Dariusz Młyński
Krzysztof Chmielowski
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

ANALIZA FUNKCJONOWANIA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W PRZYSIEKACH (POWIAT JASIELSKI) PRZY WYKORZYSTANIU WYBRANYCH METOD STATYSTYCZNYCH

Streszczenie

W pracy dokonano analizy funkcjonowania oczyszczalni ścieków w Przysiekach przy wykorzystaniu wybranych metod statystycznych. Oceny dokonano na podstawie wyników pomiarów fizyko-chemicznych próbek ścieków surowych i oczyszczonych, dla lat 2010–2014. Analizą objęto następujące wskaźniki zanieczyszczeń: BZT_5, $ChZT_{Cr}$, zawiesina ogólna, dla których wyznaczono statystyki opisowe, karty kontrolne oraz wskaźniki niezawodności pracy. Bazując na uzyskanych wynikach, stwierdzono, że analizowana oczyszczalnia ścieków działa w sposób prawidłowy, o czym świadczą wartości wskaźników niezawodności pracy. Analiza kart kontrolnych wskazuje na stabilność procesów redukcji badanych wskaźników zanieczyszczeń, na oczyszczalni w Przysiekach w latach 2010–2014.

Słowa kluczowe: ścieki, oczyszczalnia, niezawodność pracy, stabilność pracy

ANALYSIS OF THE FUNCTIONING WASTEWATER TREATMENT PLANT IN PRZYSIEKI (JASIELSKI COUNTY) BY SELECTED STATISTICAL METHODS

Summary

In the paper the analysis of functioning wastewater treatment plant in Przysieki was performed used a selected statistical methods. The assessment was performed based on the results of the physico-chemical measurements raw sewage and treated sewage for period 2010 and 2014. The analysis was performed for the following pollutants indicators: BOD_5, COD_{Cr} and total suspended solids, for which the descriptive statistics, control cards and reliability indicators were determined. Based on obtained results it was concluded, that wastewater treatment plant in Przysieki works correctly, what have shown values of reliability indicators. The analysis of control card have shown a stability of reduction of exanimated indicators of pollutions in sewage.

Keywords: sewage, wastewater treatment plant, reliability of work, stability of work

1. Wprowadzenie

Jednym z głównych obowiązków władz publicznych jest realizacja polityki ochrony środowiska w celu zapewnienia bezpieczeństwa ekologicznego. Obowiązek ten spoczywa przede wszystkim na gminach, które zobligowane są do wykonywania zadań z zakresu ochrony środowiska. Działania z nią związane obejmują m.in. procesy oczyszczania ścieków, powstających w wyniku bytowej oraz gospodarczej działalności człowieka. Redukcja zanieczyszczeń w ściekach powinna polegać na możliwie jak największym wyłączeniu wskaźników zanieczyszczeń, wpływających negatywnie na zdrowie oraz życie ludzkie, jak również na jakość zasobów wodnych [17].

Procesy redukcji zanieczyszczeń w ściekach, realizowane są na oczyszczalniach ścieków. O prawidłowym funkcjonowaniu takich obiektów świadczy ich niezawodność, która przedstawia zdolność oczyszczalni do unieszkodliwiania przewidywalnej ilości ścieków, w stopniu wymaganym przez ich odbiornik przy określonych warunkach istnienia oraz eksploatacji oczyszczalni, w założonym czasie eksploatacji oraz przy losowych zmianach charakterystyk funkcjonalnych oczyszczalni [5].

W celu oceny niezawodności pracy oczyszczalni ścieków niezbędne jest ciągłe kontrolowanie pracy takich obiektów. Osiągnięcie założonego poziomu redukcji zanieczyszczeń wynika głównie z prawidłowo zaprojektowanego oraz eksploatowanego ciągu technologicznego oczyszczalni. Wszelkie niesprawności pracy powodują dopływ do środowiska niedozwolonych ładunków zanieczyszczeń. Dodatkowo, niesprawności w pracy oczyszczalni mogą powodować powstawanie zagrożenia dla zdrowia ludności, korzystającej z odbiornika ścieków oczyszczonych. W sytuacji, gdy jakość ścieków oczyszczonych nie odpowiada założonym parametrom eksploatacyjnym, wówczas konieczne jest ustalenie przyczyny oraz jak najszybsze usunięcie niesprawności w celu uniknięcia zagrożenia ekologicznego [2].

Ważnym elementem kontroli oczyszczalni ścieków jest możliwość dokonywania jej w szybki i sprawny sposób przez eksploatatorów takich obiektów, jak i ich użytkowników. Powszechnie stosowanym narzędziem do oceny funkcjonowania oczyszczalni jest porównanie wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych (zazwyczaj wyrażana wartością średniej arytmetycznej) do dopuszczalnej wartości, podanej w obowiązujących aktach prawnych. Jest to podejście uproszczone, gdyż nie dostarcza informacji na temat czasu trwania przekroczenia przez dany wskaźnik wartości dopuszczalnej, stabilności procesów redukcji bądź czynników zakłócających jej przebieg [3, 16].

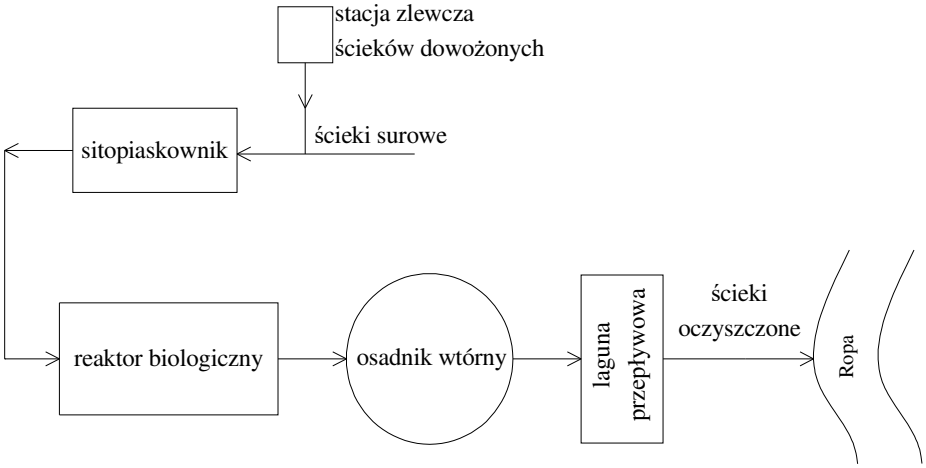
Mając powyższe na uwadze, za cel niniejszej pracy postawiono analizę funkcjonowania oczyszczalni ścieków w Przysiekach przy wykorzystaniu wybranych metod statystycznych.

2. Charakterystyka obiektu badań

Oczyszczalnia ścieków w Przysiekach (woj. Podkarpackie, powiat jasielski, gm. Skołyszyn) to obiekt typu mechaniczno-biologicznego, obsługujący 9788 równoważnej

liczby mieszkańców (RLM), o średniodobowej przepustowości na poziomie 1200 m^3. Schemat technologiczny oczyszczalni przedstawiono na rycinie 1.

Ryc. 1. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Przysiekach



Źródło: Opracowanie własne

Procesy mechanicznego oczyszczania ścieków na badanym obiekcie realizowane są na sitopiaskowniku. Biologiczne oczyszczanie odbywa się w reaktorze biologicznym, gdzie redukcja zanieczyszczeń odbywa się przy wykorzystaniu osadu czynnego. Kolejno ścieki kierowane są do osadnika wtórnego, skąd część osadu recyrkulowana jest do reaktora biologicznego, a część podawana jest do zbiornia osadu nadmiernego, gdzie prowadzona jest stabilizacja tlenowa. Po osadniku wtórnym ścieki przepływają do laguny w układzie kaskadowym, która stanowi trzeci stopień oczyszczania. Z laguny przepływowej oczyszczone ścieki kierowane są do odbiornika – rzeki Ropy [15].

3. Metodyka badań

Realizację określonego celu pracy dokonano w oparciu o materiały udostępnione przez eksploatatora obiektu badań, to jest gminnej oczyszczalni ścieków w Przysiekach. Udostępnione dane stanowiły wyniki analiz fizyko-chemicznych ścieków surowych i oczyszczonych w latach 2010–2014. Zakres oznaczeń obejmował następujące wskaźniki zanieczyszczeń: BZT_5, $ChZT_{Cr}$ oraz zawiesinę ogólną.

Oceny funkcjonowania oraz stabilności pracy oczyszczalni ścieków w Przysiekach dokonano w oparciu o statystyki opisowe oraz tzw. karty kontrolne, wyznaczone dla każdego z analizowanych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych (statystki opisowe), jak i oczyszczonych (statystyki opisowe, karty kontrolne).

Dla każdej serii obserwacyjnej analizowanych wskaźników zanieczyszczeń, w ściekach surowych oraz oczyszczonych, wyznaczono następujące statystyki opisowe: miary położenia: wartości minimalne (min), średnie ($\bar{x}$) oraz maksymalne (max); miary rozproszenia: odchylenie standardowe (s) i współczynnik zmienności

(V_s) oraz miary kształtu rozkładu zmiennych: skośność (Sko) oraz kurtuozę (Kurt). Dynamikę zmian kształtowania się badanych zmiennych losowych sklasyfikowano według podziału zaproponowanego przez Muchę [10].

Oceny stabilności pracy oczyszczalni ścieków w Przysiekach dokonano w oparciu o karty kontrolne, wyznaczone względem wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych. Warunkiem wykorzystania kart kontrolnych jest normalność rozkładu badanych zmiennych losowych. W niniejszej pracy normalność rozkładu zweryfikowano przy wykorzystaniu testu Shapiro-Wilka [14], dla poziomu istotności $\alpha = 0{,}05$. Ponieważ badane zmienne losowe podlegały innemu rozkładowi jak normalny, dokonano zabiegu ich normalizacji poprzez logarytmowanie. Mając na uwadze regułę trzech sigm dla rozkładu normalnego $N(\mu, \sigma)$, granice linii kontrolnych, pomocniczych oraz centralnej wyznaczono jako [7, 8]:

Górna linia kontrolna (UCL):

$$UCL = \mu + 3\sigma \tag{1}$$

Górna linia ostrzegawcza (UWL):

$$UWL = \mu + 2\sigma \tag{2}$$

Górna linia pomocnicza (UHL):

$$UHL = \mu + 1\sigma \tag{3}$$

Linia centralna:

$$CL = \mu \tag{4}$$

Dolna linia pomocnicza (LHL):

$$LHL = \mu - 1\sigma \tag{5}$$

Dolna linia ostrzegawcza (LWL):

$$LWL = \mu - 2\sigma \tag{6}$$

Dolna linia kontrolna (LCL):

$$LCL = \mu - 3\sigma \tag{7}$$

gdzie:

μ – wartość średnia badanej zmiennej [$mgO_2 \cdot dm^{-3}$; $mg \cdot dm^{-3}$],
σ – odchylenie standardowe badanej zmiennej [$mgO_2 \cdot dm^{-3}$; $mg \cdot dm^{-3}$].

Na zakłócenie lub brak stabilności procesu redukcji danego wskaźnika zanieczyszczeń wskazują następujące obserwacje [1]: jeden punkt poza granicami kontrolnymi, dwa z trzech punktów poza liniami ostrzegawczymi $\pm 2\sigma$,cztery z pięciu kolejnych punktów poza liniami pomocniczymi $\pm 1\sigma$, osiem kolejnych punktów po jednej stronie linii centralnej.

Jako indykatory efektywności oczyszczania ścieków przyjęto następujące wskaźniki zanieczyszczeń: sprawność oczyszczania (η), współczynnik niezawodności technologicznej (WN) oraz wskaźnik technologicznej sprawności oczyszczania (P_{sw}). Wskaźnik sprawności oczyszczania ścieków wyrażany jest jako iloraz różnicy wielkości zanieczyszczeń w ściekach surowych i oczyszczonych do wielkości zanieczyszczeń w ściekach surowych [10]:

$$\eta = \frac{S_d - S_o}{S_d} \cdot 100\ [\%] \qquad (8)$$

gdzie:

S_d – stężenie zanieczyszczeń w ściekach surowych [$mgO_2 \cdot dm^{-3}$; $mg \cdot dm^{-3}$],

S_o – stężenie zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych [$mgO_2 \cdot dm^{-3}$; $mg \cdot dm^{-3}$].

Współczynnik niezawodności technologicznej to iloraz średniej wartości danego wskaźnika na odpływie do dopuszczalnej wartości danego wskaźnika w ściekach oczyszczonych [4]:

$$WN = \frac{\bar{x}_{śr}}{x_{dop}} \qquad (9)$$

gdzie:

$\bar{x}_{śr}$ – średnia wielkość danego wskaźnika w ściekach oczyszczonych [$mgO_2 \cdot dm^{-3}$; $mg \cdot dm^{-3}$],

x_{dop} – dopuszczalna wartość danego wskaźnika zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych, według obowiązujących aktów prawnych (w niniejszej pracy przyjęto [12]) [$mgO_2 \cdot dm^{-3}$; $mg \cdot dm^{-3}$].

Wskaźnik technologicznej sprawności oczyszczania wyraża stosunek liczby wyników badań zgodnych z dopuszczalnymi wartościami do całkowitej liczby przebadanych próbek [12]:

$$P_{sw} = \frac{n_z}{N} \qquad (10)$$

gdzie:

n_z – liczba wyników badań zgodnych z dopuszczalnymi wartościami z obowiązujących aktów prawnych (w niniejszej pracy przyjęto [13]),

N – całkowita liczba przebadanych próbek.

4. Wyniki badań

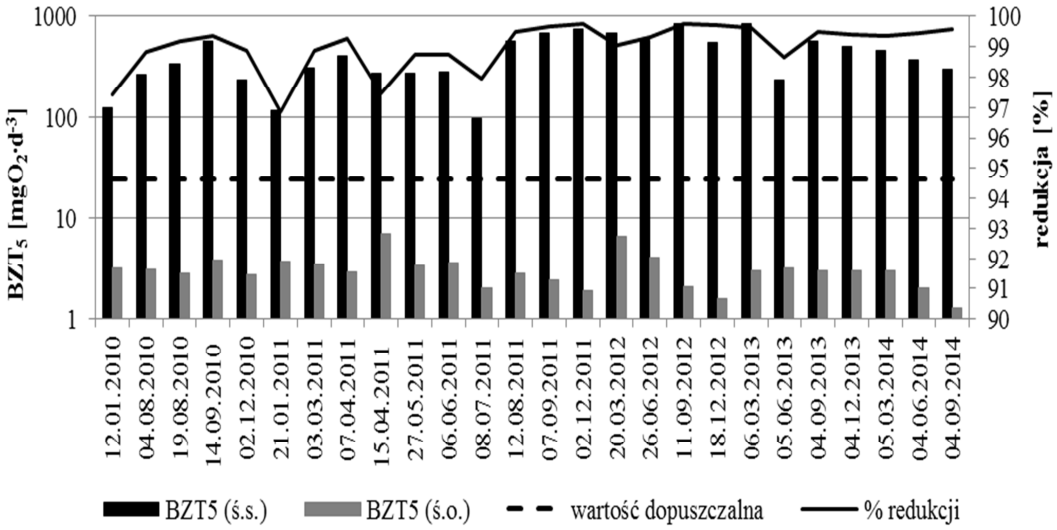
W celu określenia dynamiki zmian kształtowania się składu ścieków surowych oraz oczyszczonych na oczyszczalni ścieków w Przysiekach, dla analizowanych serii obserwacyjnych badanych wskaźników zanieczyszczeń, wyznaczono statystyki opisowe. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 1. Ryciny 2–4 przedstawiają odpowiednio wartości BZT_5, $ChZT_{Cr}$ oraz zawiesiny ogólnej wraz z poziomem redukcji tych wskaźników, na oczyszczalni ścieków w Przysiekach.

Tab. 1. Statystyki opisowe badanych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych oraz oczyszczonych na oczyszczalni ścieków w Przysiekach

Wskaźnik zanieczyszczeń	Wskaźnik zanieczyszczeń						
	min	$\bar{x}$	max	s	V_s	Sko	Kurt
Ścieki surowe							
BZT_5	98,0	433,4	846,0	214,0	0,25	0,33	-0,84
$ChZT_{Cr}$	346,0	854,2	2112,0	396,6	0,19	1,48	3,14
Zawiesina ogólna	72,0	377,1	1705,0	360,3	0,21	3,14	11,34
Ścieki oczyszczone							
BZT_5	1,3	3,1	7,0	1,3	0,18	1,72	3,97
$ChZT_{Cr}$	4,6	45,3	82,0	15,2	0,19	-0,14	1,99
Zawiesina ogólna	2,1	3,7	6,2	1,4	0,22	0,44	-1,36

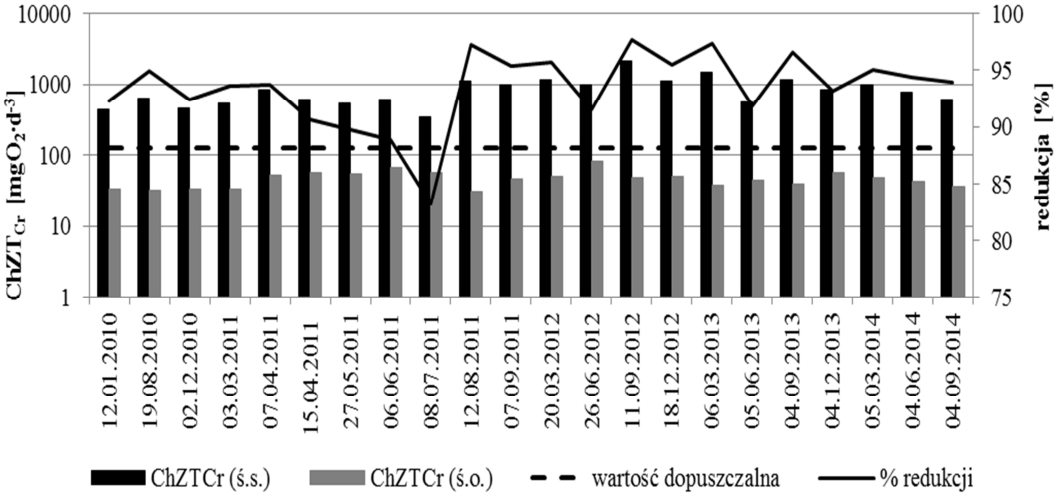
Źródło: Opracowanie własne

Ryc. 2. Wartości BZT_5 w ściekach surowych oraz oczyszczonych na oczyszczalni w Przysiekach w latach 2010–2014



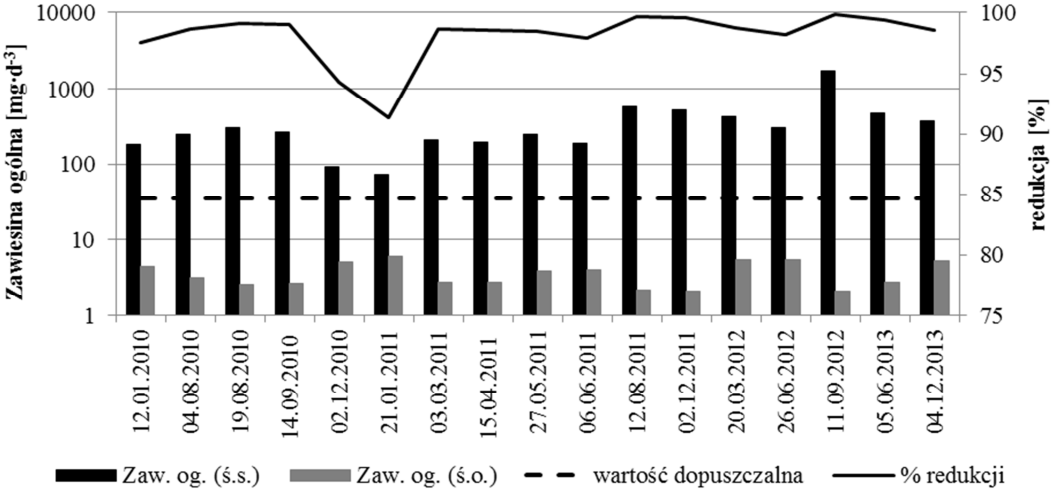
Źródło: Opracowanie własne

Ryc. 3. Wartości $ChZT_{Cr}$ w ściekach surowych oraz oczyszczonych na oczyszczalni w Przysiekach w latach 2010–2014



Źródło: Opracowanie własne

Ryc. 4. Wartości zawiesiny ogólnej w ściekach surowych oraz oczyszczonych na oczyszczalni w Przysiekach w latach 2010–2014



Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie danych zestawionych w tabeli 1 stwierdzono, iż zakres analizowanych wskaźników zanieczyszczeń, w ściekach surowych, jest zbieżny z wynikami badań, otrzymanych przez Kaczora [6], dotyczących składu ścieków surowych, dopływających do oczyszczalni, zlokalizowanych na obszarze południowej Polski. Bazując na wynikach zestawionych w tabeli 1 oraz na rycinie 2, stwierdzono, że wartość BZT_5 w ściekach surowych, dopływających do oczyszczalni w Przysiekach, mieściła się w przedziale od 98 do 846 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$, przy wartości średniej na poziomie 433 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$. Dynamika zmian kształtowania się wielkości tego wskaźnika

wskazuje na jego przeciętną zmienność. Wartość współczynnika skośności mówi o prawostronnej asymetrii rozkładu badanej zmiennej, natomiast kurtoza wskazuje na platykurtyczny rozkład BZT_5 w ściekach surowych. Wartości BZT_5 w ściekach oczyszczonych na oczyszczalni w Przysiekach, w wieloleciu 2010–2014 wahały się pomiędzy od 1,3 do 7,0 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$, przy wartości średniej, wynoszącej 3,1 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$. Zmienność kształtowania się wielkości tego wskaźnika w ściekach oczyszczonych utrzymywała się na poziomie niskim. Ponadto w całym analizowanym okresie nie stwierdzono przekroczeń dopuszczalnej wartości BZT_5 w ściekach oczyszczonych (według [13] dopuszczalna wartość to 25 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$).

Współczynnik skośności wskazuje na prawostronną asymetrię rozkładu BZT_5 w ściekach oczyszczonych, natomiast kurtoza mówi o jej leptokurtycznym rozkładzie. Wielkość $ChZT_{Cr}$ (tab. 1, ryc. 3) ścieków surowych, dopływających do badanej oczyszczalni, w latach 2010–2014 mieściła się w przedziale od 346 do 2112 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$, a wartość średnia utrzymywała się na poziomie 854 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$. Współczynnik zmienności wskazuje na niską zmienność kształtowania się tego wskaźnika w ściekach surowych. Współczynnik skośności mówi o prawostronnej asymetrii rozkładu badanej zmiennej, natomiast wartość kurtozy wskazuje na jej leptokurtyczny rozkład.

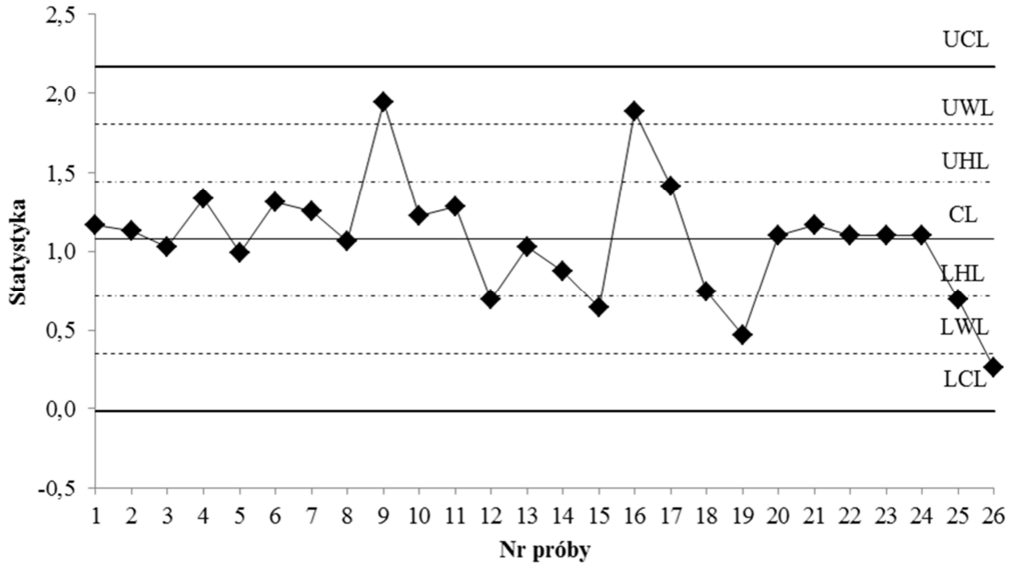
W przypadku ścieków oczyszczonych $ChZT_{Cr}$ przyjmowało wartości od 4,6 do 82,0 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$, przy wartości średniej wynoszącej 45,3 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$. Dynamika zmian kształtowania się tego wskaźnika, w ściekach oczyszczonych, utrzymywała się na poziomie niskim. W całym analizowanym wieloleciu nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych wartości $ChZT_{Cr}$ w ściekach oczyszczonych (według [13] dopuszczalna wartość to 125 $mgO_2 \cdot dm^{-3}$). Współczynnik skośności $ChZT_{Cr}$ ścieków oczyszczonych wskazuje na lewostronną asymetrię rozkładu badanej zmiennej, natomiast kurtoza mówi o jej leptokurtycznym rozkładzie.

Stężenie zawiesiny ogólnej (tab. 2, ryc. 4) w ściekach dopływających do oczyszczalni w Przysiekach wahało się w przedziale od 72 do 1705 $mg \cdot dm^{-3}$, przyjmując wartość średnią na poziomie 377 $mg \cdot dm^{-3}$. Dynamika zmian kształtowania się tego wskaźnika w ściekach surowych, w badanym wieloleciu, utrzymywała się na poziomie przeciętnym. Wartość współczynnika skośności wskazuje na lewostronną asymetrię rozkładu tej zmiennej, natomiast kurtoza mówi o jej leptokurtycznym rozkładzie. Stężenie zawiesiny ogólnej, na odpływie z oczyszczalni w Przysiekach, zawierało się w przedziale od 2,1 do 6,2 $mg \cdot dm^{-3}$, przy wartości średniej wynoszącej 3,7 $mg \cdot dm^{-3}$.

Wartość współczynnika zmienności wskazuje na przeciętną zmienność kształtowania się wielkości tego wskaźnika w ściekach oczyszczonych. W analizowanym wieloleciu nie stwierdzono przekroczeń stężenia zawiesiny ogólnej na odpływie, odnośnie do obowiązujących aktów prawnych (według [13] dopuszczalna wartość to 35 $mg \cdot dm^{-3}$). Współczynnik skośności mówi o prawostronnej asymetrii rozkładu tej zmiennej, a kurtoza wskazuje na jej platykurtyczny rozkład.

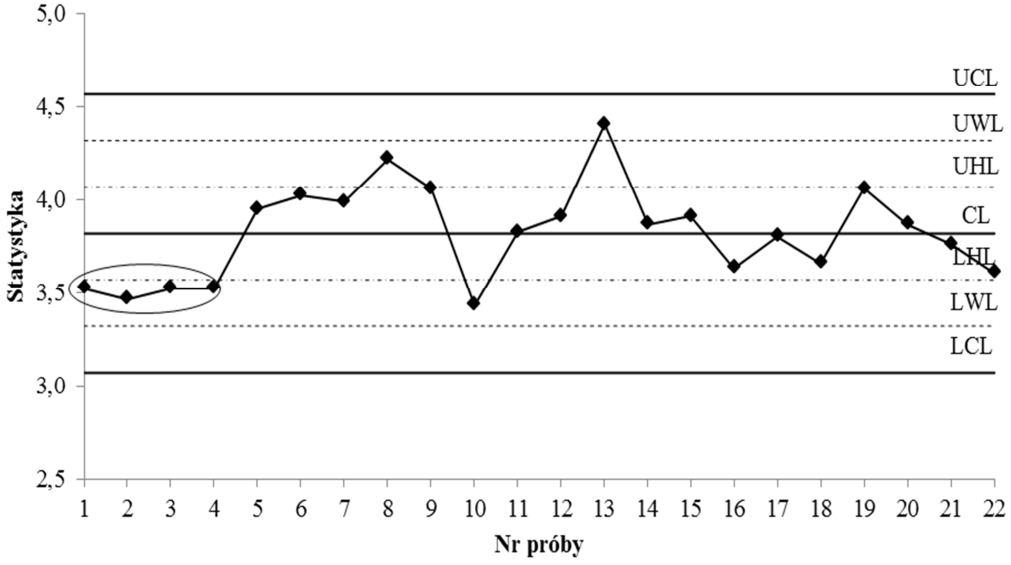
Oceny stabilności pracy oczyszczalni ścieków w Przysiekach dokonano za pomocą kart kontrolnych, wykonanych względem badanych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych. Wyniki analizy zestawiono na rycinach 5–7.

Ryc. 5. Karta kontrolna dla BZT_5 w ściekach oczyszczonych



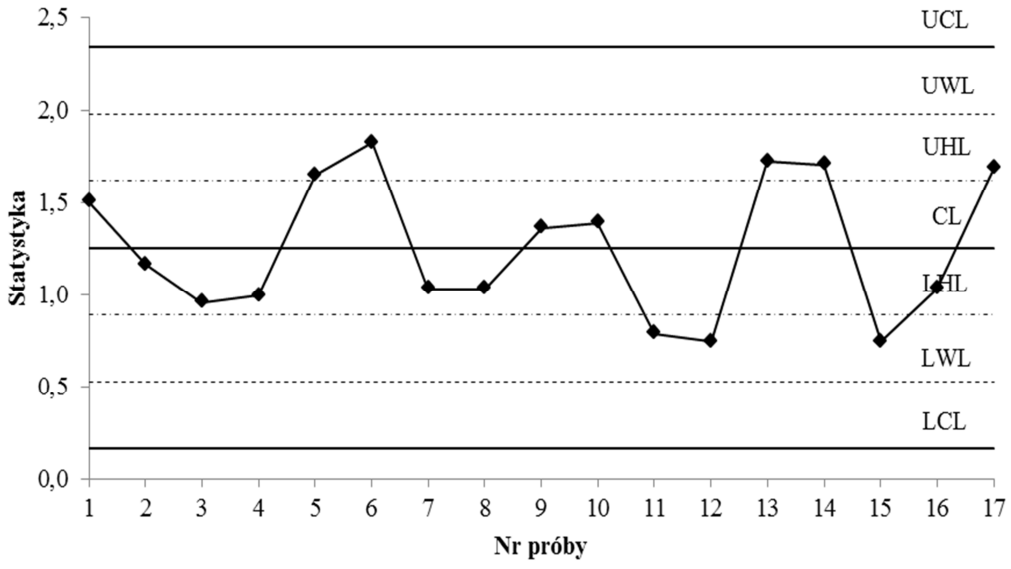
Źródło: Opracowanie własne

Ryc. 6. Karta kontrolna dla $ChZT_{Cr}$ w ściekach oczyszczonych



Źródło: Opracowanie własne

Ryc. 7. Karta kontrolna dla zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych



Źródło: Opracowanie własne

Analizując wyniki zestawione na rycinie 5, można stwierdzić, iż wartości BZT_5 oscylują wokół wartości średniej (linii centralnej) oraz żadna z badanych prób nie przekroczyła dolnej lub górnej linii centralnej. Świadczy to o stabilnym procesie redukcji tego wskaźnika oraz jego braku zakłóceń, w całym analizowanym wieloleciu. Karta kontrolna, wykonana względem $ChZT_{Cr}$ w ściekach oczyszczonych (ryc. 6), wskazuje na jeden okres zakłócenia stabilności pracy oczyszczalni, względem redukcji tego wskaźnika (próby 1–4). Należy jednak podkreślić, że zakłócenie to nie wpłynęło negatywnie na skuteczność redukcji $ChZT_{Cr}$, gdyż w całym okresie badań nie odnotowano przekroczeń jego dopuszczalnych wartości względem [13].

Analizując wyniki zestawione na rycinie 7, stwierdzono stabilność oraz brak zakłóceń procesów redukcji zanieczyszczeń, względem zawiesiny ogólnej. W wieloleciu 2010–2014 wartości tego wskaźnika nie przekroczyły dolnej bądź górnej linii kontrolnej oraz oscylowały wokół linii centralnej. Podobne wyniki przedstawiono także w pracy [9], gdzie dokonano oceny stabilności pracy oczyszczalni ścieków w Zabajce. Na podstawie przeprowadzonej analizy również wskazano na stabilność procesów redukcji BZT_5 i zawiesiny ogólnej oraz na brak stabilności i zakłócenie procesu oczyszczania ścieków względem $ChZT_{Cr}$. Jednakże nie wpłynęło to negatywnie na jakość ścieków oczyszczonych.

Uzupełnieniem przeprowadzonych badań było wyznaczenie wskaźników niezawodności pracy oczyszczalni ścieków w Przysiekach, takich jak: sprawność oczyszczania (η), współczynnik niezawodności technologicznej (WN) oraz technologiczną sprawność oczyszczania (P_{sw}). Wyniki zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Wskaźniki niezawodności pracy oczyszczalni ścieków w Przysiekach w latach 2010–2014

Wskaźnik zanieczyszczeń	Wskaźnik zanieczyszczeń		
	η	WN	P_{sw}
BZT_5	0,99	0,13	1,00
$ChZT_{Cr}$	0,94	0,36	1,00
Zawiesina ogólna	0,98	0,11	1,00

Źródło: Opracowanie własne

Analizując wyniki zestawione w tabeli 2, stwierdzono bardzo wysoką redukcję badanych wskaźników zanieczyszczeń. Dla każdego z analizowanych, sprawność oczyszczania znacznie przekracza 90%. Również pozostałe wskaźniki niezawodności świadczą o poprawnej oraz niezawodnej pracy oczyszczalni ścieków w Przysiekach. Wskazują na to niskie wartości WN oraz P_{sw} równe jeden dla każdego z badanych wskaźników zanieczyszczeń.

5. Wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonych badań, związanych z oceną funkcjonowania oczyszczalni ścieków w Przysiekach, za pomocą wybranych metod statystycznych, sformułowano następujące wnioski końcowe:

1. Odpływające do odbiornika ścieki oczyszczone na oczyszczalni w Przysiekach, pod względem swego składu fizyko-chemicznego spełniały w latach 2010–2014 warunki określone Rozporządzeniem [13], co niewątpliwie przyczynia się do ochrony wód ich odbiornika – rzeki Raby przed zanieczyszczeniem.
2. Analiza kart kontrolnych wykazała stabilność procesów redukcji zanieczyszczeń, odnośnie do każdego z analizowanych wskaźników. Zatem w badanym wieloleciu nie wystąpiły czynniki istotnie wpływające na kształtowanie się jakości ścieków oczyszczonych.
3. Potwierdzeniem wysokiej sprawności pracy oczyszczalni ścieków w Przysiekach, są wartości wskaźników niezawodności pracy, wskazujące na wysoką efektywność redukcji zanieczyszczeń w ściekach dopływających do analizowanego obiektu badań.
4. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że statystyki opisowe oraz karty kontrolne stanowią proste oraz skuteczne narzędzie pozwalające na określenie skuteczności oraz stabilności pracy oczyszczalni ścieków. Wykorzystanie tych narzędzi pozwala na szybkie wskazanie zakłóceń pracy eksploatowanych obiektów oraz podjęcie odpowiednich działań, w celu eliminacji tych zakłóceń.

Bibliografia

1. Andraka D., *Wykorzystanie statystycznej kontroli jakości do oceny pracy oczyszczalni ścieków*, [w:] *Problemy gospodarki wodno-ściekowej w rejonach rolniczo-przemysłowych,* monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, nr 30, 2005.
2. Budkowska A., Długosz J., Gawdzik J., *Validation of the operations of wastewater treatment plant in Starachowice*, Archives of Waste Management and Environmental Protection, nr 14, 2012, s. 1–12.
3. Bugajski P., *Ocena niezawodności usuwania związków biogennych w oczyszczalni ścieków metodą Weibulla*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, nr 576, 2014, s. 13–21.
4. Chmielowski K., Młyńska A., Młyński D., *Efektywność pracy oczyszczalni ścieków w Kołaczycach*, Inżynieria Ekologiczna, nr 45, 2015, s. 44–50.
5. Długosz J., Gawdzik J., *Ocena skuteczności funkcjonowania oczyszczalni ścieków w Barczy (woj. świętokrzyskie)*, Proceedings of ECOpole, nr 7, 2013, s. 311–317.
6. Kaczor G., *Stężenia zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych z wiejskich systemów kanalizacyjnych*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 9, 2009, s. 97–104.
7. Krzanowski S., Wałęga A., *Wykorzystanie teorii niezawodności i statystycznej kontroli jakości ścieków do oceny eksploatacyjnej wiejskich oczyszczalni ścieków*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 3, 2006, s. 17–37.
8. Krzanowski S., Wałęga A., Paśmionka I., *Oczyszczanie ścieków z wybranych zakładów przemysłu spożywczego*, Wydawnictwo Komisji Technicznej Infrastruktury Wsi PAN w Krakowie, Kraków 2008.
9. Młyński D., Chmielowski K., Młyńska A., *Ocena skuteczności oraz stabilności pracy oczyszczalni ścieków w Zabajce*, Inżynieria Ekologiczna, nr 47, 2016, s. 123–130.
10. Młyński D., Chmielowski K., Młyńska A., Miernik W., *Ocena skuteczności pracy oczyszczalni ścieków w Jaśle*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 1, 2016, s. 147–162.
11. Mucha J., *Metody geostatystyczne w dokumentowaniu złóż*, skrypt AGH, Kraków 1994.
12. Rak J., Wieczysty A., *Funkcjonowanie systemu oczyszczalnia ścieków odbiornik w świetle teorii niezawodności*, IX Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna z cyklu „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych", Rajgród czerwiec 1997, s. 16–24.
13. 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. z 2014 r., poz. 1800).
14. Shapiro S.S., Wilk M.B., *An analysis of variance test for normality (complete samples)*, Biometrika, nr 52, 1965, s. 591–611.
15. Szymczyk K., *Gminna oczyszczalnia ścieków w Przysiekach*, Przegląd Komunalny, nr 3, 2011, s. 58–59.
16. Wałęga A., *Ocena funkcjonowania oczyszczalni ścieków metodami statystycznymi*, Forum Eksploatatora, nr 5, 2009, s. 30–34.
17. Wiśniewska-Kadżajan B., Jankowski K., Sosnowski J., *Skuteczność oczyszczania ścieków komunalnych w wybranych oczyszczalniach powiatu siedleckiego*, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, nr 52, 2012, s. 32–41.