

Włodzimierz Miernik
Edyta Stano
Dariusz Młyński
Krzysztof Chmielowski

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kollątaja w Krakowie

SKUTECZNOŚĆ I STABILNOŚĆ PROCESÓW OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW BYTOWYCH W OCZYSZCZALNI Z REAKTOREM SBR

Streszczenie

W pracy dokonano oceny skuteczności oraz stabilności procesów oczyszczania ścieków na oczyszczalni w Rzeżuśni, na podstawie wyników analiz fizyko-chemicznych próbek ścieków surowych i oczyszczonych odnotowanych w latach 2008–2015. Analizą objęto następujące wskaźniki zanieczyszczeń: zawiesinę ogólną, BZT₅ oraz ChZT_{Cr}, dla których wyznaczono podstawowe statystyki opisowe oraz procentową wielkość redukcji. Oceny stabilności pracy oczyszczalni dokonano na podstawie kart kontrolnych dla pojedynczej próby. Bazując na uzyskanych wynikach stwierdzono, że analizowana oczyszczalnia ścieków działa w sposób prawidłowy, o czym świadczą wysokie wartości redukcji wskaźników zanieczyszczeń. W świetle zastosowanej metody procesy oczyszczania należy ocenić jako stabilne.

Słowa kluczowe: ścieki bytowe, reaktor SBR, skuteczność, stabilność

THE EFFICIENCY AND STABILITY OF SEWAGE TREATMENT PROCESSES IN WASTEWATER TREATMENT PLANT WITH SBR REACTOR

Summary

In the paper assessed the efficiency and stability of Wastewater Treatment Plant (WTP) work, which is located in Rzeżuśnia. Work effectiveness for this object was assessed based on the physical-chemical results for raw and treated sewage, in the period from 2008 to 2015. The analysis was performed for the following pollutants indicators: total suspended solids, BOD₅ and COD_{Cr}. For each the descriptive statistics and percentage reduction of pollutants indicators were calculated. The assessment of work stability of WTP was performed by using control cards for simple test. Based on the results it was concluded that the wastewater treatment plant work correctly, what has been confirmed by high reduction of pollution indicators in sewage. Moreover, the results of control cards analysis, indicate that the treatment process in WTP are stable.

Keywords: domestic sewage, SBR reactor, efficiency, stability.

1. Wprowadzenie

Postęp w zakresie porządkowania gospodarki ściekowej można zauważyć od momentu podpisania przez Rząd RP traktatu akcesyjnego (Ateny 2003 rok) o przystąpieniu naszego kraju do struktur UE. Wychodzi on naprzeciw wdrażaniu w życie zapisów dyrektywy 91/271/EWG dotyczącej oczyszczania ścieków komunalnych. Ważnym narzędziem służącym do jej realizacji był i jest nadal, zatwierdzony pod koniec 2003 r. Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych [3]. To dzięki temu programowi zmodernizowano lub wybudowano od nowa wiele systemów kanalizacyjnych i oczyszczalni ścieków. Inwestycje te, co należy podkreślić, zostały zrealizowane dzięki wsparciu finansowemu, którego źródłem były fundusze unijne. Według danych GUS [6] w 2015 r. długość czynnej sieci kanalizacyjnej w kraju (miasta i wsie) wynosiła około 150 tys. km, czyli była o około 125 tys. km dłuższa niż w roku rozpoczęcia przemian społeczno-gospodarczych (1989). Pod koniec tego samego roku eksploatowano w kraju w sumie 3343 oczyszczalnie ścieków, z czego 776 w miastach i 2567 na wsiach. W tej ogólnej liczbie oczyszczalni ścieków 835, czyli około 25% było przystosowanych do podwyższonego usuwania związków biogenych. Między innymi zalicza się do nich oczyszczalnie z reaktorami porcjowymi, tzw. reaktorami SBR (z ang. *Sequencing Batch Reactor*) wykorzystującymi w procesie oczyszczania osad czynny. Szczegółowy opis pracy reaktora SBR oraz możliwości jego praktycznego zastosowania znaleźć można w literaturze, między innymi w pracy Masłonia i Tomaszka [11]. Szczególnie predysponowane są one do oczyszczania ścieków wytwarzanych na obszarach wiejskich [4, 12].

Przykładem jednym z wielu wiejskich oczyszczalni z reaktorami SBR może być oczyszczalnia ścieków bytowych w miejscowości Rzeżuśnia, w gminie Gołcza, powiat miechowski. Podstawowym celem, jaki założyli sobie Autorzy niniejszej pracy, była analiza i ocena skuteczności oczyszczania oraz stabilności pracy wyżej wymienionego obiektu.

2. Opis obiektu badań

Objęta badaniami oczyszczalnia położona jest w północnej części województwa małopolskiego, we wschodniej części gminy Gołcza (ryc. 1).

Ryc. 1. Położenie oczyszczalni w Rzeżuśni na tle województwa małopolskiego i gminy Gołcza

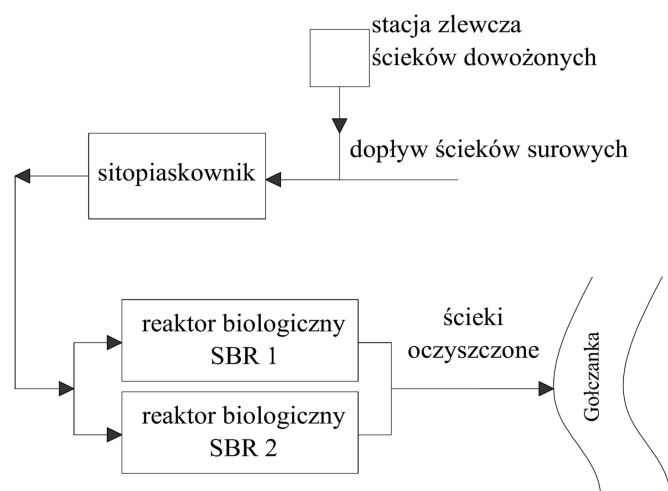


Źródło: Opracowanie własne

Obiekt oddano do eksploatacji w 2007 r. z przeznaczeniem do oczyszczania ścieków bytowych dopływających siecią kanalizacyjną i dowożonych taborem asenizacyjnym. System kanalizacyjny współpracujący z oczyszczalnią obejmuje swym zasięgiem miejscowości: Chobędza, Wielkanoc, Gołcza i Rzeżuśnia. Wsie te zamieszkuje w sumie 1348 osób [14]. Oczyszczalnia posiada przepustowość nominalną równą $250 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ odpowiadającą 1625 równoważnej liczbie mieszkańców (RLM).

Oczyszczalnia ścieków w Rzeżuśni została zaprojektowana i wykonana jako oczyszczalnia dwustopniowa, obejmująca oczyszczanie mechaniczne (wstępne) i oczyszczanie biologiczne oparte na osadzie czynnym (ryc. 2). Mechaniczne oczyszczanie ścieków oparte jest głównie na procesach cedzenia i sedymentacji zanieczyszczeń i jest realizowane za pomocą sitopiaskownika (urządzenie podstawowe) lub kraty ręcznej (urządzenie awaryjne). Biologiczne oczyszczanie ścieków, obejmujące mineralizację materii organicznej, nityfikację związków azotu i biologiczną defosfatację związków fosforu, przebiega w reaktorze porcjowym (SBR). W eksploatacji znajduje się dwukomorowy reaktor SBR, w którym zastosowano proces osadu czynnego w wersji przedłużonego napowietrzania. Proces ten zapewnia uzyskanie wymaganych stężeń zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych oraz pozwala na pełną tlenową stabilizację wytworzonych osadów. Ciągłość przyjmowania ścieków jest zapewniona przez naprzemienną pracę obu komór reaktora.

Ryc. 2. Uproszczony schemat technologiczny oczyszczalni w Rzeżuśni



Źródło: Opracowanie własne

Komory reaktora wykonane zostały jako zbiorniki o konstrukcji żelbetowej. Każda z nich posiada wymiary: 8,70 m (długość) x 4,70 m (szerokość) x 4,25 m (głębokość) i jest wyposażona w zatopione mieszadło, ruszt napowietrzający, dekanter zrzutowy oraz pompę do odprowadzania osadu nadmiernego [9].

Odbiornikiem ścieków oczyszczonych jest potok o nazwie Gołczanka, będący prawostronnym dopływem Szreniawy. Według danych IMGW przepływ SNQ dla potoku Gołczanka wynosi $0,021 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Pozwolenie wodnoprawne na odprowadzanie oczyszczonych ścieków do potoku zostało udzielone przez Starostę miechowskiego na 10 kolejnych lat i obejmuje okres od 4 grudnia 2007 do 3 grudnia 2017 r. Obliguje ono użytkownika oczyszczalni ścieków w Rzeżuśni (gminę Gołcza) do spełniania w tym czasie określonych warunków, dotyczących ilości oraz stężenia zanieczyszczeń w odprowadzanych ściekach. Z dokumentu tego wynika, że:

- ◆ ilości odprowadzanych ścieków (Q_{dmax}) nie mogą przekraczać $250,0 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$,
- ◆ stężenia zanieczyszczeń zawarte w odprowadzanych ściekach, nie mogą przekraczać wartości dopuszczalnych, które wynoszą: dla zawiesiny ogólnej – $50,0 \text{ mg dm}^{-3}$, dla BZT₅ – $40,0 \text{ mgO}_2 \text{ dm}^{-3}$ i dla ChZTCr – $150,0 \text{ mgO}_2 \text{ dm}^{-3}$.

3. Materiały źródłowe i metody ich opracowania

Podstawą do oceny skuteczności i stabilności pracy badanego obiektu były materiały źródłowe uzyskane w Zakładzie Gospodarki Komunalnej gminy Gołcza. Wśród tych materiałów należy wymienić:

- ◆ dokumentację techniczną oraz instrukcję obsługi oczyszczalni ścieków w Rzeżuśni,
- ◆ operat wodnoprawny i pozwolenie wodnoprawne na odprowadzenie oczyszczonych ścieków do potoku Gołczanka,

- ♦ wyniki analiz fizyko-chemicznych ścieków surowych (18 próbek) oraz ścieków oczyszczonych (25 próbek), obejmujące okres od stycznia 2008 do listopada 2015 r.

Analizy ścieków, o których mowa wyżej, wykonywano w akredytowanym laboratorium MPWiK S.A. w Krakowie. Ich zakres każdorazowo obejmował takie wskaźniki zanieczyszczeń, jak: zawiesina ogólna, BZT₅ i ChZT_{Cr}.

Dla każdego wskaźnika obliczono podstawowe statystyki opisowe, a mianowicie: wartość średnią, maksymalną i minimalną oraz odchylenie standardowe i współczynnik zmienności.

Oceniając skuteczność procesów oczyszczania realizowanych w badanej oczyszczalni, porównano skład ścieków oczyszczonych, odpływających do odbiornika z wymogami pozwolenia wodnoprawnego. Ponadto dla każdego wskaźnika zanieczyszczeń obliczono wartość jego redukcji, jaką uzyskiwano w całym procesie oczyszczania. Użyto w tym celu powszechnie stosowanej formuły opisanej między innymi w publikacji [2]:

$$\eta = [(S_s - S_o) / S_s] \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

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

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

Ocenę stabilności pracy badanej oczyszczalni ścieków wykonano przy użyciu metody tzw. kart kontrolnych. Wykorzystano jeden z wielu możliwych wariantów, a mianowicie karty X-średnie. Karty takie opracowano dla każdego wskaźnika zanieczyszczenia oznaczanego w ściekach oczyszczonych. Warunkiem opracowania karty jest normalność rozkładu oznaczonych wartości danego wskaźnika (zmiennych), co sprawdzono przy zastosowaniu testu Shapiro-Wilka na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Ponieważ stwierdzono brak normalności rozkładu zarówno dla stężeń zawiesiny ogólnej, jak i wartości BZT₅ oraz ChZT_{Cr}, zgodnie z zalecaną metodyką opracowania kart kontrolnych, dokonano normalizacji zmiennych [13]. Jeżeli zmienna losowa podlega rozkładowi normalnemu, to prawdopodobieństwo przekroczenia trzykrotnej wartości odchylenia standardowego przez tę zmienną, oddalając się od wartości średniej, wynosi zaledwie 0,0026. Stąd wynika, że w przedziale określonym na podstawie wzoru przedstawionego poniżej:

$$\mu \pm 3 \sigma / n^{0,5} \quad (2)$$

w którym:

μ – wartość średnia w populacji generalnej,

σ – odchylenie standardowe w populacji generalnej,

n – liczba danych w próbie

powinno zawierać się około 99,74% wartości średnich z próby. Karty kontrolne X-średnie, przedstawiono w formie wykresów. Na każdej karcie kontrolnej naniesiono linię centralną (CL) na poziomie wartości średniej danego wskaźnika zanieczyszczenia oraz dwie granice kontrolne: górną (UCL) i dolną (LCL). Granice te są odległe od

linii centralnej o $\pm 3\sigma$. Odchylenie standardowe zostało estymowane na podstawie ilorazu σ / \sqrt{n} .

Mając na uwadze bardziej dokładne wyznaczenie okresów niestabilności procesu oczyszczania, wyznaczono jeszcze dwie granice kontrolne, tzw. pomocnicze: pierwszą w odległości $\pm 1\sigma$, a drugą w odległości $\pm 2\sigma$ od linii centralnej [5, 10]. Okresy rozregulowań (niestabilności) wyznaczono w oparciu o kryteria zalecane przez Andrakę i Dzieńisa [1].

4. Wyniki badań i ich analiza

4.1. Skład ścieków surowych poddawanych procesowi oczyszczania

Ważnym czynnikiem wpływającym na przebieg procesu oczyszczania i jego efekt końcowy jest skład ścieków surowych dostarczanych do oczyszczalni. Jest on odpowiedzialny za jej obciążenie ładunkiem zanieczyszczeń. Jego duża zmienność może powodować zakłócenia w procesie oczyszczania. W tabeli 1 zamieszczono dane, które charakteryzują skład ścieków surowych, poddawanych procesowi oczyszczania na oczyszczalni w Rzeżuśni. Skład ten scharakteryzowano przez pryzmat podstawowych statystyk opisowych, jakie obliczono dla każdego wskaźnika zanieczyszczenia oznaczonego w 18 próbkach pobranych na dopływie do oczyszczalni w latach 2008–2015.

Przystępując do analizy danych zawartych w tabeli 1, należy na wstępie nadmienić, że w rozpatrywanym wieloleciu badana oczyszczalnia funkcjonowała w warunkach wyraźnego niedociążenia hydraulicznego. Średnia dobową objętość ścieków, jaką poddawano procesowi oczyszczania w poszczególnych latach, oscylowała nieznacznie wokół wartości $100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Stanowiła ona zatem około 40% projektowanej przepustowości obiektu. Przechodząc do składu ścieków surowych, możemy zauważyć, że charakteryzowały się one bardzo wysoką zmiennością, na co definitywnie wskazują wartości obliczonych współczynników zmienności dla poszczególnych wskaźników zanieczyszczeń wahające się od 1,2 (dla ChZT_{Cr}) do 1,4 (dla zawiesiny ogólnej). Stężenia zawiesiny ogólnej zawierały się w przedziale $140,0\text{--}6100,0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, natomiast wartości BZT_5 w granicach od $150,0$ do $3800 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, a ChZT_{Cr} od $283,0$ do $7150,0 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Należy zaznaczyć, że wartości minimalne każdego wskaźnika oznaczono w tej samej próbce ścieków, pobranej do analizy w czerwcu 2013 r., podobnie jak wartości maksymalne, które odnotowano w próbce ścieków pobranej do analizy w kwietniu 2014 r. Wartości minimalne odpowiadają typowym ściekom bytowym, których skład można znaleźć w dostępnej literaturze [7, 8].

Tab. 1. Podstawowe statystyki opisowe wskaźników zanieczyszczeń oznaczone w ściekach surowych, dopływających do oczyszczalni w Rzeżuśni w latach 2008–2015

Statystyka	Wskaźnik zanieczyszczenia		
	zawiesina ogólna	BZT ₅	ChZT _{Cr}
Liczebność próby	18	18	18
Wartość średnia [mg·dm ⁻³]	968,3	706,1	1390,7
Wartość minimalna [mg·dm ⁻³]	140,0	150,0	283,0
Wartość maksymalna [mg·dm ⁻³]	6100,0	3800,0	7150,0
Odchylenie standardowe [mg·dm ⁻³]	1393,9	891,6	1632,8
Współczynnik zmienności	1,4	1,3	1,2

Źródło: Opracowanie własne

Z kolei oznaczone wartości maksymalne znacznie odbiegają od składu typowych ścieków bytowych. Być może przyczyną była zbyt duża objętość zrzutu ścieków dowiezionych do punktu zlewnego oczyszczalni taborem asenizacyjnym, na który nałożył się moment pobrania próbki. Jak powszechnie wiadomo, zawartość wypompowanego szamba przypomina swym wyglądem zazwyczaj silnie uwodniony osad anizeli ścieki. Charakteryzuje się ona bardzo wysokimi stężeniami zanieczyszczeń. Oceniając podatność badanych ścieków surowych na proces biologicznego oczyszczania, ustalono wartość stosunku $ChZT_{Cr} : BZT_5$. W ściekach, które posiadają taką podatność, powinien on być co najwyżej równy 2,2 [7]. Wyliczona dla oczyszczalni w Rzeżuśni średnia wartość tego stosunku w latach 2008–2015 wyniosła około 2,0.

4.2. Skład ścieków oczyszczonych, redukcja zanieczyszczeń

Jednym z kryteriów służącym do sformułowania oceny funkcjonowania oczyszczalni jest porównanie składu odpływających z niej do odbiornika ścieków, ze składem jaki został ustalony w obowiązującym eksploatatora pozwoleniu wodnoprawnym. W tabeli 2 zestawiono dane, które opisują skład ścieków oczyszczonych na oczyszczalni w Rzeżuśni. Skład ten, analogicznie jak skład ścieków surowych, scharakteryzowano przez pryzmat podstawowych statystyk opisowych, obliczonych dla każdego wskaźnika zanieczyszczenia oznaczonego w 25 próbkach pobranych na odpływie z oczyszczalni w latach 2008–2015.

Tab. 2. Podstawowe statystyki opisowe wskaźników zanieczyszczeń oznaczone w ściekach oczyszczonych, odpływających z oczyszczalni w Rzeżuśni w latach 2008–2015

Statystyka	Wskaźnik zanieczyszczenia		
	zawiesina ogólna	BZT ₅	ChZT _{Cr}
Liczebność próby	25	25	25
Wartość średnia [mg·dm ⁻³]	26,1	26,9	86,9
Wartość minimalna [mg·dm ⁻³]	< 2,0	3,2	24,4
Wartość maksymalna [mg·dm ⁻³]	240,0	350,0	762,0
Odchylenie standardowe [mg·dm ⁻³]	46,4	87,9	143,5
Współczynnik zmienności	1,8	2,5	1,7

Źródło: Opracowanie własne

Analizując dane zawarte w tabeli 2, stwierdzono, że skład oczyszczonych ścieków odprowadzanych do odbiornika (potoku Gołczanka) charakteryzował się bardzo wysokim zróżnicowaniem. Potwierdzają to obliczone wartości współczynników zmienności wynoszące odpowiednio dla zawiesiny ogólnej – 1,8, dla BZT₅ – 2,5 i dla ChZT_{Cr} – 1,7. Tak wysoka zmienność nie wskazuje jednak na negatywną ocenę pracy oczyszczalni. Szczegółowa analiza stężeń zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych wskazuje, że wahały się one od około 2,0 do 240,0 mg·dm⁻³, a ich wartość średnia w rozpatrywanym wieloleciu wyniosła 26,1 mg·dm⁻³. Średnie stężenie zawiesiny ogólnej w badanych próbkach ścieków oczyszczonych stanowiło zatem około 52% wartości granicznej (50,0 mg·dm⁻³) wyznaczonej w pozwoleniu wodnoprawnym. Z kolei wartości tzw. tlenowych wskaźników zanieczyszczeń zawierały się w przedziałach od 3,2 do 350,0 mgO₂·dm⁻³ dla BZT₅ oraz od 24,4 do 762,0 mgO₂·dm⁻³ dla ChZT_{Cr}. Wartości średnie, które na odpływie z oczyszczalni wynosiły w przypadku BZT₅ – 26,9 mgO₂·dm⁻³, a w przypadku ChZT_{Cr} – 86,9 mgO₂·dm⁻³, stanowiły odpowiednio 67 i 58% ich wartości granicznej z pozwolenia wodnoprawnego (40,0 mgO₂·dm⁻³ dla BZT₅ i 150,0 mgO₂·dm⁻³ dla ChZT_{Cr}). Należy też zaznaczyć, że w rozpatrywanym okresie czasu (lata 2008–2015) tylko w jednej próbce ścieków oczyszczonych (na 25 pobranych) ich skład nie spełniał wymogów pozwolenia wodnoprawnego. Stężenie zawiesiny ogólnej i wartość ChZT_{Cr} były około 5-krotnie wyższe, a wartość BZT₅ około 9-krotnie wyższa od wartości granicznych. Przypadek ten miał miejsce podczas badań kontrolnych wykonywanych w oczyszczalni w styczniu 2013 r. Można go więc potraktować w kategorii incydentu, wywołanego najprawdopodobniej zakłóceniem fazy sedymentacji lub dekantacji, jakie kończą proces oczyszczania ścieków w reaktorze SBR.

Kolejnym, również ważnym, kryterium oceny funkcjonowania oczyszczalni jest uzyskiwany w procesie oczyszczania poziom redukcji zawartych w ściekach zanieczyszczeń. W przypadku badanego obiektu obliczone wartości redukcji minimalnej, maksymalnej i średniej zawiera tabela 3.

Tab. 3. Ekstremalne i średnie poziomy redukcji zanieczyszczeń uzyskiwane w oczyszczalni w Rzeżuśni w latach 2008–2015

Wskaźnik zanieczyszczenia	Redukcja [%]		
	minimalna	maksymalna	średnia
Zawiesina ogólna	61,3	99,9	94,3
BZT ₅	83,7	99,7	96,2
ChZT _{Cr}	77,5	99,1	92,4

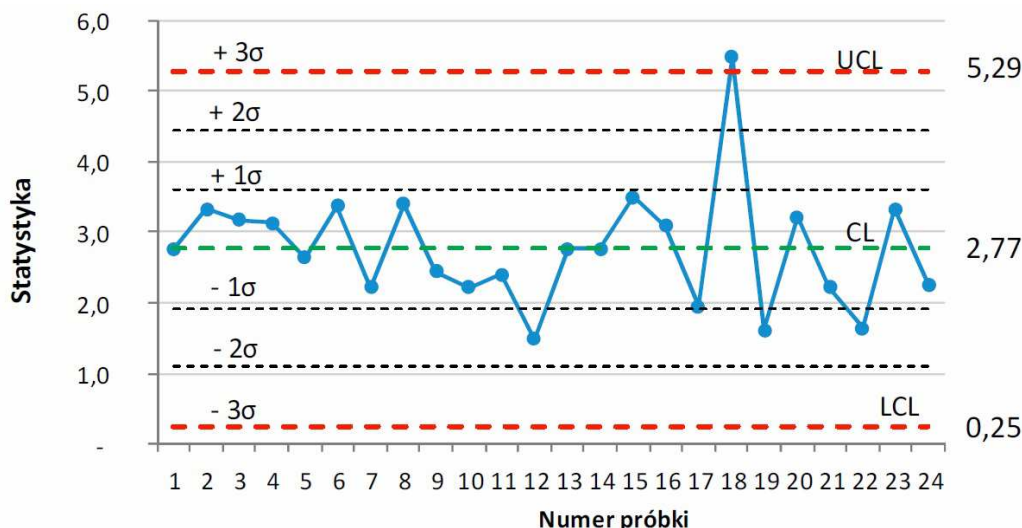
Źródło: Opracowanie własne

Jak wynika z powyższej tabeli, redukcja zanieczyszczeń (zwłaszcza maksymalna i średnia) na oczyszczalni w Rzeżuśni utrzymywała się na bardzo wysokim poziomie. Przeciętnie w okresie objętym badaniami stężenia zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych były niższe w ściekach surowych o 94,3%, natomiast wartości BZT₅ o 96,2% i ChZT_{Cr} o 92,4%.

4.3. Stabilność procesu oczyszczania

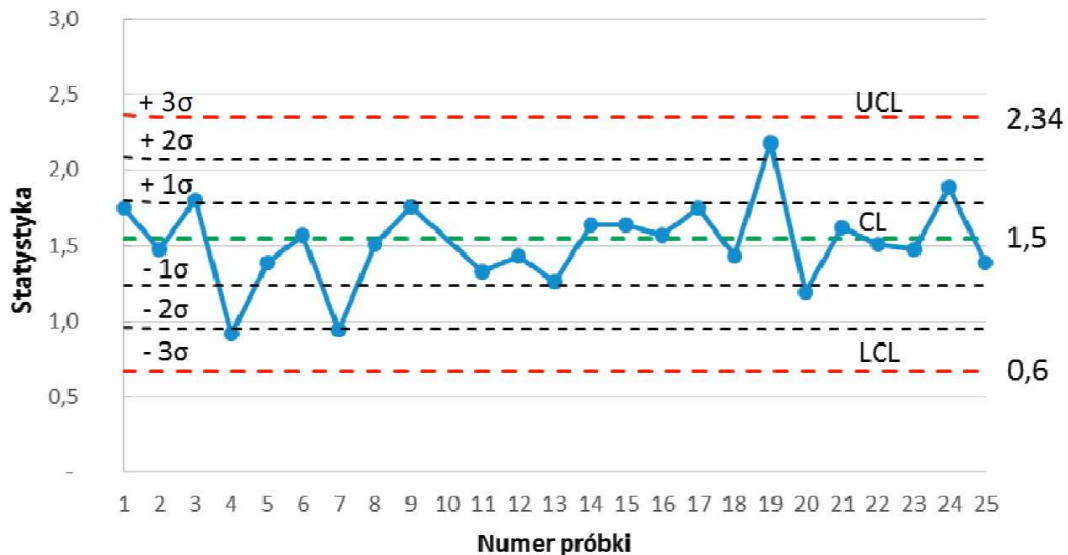
Stabilność przebiegu procesu oczyszczania ścieków na oczyszczalni w Rzeżuśni, z wykorzystaniem kart kontrolnych opracowanych dla każdego wskaźnika zanieczyszczenia monitorowanego w ściekach oczyszczonych zilustrowano na rycinach 3–5. Analizując kartę kontrolną opracowaną dla zawiesiny ogólnej (ryc. 3), można zauważyć na niej tylko jeden okres niestabilności pracy oczyszczalni w całym rozpatrywanym wieloleciu. Zdarzenie to miało miejsce w styczniu 2013 r. (próbka nr 18). Stężenie zawiesiny w oczyszczonych ściekach osiągnęło wówczas swą maksymalną wartość (240,0 mg·dm⁻³), przekraczając górną granicę kontrolną (UCL). W efekcie zaburzenia procesu oczyszczania w tym czasie stwierdzono najniższy dla tego wskaźnika poziom redukcji. Wyniósł on tylko 61,3%. Pozostałe wartości stężeń zawiesiny ogólnej oscylują wokół linii centralnej (CL) z trzema przypadkami przekroczenia pierwszej linii pomocniczej (-1 σ). Przypadki te nie następowały kolejno po sobie, a zatem nie oznaczają zakłócenia stabilności procesu oczyszczania.

Ryc. 3. Karta kontrolna stężeń zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych na oczyszczalni w Rzeżuśni



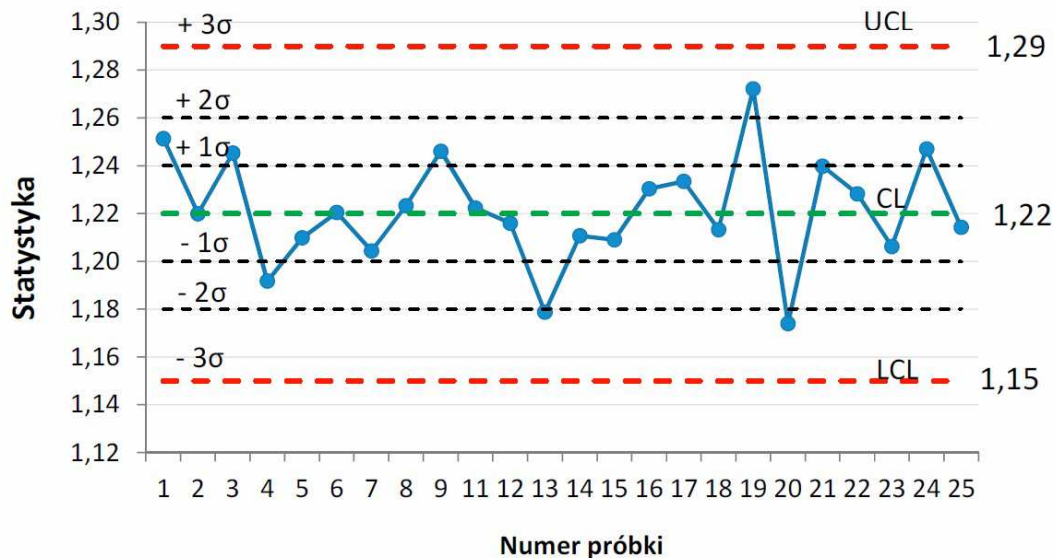
Źródło: Opracowanie własne

Karta kontrolna opracowana dla kolejnego wskaźnika zanieczyszczenia monitorowanego w ściekach oczyszczonych, czyli BZT₅ (ryc. 4), wskazuje na stabilny proces usuwania ze ścieków związków organicznych w badanej oczyszczalni, w całym analizowanym wieloletniu. Nie odnotowano bowiem ani jednego przypadku przekroczenia górnej (UCL) i dolnej linii kontrolnej (LCL). Stabilność procesu przełożyła się bezpośrednio na wysoki poziom redukcji omawianego wskaźnika, który nie spadał generalnie poniżej 92,0%. Wyjątkiem był styczeń 2013 r. Wówczas poziom redukcji BZT₅ wyniósł tylko 83,7%. Na karcie kontrolnej można zaobserwować to zdarzenie jako przekroczenie w próbce nr 19 przez wartość BZT₅ (350,0 mgO₂·dm⁻³) drugiej linii pomocniczej (+2σ). Zaobserwować można jeszcze dwa pojedyncze zbliżenia (próbka nr 4 i nr 7) do drugiej linii pomocniczej (-2σ), ale BZT₅ ścieków oczyszczonych przyjmowało wtedy najniższe wartości, odpowiednio 3,2 i 3,3 mgO₂·dm⁻³. Pozostałe wartości BZT₅ oscylują wokół linii centralnej (CL) z pojedynczymi przypadkami zbliżenia lub przekroczenia linii granicznych położonych w jej najbliższej odległości (± 1σ).

Ryc. 4. Karta kontrolna wartości BZT₅ w ściekach oczyszczonych na oczyszczalni w Rzeżuśni

Źródło: Opracowanie własne

Analizując kartę kontrolną wykonaną dla wartości ChZT_{Cr} (ryc. 5), podobnie jak w przypadku karty kontrolnej dla BZT₅, nie stwierdzono przypadków przekroczenia przez nie zarówno górnej (UCL), jak i dolnej granicy kontrolnej (LCL). Na tej podstawie można zatem stwierdzić, że proces usuwania ze ścieków związków organicznych i niektórych nieorganicznych (ChZT_{Cr} wyraża ich zawartość w oczyszczanych ściekach) był stabilny.

Ryc. 5. Karta kontrolna wartości ChZT_{Cr} w ściekach oczyszczonych na oczyszczalni w Rzeżuśni

Źródło: Opracowanie własne

Zaobserwowano jedno przekroczenie przez wartość ChZT_{Cr} w próbce nr 19 ($762,0 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$) drugiej linii pomocniczej ($+2\sigma$) oraz jedno przekroczenie w próbce nr 20 ($24,4 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$) drugiej linii pomocniczej (-2σ) i jedną wartość w próbce nr 13 ($25,9 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$) położoną na tej linii.

Zaobserwowane przypadki przekroczenia nie przełożyły się negatywnie na stabilność procesu oczyszczania, a także na skuteczność redukcji ChZT_{Cr} . W analizowanym okresie pozostawała ona na wysokim poziomie, przekraczającym zdecydowanie 90,0%. Tylko w przypadku próbki nr 19 redukcja tego wskaźnika zanieczyszczeń wynosiła 77,5%. Ponadto stwierdzono 5 przypadków przekroczenia pierwszej linii pomocniczej ($+1\sigma$), ale nie występowały one kolejno po sobie i jeden przypadek przekroczenia pierwszej linii pomocniczej (-1σ). Pozostałe oznaczone w ściekach oczyszczonych wartości ChZT_{Cr} oscylowały wokół linii centralnej (CL).

5. Wnioski końcowe

Zebrane i opracowane dane empiryczne dotyczące funkcjonowania oczyszczalni ścieków z reaktorami porcjowymi (SBR) w miejscowości Rzeżuśnia (gmina Gołcza, powiat miechowski) pozwalają na zamknięcie niniejszej pracy niżej przedstawionymi wnioskami:

1. Skład ścieków oczyszczonych, odpływających z oczyszczalni do odbiornika, spełniał praktycznie każdorazowo wymagania zawarte w pozwoleniu wodnoprawnym. W oczyszczonych ściekach (z wyjątkiem pojedynczego przypadku) stężenia zawiesiny ogólnej były zatem mniejsze od $50,0 \text{ mg dm}^{-3}$, wartości BZT_5 od $40,0 \text{ mgO}_2 \text{ dm}^{-3}$, a wartości ChZT_{Cr} od $150,0 \text{ mgO}_2 \text{ dm}^{-3}$. Ponadnormatywne stężenie zawiesiny ogólnej ($240,0 \text{ mg dm}^{-3}$), BZT_5 ($350,0 \text{ mgO}_2 \text{ dm}^{-3}$) i ChZT_{Cr} ($762,0 \text{ mgO}_2 \text{ dm}^{-3}$) w odpływie z oczyszczalni mogło być spowodowane zakłóceniem pracy reaktora SBR podczas fazy sedimentacji lub dekantacji.
2. Wysoką sprawność badanej oczyszczalni potwierdził także poziom redukcji zanieczyszczeń, uzyskiwany w procesie oczyszczania prowadzonym w reaktorze SBR. W rozpatrywanym okresie był on bardzo wysoki i wynosił średnio 94,3% dla zawiesiny ogólnej, 96,2% dla BZT_5 i 92,4% dla ChZT_{Cr} .
3. Opracowane karty kontrolne wskazują, że proces oczyszczania ścieków przebiegał bez zakłóceń, a więc należy go uznać za stabilny. Stwierdzony jednorazowy przypadek niestabilności procesu, jaki zaobserwowano w przypadku eliminacji zawiesiny ogólnej, należy traktować w kategorii incydentu.
4. W świetle przedstawionych wyników, wybór technologii oczyszczania ścieków opartej o reaktory porcjowe typu SBR dla gminy Gołcza należy uznać za trafny z punktu widzenia ochrony lokalnego środowiska. Wyniki te potwierdzają także opinię, że reaktory SBR są szczególnie predysponowane do stosowania na obszarach niezurbanizowanych.

Bibliografia

1. Andraka A., Dzienis L., *Wymagany poziom niezawodności oczyszczalni ścieków w świetle przepisów polskich i europejskich*, Zeszyt Naukowy Politechniki Białostockiej, seria Inżynieria Środowiska, Białystok 2003, 16, s. 24–28.
2. Bawiec A., Pawęska K., Zawalek T., Pulikowski K., *Ocena redukcji zanieczyszczeń w oczyszczalni hydroponicznej*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 1/IV, Kraków 2013, s. 99–111.
3. Bugajski P., Mielenz B., *Ocena pracy oczyszczalni ścieków w Wadowicach przed modernizacją*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 2, Kraków 2008, s. 129–138.
4. Bugajski P., Ślizowski R., *Ocena działania oczyszczalni ścieków typu SBR w Sterkowcu-Zajazie*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 2/2, Kraków 2006, s. 77–86.
5. Górka J., *Ocena stabilności procesu oczyszczania ścieków za pomocą kart kontrolnych*, Nauki Inżynierskie i Technologie, 2015, 3(18), s. 9–19.
6. GUS, *Ochrona Środowiska 2016*, Warszawa 2016, s. 1–501.
7. Heidrich Z., Kalenik M., Podedworna J., Stańko G., *Sanitacja wsi*, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2008.
8. Kaczor G., *Stężenia zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych z wiejskich systemów kanalizacyjnych w województwie małopolskim*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 9, Kraków 2009, s. 97–104.
9. Koń J., Lewandowski J., *Instrukcja obsługi oczyszczalni ścieków w miejscowości Rzeżuśnia*, Przedsiębiorstwo Wdrożeniowo-Wykonawcze „ELTECH” Sp. z o.o., maszynopis, Kraków 2007.
10. Krzanowski S., Wałęga A., *Wykorzystanie teorii niezawodności i statystycznej kontroli jakości do oceny eksploatacyjnej wiejskich oczyszczalni ścieków*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 3/2, Kraków 2006, s. 17–37.
11. Masłoń A., Tomaszek J.A., *Zastosowanie sekwencyjnych reaktorów porcjowych do oczyszczania ścieków przemysłowych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, nr 268, Rzeszów 2011, s. 67–76.
12. Miernik W., *Skuteczność oczyszczania ścieków wiejskich w oczyszczalni z reaktorem o działaniu sekwencyjnym*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 2, Kraków 2007, s. 71–80.
13. Walesiak M., *Przegląd formuł normalizacji wartości zmiennych oraz ich własności w statystycznej analizie wielowymiarowej*, Przegląd Statystyczny, z. 4, 2014, s. 363–372.

Źródła internetowe

14. www.golcza.pl (dostęp: 19.10.2017).