

Justyna Górka

Politechnika Krakowska
e-mail: justynagrka@gmail.com

OCENA STABILNOŚCI PROCESU OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW ZA POMOCĄ KART KONTROLNYCH

RATING OF STABILITY OF WASTEWATER TREATMENT PROCESS BY USING CONTROL CARDS

DOI: 10.15611/nit.2015.3.01

JEL Classification: Q53

Streszczenie: Celem pracy jest ocena stabilności procesu oczyszczania ścieków na przykładzie miejscowości Przegonia Duchowna z województwa małopolskiego. Oczyszczalnia ścieków w tej miejscowości bazuje na biologicznej technologii oczyszczania metodą osadu czynnego. Wyniki do analizy uzyskano z laboratorium Societe Generale de Surveillance (SGS) EKO-PROJEKT w Pszczynie. Badano następujące wskaźniki zanieczyszczeń: BZT₅, ChZT i zawiesinę ogólną. Ocenę stabilności procesu dokonano na podstawie kart kontrolnych położenia (\bar{x} -średnich) i kart kontrolnych sum skumulowanych (CUSUM). Analiza wykazała niestabilne funkcjonowanie oczyszczalni w redukcji danych wskaźników zanieczyszczeń. Ocena efektywności pracy oczyszczalni ścieków metodami statystycznymi z wykorzystaniem kart kontrolnych pozwala na dokładniejsze zbadanie procesów technologicznych oczyszczalni. Dzięki kartom kontrolnym można w łatwy sposób wykryć wszelkiego rodzaju nieprawidłowości oraz szybko je usunąć.

Słowa kluczowe: oczyszczalnia ścieków, stabilność procesu oczyszczania ścieków, karta kontrolna \bar{x} , karta kontrolna CUSUM.

Summary: The aim of the study is to assess the stability of the wastewater treatment process on the example of the Przegonia Duchowna village. A sewage treatment plant in this locality is based on biological treatment technology using activated sludge. The results of the analysis were obtained from SGS ECO-DESIGN laboratory in Pszczyna. The following pollutant indicators were studied: BOD₅, COD and suspended solids. The evaluation process stability was based on control cards \bar{x} and control cards CUSUM. The analysis showed an unstable operation of treatment in reducing data indicators of pollution. The assessment of the efficiency of wastewater treatment plants by statistical methods using control cards allows for a closer examination of wastewater treatment processes. Owing to using control cards it is easy to detect all kinds of irregularities and quickly remove them.

Keywords: wastewater treatment plant, stability of wastewater treatment process, control card \bar{x} , control card CUSUM.

1. Wstęp

Pobór wody na cele komunalne i przemysłowe wiąże się z odprowadzeniem nieczystości w postaci ścieków. Ścieki to wody zużyte, odprowadzane po wykorzystaniu w gospodarstwach domowych czy w procesie technologicznym, łącznie z wodami deszczowymi w przypadku kanalizacji ogólnospławnej oraz wodami infiltracyjnymi w kanalizacji [Heidrich, Witkowski 2005]. W ściekach surowych znajduje się wiele składników toksycznych oraz drobnoustrojów chorobotwórczych, które mogą doprowadzić do biologicznej śmierci zbiornika wodnego, czyli zamierania fauny i flory wodnej. Dlatego też ścieki przed wprowadzeniem do środowiska muszą być pozbawione zanieczyszczeń wpływających negatywnie na ekosystem.

Podstawowymi wskaźnikami zanieczyszczeń, które są wykorzystywane przy charakteryzowaniu ścieków odprowadzanych z gospodarstw domowych, są: BZT₅, ChZT, zawiesina ogólna, azot ogólny i fosfor ogólny [Wiśniewska-Kadzaj, Janowski, Sosnowski 2012]. Dopuszczalne wartości zanieczyszczeń w zależności od równoważnej liczby mieszkańców (RLM) określa 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, które opisuje wymagania dotyczące dopuszczalnych wielkości ładunków, jakie mogą dopływać i odpływać z oczyszczalni (Dz. U. 2009 nr 215, poz. 1664). W tabeli 1 przedstawiono obowiązujące wartości wskaźników zanieczyszczeń po procesie oczyszczania.

Aby uzyskać pewność, że szkodliwe substancje zawarte w ściekach zostały w odpowiednim stopniu wyeleminowane, należy wykonać analizę ścieków, która dostarcza informację o odpowiedniej pracy oczyszczalni i pozwala określić stopień re-

Tabela 1. Najwyższe dopuszczalne wartości wskaźników po procesie oczyszczania

Table 1. The maximum value of indicators after the treatment process

Nazwa wskaźnika	Jednostka	Najwyższe dopuszczalne wartości wskaźników lub minimalny procent redukcji zanieczyszczeń przy RLM	
		poniżej 2000	od 2000 do 9999
Biochemiczne zapotrzebowanie na tlen (BZT ₅)	[mgO ₂ ·dm ⁻³]	40	25 lub 70 – 90%
Chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT _{Cr})	[mgO ₂ ·dm ⁻³]	150	125 lub 75%
Zawiesina ogólna	[mg·dm ⁻³]	50	35 lub 90%
Azot ogólny	[mgN·dm ⁻³]	30	15
Fosfor ogólny	[mgP·dm ⁻³]	5	2

Źródło: Dz. U. 2009 nr 215, poz. 1664.

Source: Journal of Laws from 2009, no. 215, item 1664.

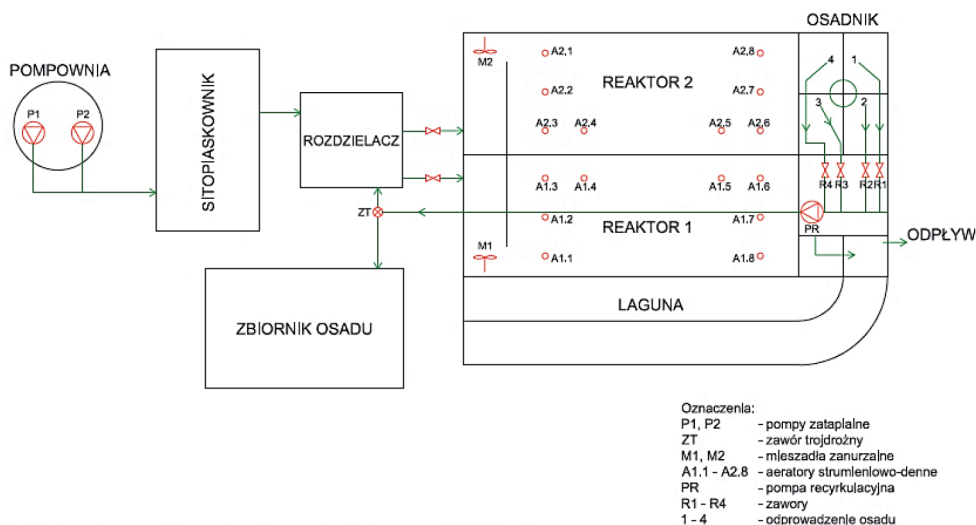
dukcji zanieczyszczeń podczas oczyszczania. W analizie procesu oczyszczania ścieków można posłużyć się kartami kontrolnymi, służącymi do identyfikacji niekorzystnych oddziaływań wpływających na stabilność procesu oczyszczania ścieków. Określają one granice procesu, w których powinien on się zawierać, gdy proces zachodzi bez zakłóceń. Jeśli zostanie zauważone przekroczenie granicy kontrolnej, to oznacza to, że podczas procesu oczyszczania następuje zakłócenie pracy, spowodowane różnego rodzaju czynnikami. Ustalając kartę kontrolną typowej pracy oczyszczalni ścieków, można w łatwy sposób określić zakłócenia oraz szybko je wyeliminować.

Celem pracy jest ocena stabilności procesu oczyszczania ścieków na przykładzie miejscowości Przeginia Duchowna za pomocą kart kontrolnych \bar{x} -średnich i kart kontrolnych CUSUM.

2. Charakterystyka oczyszczalni w Przegini Duchownej

Do oczyszczalni dopływają ścieki bytowe oraz ścieki z małych zakładów rzemieślniczych, np. ubojni i przetwórni mięsa, nieczystości z terenów nieskanalizowanych oraz niewielkiej ilości wody deszczowe i infiltracyjne.

Oczyszczalnia jest zaprojektowana na przepustowość średnią dobową $Q_{\text{dśr}} = 450 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, maksymalną dobową $Q_{\text{dmax}} = 540 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ i równoważną liczbę miesz-



* P1, P2 – water pump, ZT – valve, M1, M2 – stirrers, A1.1 – A2.8 – aerators, PR – pump, R1 – R4 – valves, 1 – 4 – discharge of sewage sludge.

Rys. 1. Schemat przepływu ścieków w oczyszczalni ścieków w Przegini Duchownej

Fig. 1. Flow diagram of sewage in Przeginia Duchowna treatment plant*

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

kańców RLM = 3392. Obecnie do oczyszczalni w okresie bezdeszczowym dopływają ścieki, których ilość dochodzi do około 450-500 m³·d⁻¹ w czasie pogody bezdeszczowej, a w okresie deszczowym – do około 1000-1200 m³·d⁻¹. W skład oczyszczalni wchodzi takie urządzenia, jak (rys. 1): studnia zbiorcza wyposażona w kratę i pompy, sitopiaskownik firmy Pomiltek, dwa reaktory przepływowe z osadem czynnym, osadnik wtórny pionowy oraz stacja zagęszczania i odwadniania osadu Pomiltek. Dodatkowo w projekcie uwzględniono lagunę hydroponiczną, która nigdy nie została wykonana.

3. Metodyka badań

Materiał źródłowy do badań stanowią analizy fizykochemiczne ścieków surowych oraz oczyszczonych dla takich wskaźników zanieczyszczeń, jak: BZT₅, ChZT i zawiesina ogólna, wykonane przez laboratorium SGS EKO-PROJEKT w Pszczynie. BZT₅ zostało określone metodą elektrochemiczną, ChZT – miareczkową, natomiast zawiesina ogólna została określona metodą grawimetryczną. Analizy obejmowały 17 próbek, które pobierane były raz w miesiącu w latach 2010-2011.

Określając stabilność procesu oczyszczania ścieków, posłużono się kartami kontrolnymi (\bar{x} -średnimi) i kartami kontrolnymi sum kontrolowanych (CUSUM). Tworząc kartę kontrolną, najpierw należy zbadać normalność rozkładu danej zmiennej (tab. 2). Prawdopodobieństwo tego, że dana zmienna losowa o tym rozkładzie naruszy trzykrotną wartość odchylenia standardowego, oddalając się od wartości średniej, wynosi 0,0026 i wynika z tego, że w tym przedziale powinno zawierać się 99,73% wartości średnich z próby [Wałęga 2009]. Zamierzeniem kart kontrolnych jest więc określenie granic tak, aby były dokładnie zbliżone do przedziału określonego wzorem:

$$\mu \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{n}},$$

gdzie: μ – wartość średnia w populacji generalnej,

σ – odchylenie standardowe w populacji generalnej,

n – liczba danych w próbie.

Sporządzając kartę kontrolną \bar{x} , określono średnią arytmetyczną stężenia analizowanego wskaźnika zanieczyszczeń oraz granic kontrolnych – górnej i dolnej. Granice te zostały przyjęte jako ± 3 odchylenia standardowe danego procesu. Odchylenie standardowe zostało estymowane jako iloraz wartości σ/\sqrt{n} . Określono także pośrednie granice kontrolne $\pm 1\sigma$ i $\pm 2\sigma$, które jeszcze dokładniej pomogły ustalić okresy rozregulowań. W okresie zaburzeń procesu pomogły następujące kryteria [Andraka, Dzienis 2003]:

- jeden punkt poza granicami kontrolnymi,
- dwa z trzech kolejnych punktów poza liniami pomocniczymi $\pm 2\sigma$,

- cztery z pięciu kolejnych punktów poza liniami pomocniczymi $\pm 1\sigma$,
- osiem kolejnych punktów po jednej stronie linii centralnej.

Z kolei karta kontrolna CUSUM określana jest przez sumowanie odchyleń od wartości średniej badanej próbki:

$$V_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}).$$

Tabela 2. Wyniki testu normalności Shapiro-Wilka dla analizowanych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych w miejscowości Przegonia Duchowna

Table 2. The results of Shapiro-Wilk normality test for analysed indicators of pollutants in the treated sewage for Przegonia Duchowna village*

Wskaźnik zanieczyszczenia	Typ rozkładu teoretycznego	Wartość testu Shapiro-Wilka
BZT ₅	lognormalny	0,78
ChZT	normalny	0,82
Zawiesina ogólna	normalny	0,92

* BZT₅ – BOD₅, ChZT – COD, zawiesina ogólna – suspended solids, lognormalny – lognormal distribution, normalny – normal distribution, wartość testu Shapiro-Wilka – value of the Shapiro-Wilk test.

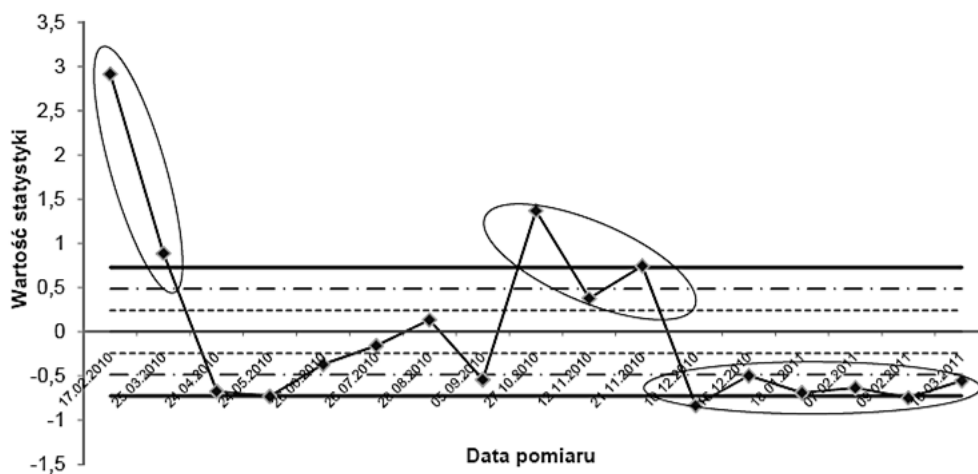
Źródło: opracowanie własne.
Source: own elaboration.

Kartę CUSUM wykorzystuje się przy ocenie trendu procesu i jego poziomu. Jeśli poziom procesu jest prawidłowy, to wartości na wykresie zbliżają się do wartości 0. Jeżeli trend jest rosnący, to poziom procesu wzrasta i odwrotnie – malejący mówi o obniżeniu poziomu procesu [Wałęga, Krzanowski 2006].

4. Wyniki

Karty kontrolne, jak już wcześniej wspomniano, służą do przeprowadzenia analizy procesu i wykrywania nieprawidłowości w jego przebiegu. Wykorzystanie kart kontrolnych podczas funkcjonowania oczyszczalni przedstawiono na przykładzie BZT₅, ChZT oraz zawiesiny ogólnej. Przed wykonaniem kart kontrolnych poszczególne wyniki analiz podległy procesowi standaryzacji, następnie sporządzono karty kontrolne x-średnie oraz CUSUM.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono kartę x oraz kartę CUSUM wartości BZT₅ w ściekach oczyszczonych. Proces zmniejszania BZT₅ nie przebiegał stabilnie. Pierwszy i drugi punkt wskazuje na znaczne przekroczenie granic kontrolnych związanych z podwyższoną wartością BZT₅ w odpływie. Podwyższony poziom wskaźnika BZT₅ spowodowany jest wysoką wartością w dopływie. Przypadki te wystąpiły w lutym oraz w marcu 2010 r. Okres ten, jak na zimę, charakteryzował się dodatnią

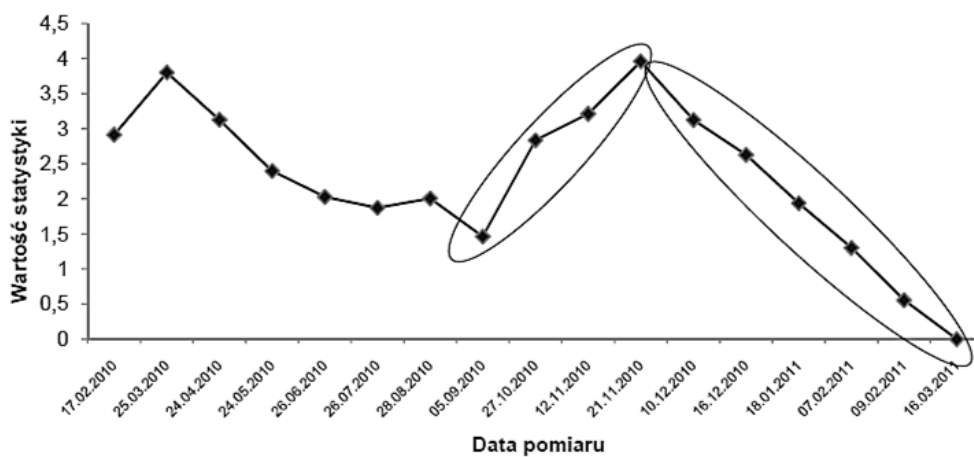


* Wartość statystyki – value of the statistic, data pomiaru – date.

Rys. 2. Karta kontrolna x wartości BZT₅ w ściekach oczyszczonych
Fig. 2. The control card x for BOD₅ in the treated sewage*

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.



* Wartość statystyki – value of the statistic, data pomiaru – date.

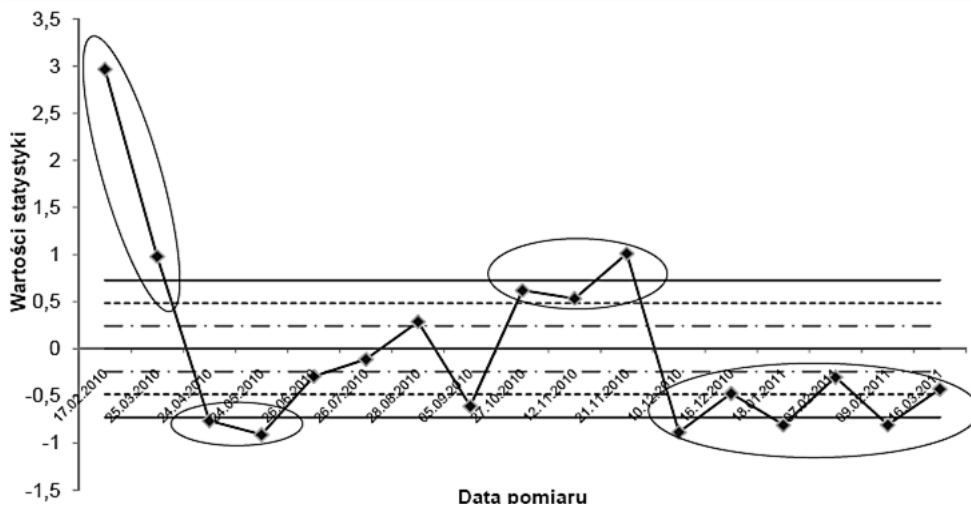
Rys. 3. Karta kontrolna CUSUM wartości BZT₅ w ściekach oczyszczonych
Fig. 3. The control card CUSUM for BOD₅ in the treated sewage*

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

temperaturą. Wskutek tego nastąpiły roztopy, które podwyższyły wartości BZT_5 w ściekach surowych. W tym okresie wartości BZT_5 w dopływie wyniosły $4670 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (luty) oraz $2344 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (marzec). Wysoka wartość BZT_5 mogła spowodować przeciążenie reaktora. W następstwie tego zdarzenia w ściekach oczyszczonych wartość BZT_5 wyniosła odpowiednio $334 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i $162 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Następny okres świadczący o rozregulowaniu procesu wystąpił w październiku i w listopadzie 2010 r. Poziom BZT_5 ścieków oczyszczonych wynosił w październiku $203 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, a w listopadzie – kolejno $119 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i $150 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. W tym czasie zaobserwowano niską skuteczność zmniejszania BZT_5 , co świadczy o znacznym zaburzeniu procesu oczyszczania. Wysoki poziom wartości tego wskaźnika w odpływie jest spowodowany niekontrolowanym dopływem do oczyszczalni. W następstwie tego bakterie zawarte w osadzie czynnym potrzebowały około dwóch miesięcy na regenerację i przez ten czas reaktor nie mógł pracować prawidłowo. To rozregulowanie widać także na karcie CUSUM. Można zauważyć znaczny wzrost trendu procesu, świadczący o wzroście poziomu zanieczyszczenia na odpływie z oczyszczalni. Kolejną nieprawidłowość funkcjonowania oczyszczalni odnotowano od grudnia 2010 r. do marca 2011 r. Jak zaobserwowano, poszczególne punkty procesu znajdują się w granicy dolnej linii procesu. Także na karcie CUSUM w tym czasie zauważono obniżenie trendu procesu związanego ze zmniejszeniem koncentracji zanieczyszczeń. Niezależnie od wartości BZT_5 na dopływie, poziom tego wskaźnika jest niższy od wartości wcześniejszych, lecz mimo to w pewnych okresach jest większy od dopuszczalnego zawartego w pozwoleniu wodno-prawnym. Prawdopodobnie efektywność oczyszczania została poprawiona dzięki zainstalowaniu dodatkowych dmuchaw w komorze osadu czynnego, co zwiększyło ilość doprowadzanego tlenu, zwiększając wzrost bakterii tlenowych mineralizujących zanieczyszczenia organiczne.

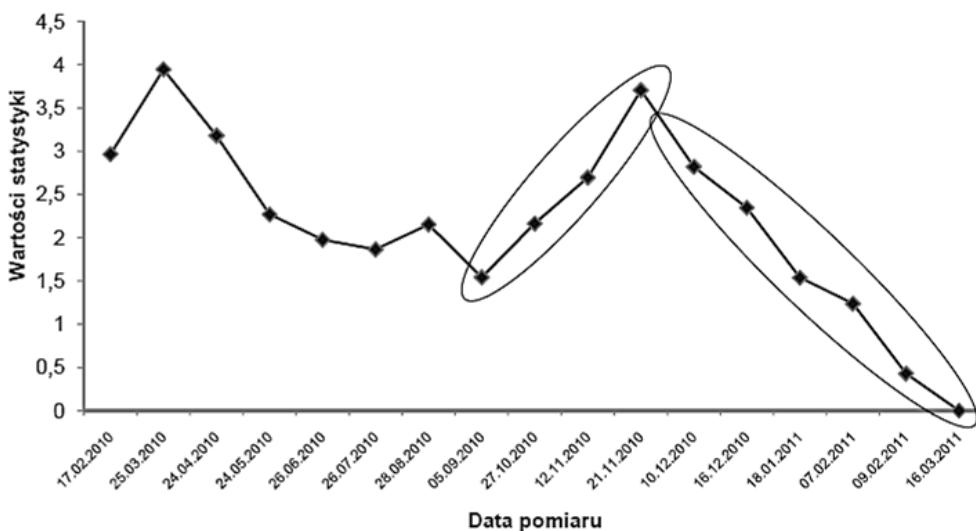
Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono przebieg karty x i CUSUM dla wartości ChZT. Na karcie x , tak jak w przypadku BZT_5 , pierwsze dwa punkty występują powyżej górnej granicy kontrolnej, czyli w lutym i w marcu 2010 r. wystąpiły kolejno dwa wysokie poziomy ChZT, wynoszące $960 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (luty) oraz $501 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (marzec). Wysoka wartość tego wskaźnika, tak jak w przypadku BZT_5 , spowodowana jest znaczną zawartością tego wskaźnika w ściekach surowych. Drugi okres niestabilności pracy oczyszczalni zauważono w kwietniu i maju 2010 r. Punkty na karcie kontrolnej znajdują się poniżej dolnej granicy kontrolnej. Niższe wartości tego wskaźnika na odpływie z oczyszczalni spowodowane są być może zmniejszeniem obciążenia reaktora substancją organiczną zawartą w dopływie. Wskutek tego wartość ChZT w ściekach oczyszczonych wyniosła w kwietniu $98 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i $64 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Pozostałe zaburzenia procesu, tak jak w przypadku BZT_5 , obserwowane są od października 2010 r. do marca 2011 r. Identycznie jak poprzednio, przekroczenie górnej granicy (październik, listopad) spowodowane jest przeciążeniem reaktora nadmiernym ładunkiem zanieczyszczeń oczyszczalni. Natomiast niestabilność, trwająca od grudnia do marca, świadczy raczej o poprawnej pracy oczyszczalni spowodowanej wymianą dmuchaw.



* Wartość statystyki – value of the statistic, data pomiaru – date.

Rys. 4. Karta kontrolna x wartości ChZT w ściekach oczyszczonych
Fig. 4. The control card x for COD in the treated sewage*

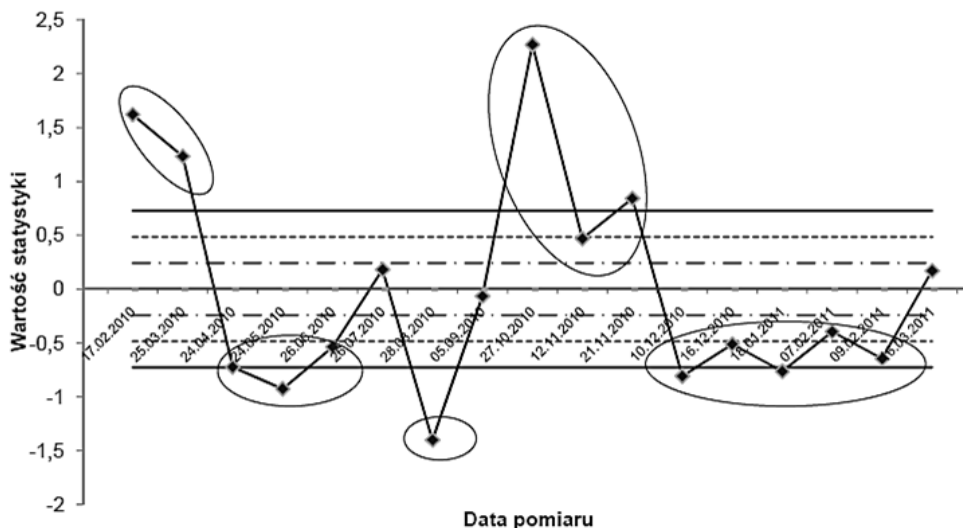
Źródło: opracowanie własne.
 Source: own elaboration.



* Wartość statystyki – value of the statistic, data pomiaru – date.

Rys. 5. Karta kontrolna CUSUM wartości ChZT w ściekach oczyszczonych
Fig. 5. The control card CUSUM for COD in the treated sewage*

Źródło: opracowanie własne.
 Source: own elaboration.



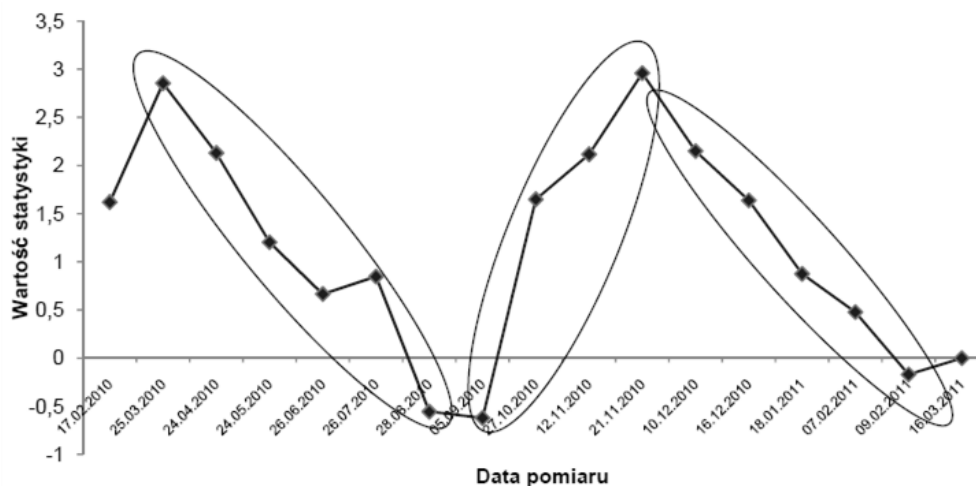
* Wartość statystyki – value of the statistic, data pomiaru – date.

Rys. 6. Karta kontrolna x wartości zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych

Fig. 6. The control card x for suspended solids in the treated sewage

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.



* Wartość statystyki – value of the statistic, data pomiaru – date.

Rys. 7. Karta kontrolna CUSUM wartości zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych

Fig. 7. The control card CUSUM for suspended solids in treated sewage

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

Analizując proces usuwania zawiesiny ogólnej (rys. 6 i 7), można zauważyć podobne mechanizmy funkcjonowania oczyszczalni jak w przypadku BZT₅ i ChZT. W lutym i w marcu 2010 r. odnotowano przekroczenie górnej granicy kontrolnej wywołane tymi samymi przyczynami, jak we wcześniej wymienionych przypadkach. Stężenie zawiesiny w ściekach oczyszczonych w lutym wyniosło 109 mg·dm⁻³ oraz w marcu – 95,3 mg·dm⁻³. Następne charakterystyczne punkty można zauważyć w kwietniu, maju i czerwcu 2010 r. Wartości na karcie kontrolnej przekraczają dolną linię kontrolną i taka sytuacja jest spowodowana niskim stężeniem zawiesiny ogólnej w dopływie (w kwietniu stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach surowych wyniosło 85 mg·dm⁻³, w maju – 76 mg·dm⁻³, w czerwcu – 146 mg·dm⁻³). W rezultacie wartość poziomu zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych w kwietniu równa się 26 mg·dm⁻³, w maju – 18,8 mg·dm⁻³, w czerwcu – 32,6 mg·dm⁻³. Kolejny punkt świadczący o rozregulowaniu procesu to przekroczenie dolnej granicy kontrolnej w sierpniu 2010 r. To zakłócenie jest skutkiem niskiego stężenia zawiesiny ogólnej na dopływie (45 mg·dm⁻³). Wskutek tego wartość zawiesiny w ściekach oczyszczonych w sierpniu wyniosła 2 mg·dm⁻³.

Warto też zwrócić uwagę na kartę CUSUM, w której można zauważyć spadek i wzrost trendu procesu. Tendencja zniżkowa świadczy o spadku poziomu zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych, natomiast podwyższony trend zanieczyszczeń – o pogorszeniu pracy oczyszczalni. Od października 2010 r. do marca 2011 r. widoczny jest nagły wzrost (październik, listopad) spowodowany tym samymi czynnikami jak w przypadku BZT₅ i ChZT. W punktach kolejnych jest zauważalne obniżenie (grudzień, styczeń, luty, marzec) stężenia zawiesiny ogólnej w ściekach oczyszczonych. To rozregulowanie procesu, tak jak w przypadku procesu usuwania BZT₅ i ChZT, spowodowane jest wymianą dmuchaw w reaktorze biologicznym.

5. Dyskusja wyników

Karty kontrolne wykorzystywane są w różnych dziedzinach, np. w medycynie [Westgard i in. 1981], ekonomii [Saniga 2012], przemyśle i wielu innych branżach. Służą one przede wszystkim do oceny jakości produktów i procesów, np. oczyszczalni ścieków [Berthouex 1989]. Analiza stabilności z użyciem kart kontrolnych pozwala na dokładniejsze zbadanie procesów technologicznych. Dzięki kartom kontrolnym można w łatwy sposób wykryć wszelkiego rodzaju nieprawidłowości oraz wykryć ich źródło pochodzenia. Tak jak w przykładzie analizowanej oczyszczalni, posiadając podstawowe informacje oraz wyniki analiz jakości ścieków oczyszczonych, można poznać okresy lepszej i gorszej pracy oczyszczalni, czyli dokonać oceny jakości procesu fizyczno-chemicznego.

W przedstawionym artykule analiza wykazała niestabilne funkcjonowanie oczyszczalni w obniżaniu BZT₅, ChZT oraz zawiesiny ogólnej. W pokazanych kartach kontrolnych w niektórych okresach widać poprawę procesu oczyszczania, ale mimo to wartości analizowanych wskaźników zanieczyszczeń w tym okresie są

większe niż poziom dopuszczalny. Powodem tego stanu rzeczy jest przyjęcie w projekcie oczyszczalni zbyt niskich stężeń zanieczyszczeń, co skutkowało przeciążeniem oczyszczalni ładunkami zanieczyszczeń, które negatywnie wpłynęły na stabilność procesu oczyszczania. Ponadto w projekcie technicznym reaktor biologiczny miał funkcjonować wspólnie z laguną hydroponiczną, która miała być czynnikiem stabilizującym jakość ścieków oczyszczonych. Jednak ze względu na niewłaściwe rozwiązania konstrukcyjne urządzenie nie osiągnęło sprawności eksploatacyjnej, a następnie zostało całkowicie wyłączone z ruchu. W celu poprawy stabilności procesu oczyszczania zaleca się modernizację obiektu.

Literatura

- Andraka A., Dzieńcis L., 2003, *Wymagany poziom niezawodności oczyszczalni ścieków w świetle przepisów polskich i europejskich*, Zeszyt Naukowy Politechniki Białostockiej, ser. Inżynieria Środowiska, Białystok, s. 24-28.
- Berthouex P., 1989, *Constructing control charts for wastewater treatment plant operation*, Research Journal of the Water Pollution Control Federation, no. 9/10, s. 1534-1551.
- Heidrich Z., Witkowski A., 2005, *Urządzenia do oczyszczania ścieków*, Seidel-Przywecki, Warszawa.
- 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. 2006 nr 137, poz. 984.
- Saniga E., 2012, *Economical statistical control-chart designs with an application to X and R charts*, Technometrics, s. 313-320.
- Wałęga A., 2009, *Ocena funkcjonowania oczyszczalni ścieków metodami statystycznymi*, Forum Eksploatatora, nr 5, s. 30-34.
- Wałęga A., Krzanowski S., 2006, *Wykorzystanie teorii niezawodności i statystycznej kontroli jakości do oceny eksploatacyjnej oczyszczalni ścieków*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 3/2/2006, Polska Akademia Nauk, Kraków, s. 17-37.
- Westgard J.O., Barry P., Hunt M., 1981, *A multi-rule Shewart chart for quality control in clinical chemistry*, Clin. Chem., no. 27/3, s. 493-501.
- Wiśniewska-Kadzaján B., Jankowski K., Sosnowski J., 2012, *Skuteczność oczyszczania ścieków komunalnych w wybranych oczyszczalniach powiatu siedleckiego*, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, nr 52, s. 32-41.