dm⁻³. Zaobserwowano w nim 47 wyników oznaczeń, co stanowiło

niecałe 35% udziału wszystkich obserwacji. Natomiast empiryczne prawdopodobieństwo przekroczenia dopuszczalnej wartości BZT_5 w ściekach na odpływie wynosiło 1%.



Rysunek 6. Histogram częstości względnej wraz z dystrybuantą empiryczną fosforu ogólnego ścieków oczyszczonych na oczyszczalni w Jaśle w latach 2010 – 2014 [źródło: opracowanie własne]

Figure 6. Histogram and empirical distribution of total phosphorus in the cleaned sewage on the sewage treatment plant in years 2010 – 2014 [source: own elaboration]

W przypadku $ChZT_{Cr}$ (rysunek 4) stwierdzono, że wartości tego wskaźnika, w ściekach oczyszczonych, najczęściej mieściły się w przedziale klasowym od 31,2 do 36,4 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$, w którym odnotowano 33 wyniki oznaczeń. Stanowiły one około 23% udziału wszystkich obserwacji. Należy podkreślić, że dla analizowanego wielolecia nie odnotowano przekroczenia dopuszczalnego stężenia tego wskaźnika, określonego w pozwoleniu wodno-prawnym.

Dla azotu ogólnego (rysunek 5) zauważono, że jego stężenia w ściekach oczyszczonych najczęściej mieściły się w przedziale klasowym od 8,0 do 10,0 $mgN_{og} \cdot dm^{-3}$ – 40 wyników oznaczeń. Stanowiło to ok. 23% udziału wszystkich obserwacji. Natomiast prawdopodobieństwo empiryczne przekroczenia dopuszczalnego stężenia azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych wyniosło 8%.

Analizując rysunek 6 stwierdzono, że stężenie fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych najczęściej przyjmowało wartości w przedziale od 0,0 do 0,2 $mgP_{og} \cdot dm^{-3}$, w którym odnotowano 77 oznaczeń (prawie 55% udziału wszystkich obserwacji). Empiryczne prawdopodobieństwo przekroczenia dopuszczalnego stężenia fosforu ogólnego na odpływie wyniosło około 2%.

W celu przeprowadzenia pogłębionej analizy i oceny funkcjonowania oczyszczalni ścieków w Jaśle wyznaczono wskaźniki niezawodności jej pracy takie jak: sprawność oczyszczania (η), współczynnik niezawodności technologicznej (WN), technologiczną sprawność oczyszczania (P_{sw}) oraz ryzyko

negatywnej oceny działania oczyszczalni (R_{so}). Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wskaźniki niezawodności pracy oczyszczalni w Jasle w latach 2010 – 2014

Table 3. Reliability indicators for sewage treatment plant in Jasło for years 2010 – 2014

Wskaźnik zanieczyszczeń	Wskaźnik niezawodności			
	η	WN	P_{sw}	R_{so}
Zawiesina ogólna	0,97	0,13	1,00	0,00
BZT ₅	0,99	0,24	0,99	0,08
ChZT _{Cr}	0,93	0,28	1,00	0,00
N _{og}	0,77	0,60	0,92	0,92
P _{og}	0,93	0,15	0,98	0,25

Źródło: opracowanie własne
Source: own elaboration

Analizując wyniki zestawione w tabeli 3 stwierdzono wysoką redukcję badanych wskaźników zanieczyszczeń. Dla wszystkich oznaczanych wskaźników (z wyjątkiem azotu ogólnego) jej wartości przekraczały zdecydowanie poziom 90%, natomiast dla azotu ogólnego wyniosła ona 77%. Również pozostałe wskaźniki niezawodności – WN , P_{sw} oraz R_{so} świadczą o poprawnej i niezawodnej pracy oczyszczalni ścieków w Jasle, aczkolwiek i w ich świetle wyjątek stanowi azot ogólny. Szczególnie niekorzystnie dla tego biogenu przedstawia się bowiem obliczona wartość wskaźnika R_{so} . Wskazywała ona, że ilość próbek nie spełniających wymogów pozwolenia wodno-prawnego, była zbliżona do dopuszczalnej, które mogą nie spełniać tych wymagań, zgodnie z obowiązującymi przepisami (Rozporządzenie...2014). Istniało zatem bardzo wysokie ryzyko negatywnej oceny działania oczyszczalni, ze względu na stężenie azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych. Eksploatatorzy oczyszczalni ścieków w Jasle zauważyli, że stężenia azotu ogólnego (wyższe niż dopuszczalne w pozwoleniu wodno-prawnym) w odpływie z oczyszczalni, stwierdzono w sytuacjach, gdy procesy nityfikacyjne prowadzono przy temperaturze ścieków poniżej 12 °C. Jak podają Bugajski i Kaczor (2008), Bugajski (2008) oraz Bugajski i in. (2015) temperatura ścieków wywiera istotny wpływ na procesy usuwania związków azotu w tych oczyszczalniach, których technologia oparta jest na osadzie czynnym. Przywołani autorzy wskazują też temperaturę 12°C, jako temperaturę graniczną poniżej której proces nityfikacji ulega znacznemu wyhamowaniu. Zatem tłumaczy to mniej korzystne wartości obliczonych wskaźników niezawodności

funkcjonowania badanej oczyszczalni dla azotu ogólnego, na tle innych wskaźników zanieczyszczeń.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań, związanych z analizą i oceną funkcjonowania oczyszczalni ścieków w Jaśle, w wieloleciu 2010 – 2014, sformułowano następujące wnioski końcowe:

Skład ścieków surowych, dopływających do oczyszczalni w Jaśle różnił się od typowego składu ścieków bytowych, opisanego w niektórych dostępnych źródłach literatury. Należy jednak podkreślić, że nie odbiegał on znacznie od uzyskanych wyników badań, prowadzonych w ostatnich latach przez pracowników Katedry Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej UR w Krakowie, dotyczących wielkości ładunku zanieczyszczeń w ściekach bytowych odprowadzanych z jednostek osadniczych położonych w południowej Polsce.

Średnie wartości stężeń wskaźników zanieczyszczeń, w odpływie z badanej oczyszczalni, nie przekraczały wartości granicznych, ustalonych w pozwoleniu wodno-prawnym. Miało to niewątpliwie wpływ na ich redukcję. Dla zdecydowanej większości oznaczanych w ściekach wskaźników zanieczyszczeń przekraczała ona wyraźnie poziom 90%, tylko w przypadku azotu ogólnego, była niższa i wynosiła 77%.

Bazując na wynikach obliczeń pozostałych wskaźników niezawodności, stwierdzono brak lub sporadyczne występowanie próbek, w których stężenia zanieczyszczeń przekraczałyby wartości graniczne, wyznaczone w pozwoleniu wodno-prawnym. Tylko w przypadku azotu ogólnego stwierdzono większą ilość takich próbek. Jednakże wskaźnik ryzyka negatywnej oceny działania oczyszczalni (R_{so}) wskazuje, że ich liczba nie przekroczyła granicy dopuszczalnej stosownymi przepisami (Rozporządzenie...2014).

Na podstawie przeprowadzonych analiz, należy bardzo wysoko ocenić funkcjonowanie oczyszczalni ścieków w Jaśle, w latach 2010 – 2014. Przyczynia się to do skutecznej ochrony jakości wód odbiornika ścieków oczyszczonych – rzeki Wisłoki. Należy jednak prowadzić dalsze badania i obserwacje, głównie w celu poprawy parametrów procesu nityfikacji, co powinno przyczynić się do podniesienia efektów eliminacji azotu ogólnego ze ścieków.

LITERATURA

Andraka D., Dzienis L. (2013). *Modelowanie ryzyka w eksploatacji oczyszczalni ścieków*. Rocznik Ochrona Środowiska, nr 15, 1111-1125.

Błażejowski R. (2003). *Kanalizacja wsi*. PZITS Oddział Wielkopolski, Poznań.

Bugajski P. (2011). *Wpływ temperatury ścieków na wielkość wybranych wskaźników zanieczyszczeń z oczyszczalni działającej w układzie sekwencyjnym SBR*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 2, 7-15.

Bugajski P. (2014). *Analiza niezawodności funkcjonowania oczyszczalni Bioblok PS-50 z zastosowaniem metody Weibulla*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 2, 667-677.

Bugajski P., Chmielowski K., Wąsik E. (2015). *Wpływ opadów atmosferycznych na temperaturę oraz objętość ścieków w małym systemie kanalizacyjnym*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 4, 1057-1066.

Bugajski P., Kaczor G. (2008). *Ocena działania wybranych przydomowych oczyszczalni w warunkach zimowych i letnich*. Przemysł Chemiczny, nr 5, 424-426.

Bugajski P., Mielenz B. (2008). *Ocena pracy oczyszczalni ścieków w Wadowicach przed modernizacją*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 2, 129-138.

Chmielowski K. (2008). *Eliminacja zanieczyszczeń ze ścieków komunalnych w oczyszczalni w Dąbrowie Tarnowskiej*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 5, 149-158.

Chmielowski K., Bugajski P., Wąsik E. (2015). *Ocena działania oczyszczalni ścieków w Haczowie przed i po modernizacji*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 4, 949-964.

Chmielowski K., Satora S., Wałęga A. (2009). *Ocena niezawodności działania oczyszczalni ścieków dla gminy Tuchów*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 9, 67-72.

Chmielowski K., Ślizowski R. (2009). *Ocena skuteczności usuwania zanieczyszczeń w oczyszczalni ścieków w Tarnowie*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 5, 137-146.

Chmielowski K., Ślizowski R. (2010). *Ocena skuteczności oczyszczania ścieków w oczyszczalni ścieków w Nowym Sączu – Wielopolu*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 2, 155-167.

Decyzja Starosty Jasielskiego z 15 kwietnia 2003 r. w sprawie pozwolenia wodnoprawnego dla oczyszczalni ścieków w Jaśle. OŚ.II.6223/7/03.

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

Kaczor G., Bugajski P. (2007). *Ocena pracy oczyszczalni ścieków typu Ecolo-Chief w Spytkowicach*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 1, 187-195.

Krzanowski S., Wałęga A. (2006). *Wykorzystanie teorii niezawodności i statystycznej kontroli jakości ścieków do oceny eksploatacyjnej wiejskich oczyszczalni ścieków*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 3, 17-37.

Łagoźny P., Maj K., Masłoń A. (2015). *Technological efficiency of the wastewater treatment plant in Krosno*. Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, nr 2, 113-122.

Miernik W. (2007). *Skuteczność oczyszczania ścieków wiejskich w oczyszczalni z reaktorem o działaniu sekwencyjnym*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 2, 71-80.

Miernik W., Wałęga A. (2006). *Wpływ czasu eksploatacji na efekty oczyszczania ścieków w oczyszczalni typu Lemna*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 3, 39-51.

Miernik W., Wałęga A. (2013). *Usuwanie ze ścieków związków organicznych i biogenych w oczyszczalni z reaktorem biologicznym funkcjonującym w układzie A2/O*. [w:] J. Rak (ed.): *Wybrane aspekty ochrony i kształtowania środowiska w Polsce, we wschodniej Słowacji i zachodniej Ukrainie*, wyd. Muzeum Regionalnego im. Adama Fastnachta w Brzozowie, 107-126.

Mucha J. (1999). *Metody geostatystyczne w dokumentowaniu złóż*. Skrypt, wyd. AGH Kraków.

Pawełek J., Kaczor G., Zygmunt E. (1998). *Wybrane zagadnienia oczyszczania ścieków na terenach wiejskich województwa krakowskiego*. Mat. V Konf. Nauk. „Infrastruktura techniczna wsi ku integracji europejskiej”, Szczucin, 19-21 październik, 201-212.

Rak J., Wiczysty A. (1997). *Funkcjonowanie systemu oczyszczalni ścieków odbiornik w świetle teorii niezawodności*. IX Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna z cyklu „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”, Rajgród, czerwiec, 16-24.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. Dz. U. 2014 poz. 1800.

Mgr inż. Dariusz Młyński
Dr hab. inż. Krzysztof Chmielowski
Dr inż. Włodzimierz Miernik
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Al. Mickiewicza 24/28
(012) 662 4123; (012) 662 4187; (12) 662 4127
e-mail: dariusz.mlynski@gmail.pl;
k.chmielowski@ur.krakow.pl;
w.miernik@ur.krakow.pl
mgr inż. Anna Młyńska
Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska
Politechnika Krakowska
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
e-mail: a.mlynska13@gmail.com

Wpłynęło: 3.12.2015

Akceptowano do druku: 9.03.2016