Bartłomiej Biskup
Adam Masłoń
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

ANALIZA EFEKTYWNOŚCI OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW TYPU SBR W PRUCHNIKU

Streszczenie

W pracy dokonano oceny efektywności mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków typu SBR BIOVAC o przepustowości 630 m^3/d, zlokalizowanej w miejscowości Pruchnik (woj. podkarpackie), położonej na Wyżynie Rzeszowskiej, w paśmie falistych wzgórz nazywanych Pogórzem Dynowskim. Obiekt wybudowany został w 1998 r., natomiast w roku 2009 poddany został rozbudowie. Modernizacja zakończyła się w maju 2011 r. Analizę funkcjonowania oczyszczalni przeprowadzono na podstawie wyników badań udostępnionych przez Urząd Miejski w Pruchniku, dotyczy ona roku 2016. Analizie poddane zostały dobowe ilości ścieków oraz ich jakość na podstawie 3 wskaźników: BZT_5, ChZT oraz zawiesiny ogólnej. Średnia, rzeczywista skuteczność zmniejszania wartości tychże parametrów wynosiła odpowiednio 98,8%, 94% i 98,1%. Określone równocześnie współczynniki niezawodności oraz wskaźniki zawodności technologicznej oraz technologicznej sprawności potwierdzają niezawodne i wysokosprawne funkcjonowanie oczyszczalni ścieków w Pruchniku.

Słowa kluczowe: oczyszczanie ścieków, technologia SBR, skuteczność zmniejszania zanieczyszczeń

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF SBR TYPE WASTEWATER TREATMENT PLANT IN PRUCHNIK

Summary

In this paper evaluation of effectiveness mechanico-biological wastewater treatment plant SBR BIOVAC type was made. This plant type is characterised by 630 m^3/d throughput. It is located in Pruchnik (Podkarpackie Voivodeship) on Rzeszów Highland, wavy mountain range called Dynów Foothills. Facility was erected in year 1998, while in 2009 it underwent expansion. Modernization has ended in 2011. Analyse of functionality of the plant was conducted based on results of research shared by city hall in Pruchnik. The analyse concerns year 2016, in which daily quantities of wastewater were measured for 3 indicators: biological oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD) and suspended matter. Average, real value of effectiveness of reducing the levels of those parameters was: 98,8%, 94% and 98,1%. Determined at the same time reliability ratios, technological failure ratios and technological dispersion confirm reliable and high performance functionality of sewage treatment plant in Pruchnik.

Keywords: wastewater treatment, sequencing batch reactor, effectivenes of wastewater pollutants reduction

1. Wprowadzenie

Technologia osadu czynnego, która od wielu lat stosowana jest w systemach biologicznego oczyszczania ścieków, pozwala na skuteczną eliminację zanieczyszczeń, w tym związków biogennych. Zazwyczaj prowadzona jest w reaktorach przepływowych [2]. Wysoka wydajność oraz walory ekonomiczne tej metody sprawiły, że jest ona powszechnie wykorzystywana [9]. Konkurencyjnym rozwiązaniem dla oczyszczania ścieków w układach przepływowych są sekwencyjne reaktory porcjowe SBR, które charakteryzują się większą elastycznością i prostotą działania, polegającą na możliwości zmiany parametrów układu, w zależności od ilości oraz jakości dopływających ścieków [3].

Obiekty pracujące w technologii SBR, które zostały odpowiednio zaprojektowane i są właściwie eksploatowane, uzyskują bardzo wysoką sprawność oczyszczania ścieków, która sięga nawet 99% w przypadku eliminacji węgla organicznego oraz 95% w przypadku substancji biogennych, możliwe jest również całkowite usunięcie azotu amonowego podczas nitryfikacji. Procesy zintegrowanego usuwania C, N oraz P prowadzone są z równie wysoką efektywnością, która przeważnie przekracza 90% [10]. Dzięki uzyskiwaniu wymaganych sprawności eliminacji zanieczyszczeń, technologia sekwencyjnych reaktorów porcjowych stosowana jest z powodzeniem w przypadku oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych czy przemysłowych [8].

Celem pracy jest ocena efektywności oczyszczalni ścieków komunalnych w miejscowości Pruchnik.

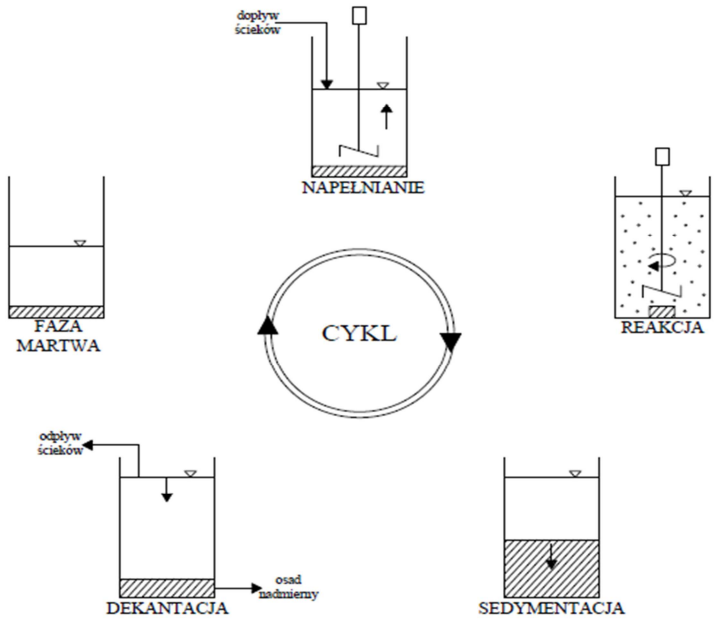
2. Technologia SBR w oczyszczaniu ścieków

2.1. Charakterystyka technologii SBR

Technologia oczyszczania ścieków w sekwencyjnych reaktorach porcjowych SBR (ang. *Sequencing Batch Reactor*) wykorzystuje procesy biologiczne osadu czynnego i sedymentacji zanieczyszczeń, przy czym ich przebieg oraz rozdzielenie osadu od ścieków zachodzi w jednym zbiorniku (tzw. technologia jednozbiornikowa). Po zakończeniu procesu ścieki odprowadzone są z komory w sposób porcjowy [4, 5]. Reaktory porcjowe z racji swojego periodycznego działania zaklasyfikować można do systemów osadu czynnego, działających okresowo [10].

Określeniami, które charakteryzują proces technologii SBR, są: cykl oraz jego fazy. Przedział czasowy określany jako pełny cykl, zaczyna się w momencie doprowadzenia ścieków do reaktora i kończy się kolejnym jego napełnianiem. Fazy, które tworzą cykl, są następującymi kolejno etapami technologii SBR. Najprostszy cykl tworzący system porcjowy składa się z kolejnych faz: napełniania, reakcji, sedymentacji, dekantacji oraz oczekiwania, która określana jest również jako faza spoczynku lub faza martwa [6]. Pełen cykl procesu SBR, w uproszczeniu zdefiniować można zatem jako sumę następujących po sobie pięciu faz [12], (ryc. 1).

Ryc. 1. Przykład kolejności faz w cyklu pracy reaktora SBR



Źródło: Opracowanie własne

2.2. Sekwencyjne reaktory porcjowe w oczyszczaniu ścieków komunalnych

Oczyszczalnie ścieków bytowo-gospodarczych z sekwencyjnymi reaktorami porcjowymi cechują się kompaktową i zwartą konstrukcją, której wymiary zazwyczaj są niewielkie. Obiekty z reaktorami porcjowymi typu SBR mogą być użytkowane w różnych konfiguracjach technologicznych. Zaprojektowany układ technologiczny wykorzystujący reaktor porcjowy zblokowany z innymi obiektami technologicznymi, pozwala na odpowiednie wykorzystanie terenu. Mechaniczne oczyszczanie ścieków realizowane może być poprzez zastosowanie krat, piaskownika, sitopiaskownika, sita lub mikrosita. Niejednokrotnie spotyka się rozwiązania, w których nie stosuje się osadnika wstępnego. Odprowadzanie ścieków oczyszczonych z reaktora następuje przeważnie bezpośrednio do odbiornika. Istnieje również możliwość ich retencjonowania w napowietrzanych stawach ściekowych tzw. stawach doczyszczających. Ścieki zatrzymywane mogą być również w komorach retencyjno-regulacyjnych. Retencjonowanie oraz doczyszczenie odpływu z reaktora porcjowego możliwe jest również poprzez zastosowanie filtrów piaskowych i roślinnych [10].

Istotnym elementem poprawnej pracy reaktora jest odpowiedni cyklogram, który można dostosowywać do zmiennych warunków obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń tak, aby podczas trwania każdego cyklu obciążenie reaktora było stałe. Czas pracy reaktora SBR w przypadku oczyszczalni ścieków komunalnych trwa zazwyczaj od 6 do 8 godzin, przy czym może być on również skrócony do 3–4 godzin lub wydłu-

żony nawet do 12 godzin. W okresie zmniejszonych lub zwiększonych ilości ścieków dopływających na oczyszczalnie, istnieje możliwość odłączenia lub włączenia do układu poszczególnych reaktorów porcjowych. Każdy reaktor może funkcjonować niezależnie od pozostałych [10].

W związku z brakiem konieczności eliminacji ze ścieków związków azotu i fosforu, na terenach wiejskich i w małych miasteczkach słuszne jest stosowanie mechaniczno-biologicznych obiektów, wykorzystujących sekwencyjne reaktory porcjowe. W latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku w południowo-wschodniej Polsce istniało kilkadziesiąt takich oczyszczalni, a w samym województwie podkarpackim znajdowało się ich prawie 40. Większość była podobna pod względem zastosowanego układu technologicznego [9]. W ostatnich latach zauważa się, że wiele oczyszczalni ścieków komunalnych, działających w systemie przepływowym, przekształca swoje obiekty tak, aby mogły one pracować w sposób okresowy.

Wcześniej stosowane przepływowe reaktory biologiczne oraz osadniki zostały w łatwy sposób przekształcone w reaktory porcjowe lub zbiorniki retencyjne. Technologia sekwencyjnych reaktorów porcjowych doskonale sprawdza się w oczyszczalniach ścieków w rejonach, w których występuje wzmożony ruch turystyczny i zachodzi potrzeba szybkiego dostosowania parametrów systemu do występujących sezonowych wahań w ilości dopływających ścieków. Oczyszczalnie pracujące w technologii SBR od wielu lat stosowane są do oczyszczania ścieków na obszarach turystycznych w obiektach, takich jak: schroniska, ośrodki wypoczynkowe, pensjonaty, hotele czy leśniczówki [7].

3. Charakterystyka oczyszczalni ścieków w Pruchniku

Mechaniczno–biologiczna oczyszczalnia ścieków w Pruchniku (woj. podkarpackie) o średniej przepustowości 630 m^3/d i RLM 5222 jest obiektem pracującym w technologii SBR BIOVAC (fot. 1). Zlokalizowana jest na działce nr 369/9. Bezpośrednim odbiornikiem oczyszczonych ścieków jest rzeka Mleczka Wschodnia (19 km + 100).

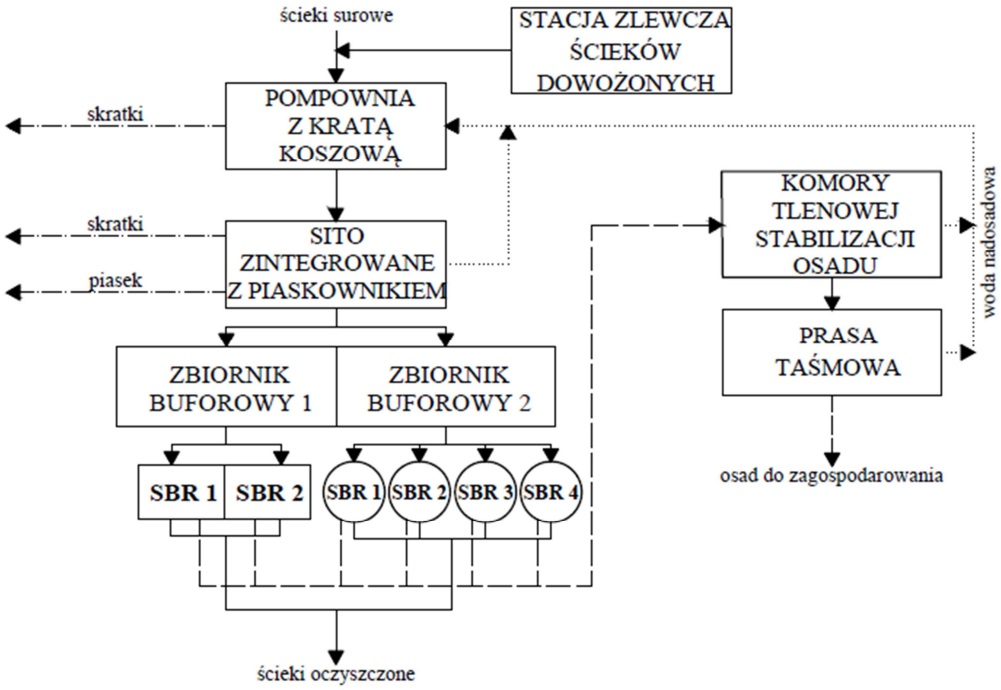
Fot. 1. Mechaniczno–biologiczna oczyszczalnia ścieków w Pruchniku
Źródło: Materiały udostępnione przez Urząd Miasta w Pruchniku

Ścieki z terenu Pruchnika dopływają do oczyszczalni dwoma kolektorami grawitacyjnymi o średnicy 200 i 315 mm, wykonanymi z PCV. Trafiają do pompowni, w której na wlocie zainstalowano kratę koszową rzadką o wymiarach 550 x 550 x 550 mm i prześwicie 50 mm. Ścieki dowożone taborem asenizacyjnym opróżniane są w stacji zlewczej typu STZ-201S produkcji ENCO Gliwice, skąd trafiają do pompowni głównej. Mieszanina ścieków dopływających i dowożonych za pomocą dwóch pomp zatapialnych tłoczona jest na sito szczelinowe, zintegrowane wraz z piaskownikiem poziomym typu ZSPZO ENCO Gliwice. Wypłukane i odsączone skratki zatrzymane na sicie oraz odseparowany w piaskowniku piasek trafiają do ustawionych w pomieszczeniu pojemników. Skratki poddawane są procesowi higienizacji za pomocą wapna chlorowanego.

Pojemniki okresowo wywożone są na składowisko odpadów komunalnych. Po mechanicznym oczyszczeniu ścieki kierowane są do dwóch zbiorników retencyjnych, połączonych hydraulicznym króćcem o średnicy 315 mm, a następnie do reaktorów SBR: dwóch pierwotnie istniejących, prostopadłościennych, żelbetowych zbiorników o pojemności 165 m^3 oraz czterech zbiorników z tworzywa sztucznego o pojemności 105 m^3 każdy, oddanych do użytku po modernizacji zakończonej w 2010 r. Oczyszczone ścieki odpływają kanałem grawitacyjnym o średnicy 315 mm poprzez wylot wykonany w formie trapezowego, kaskadowego koryta betonowego o długości 3,0 m.

Ciąg technologiczny gospodarki osadami nadmiernymi, które powstają w trakcie procesów biologicznego oczyszczania ścieków tworzą: 3 komory tlenowej stabilizacji (V_1 = 165 m^3, V_2, V_3 = 105 m^3) wyposażone w 24 dyfuzory dyskowe napowietrzające ENVICON każda, automatyczna prasa taśmowa typu NP08CK firmy TEKNOFANGHI z zespołem dozującym polielektrolit, z której za pomocą przenośnika ślimakowego osady transportowane są do umieszczonej pod wiatą przyczepy, która okresowo wywożona jest na składowisko odpadów komunalnych. Odcieki z procesów przeróbki osadów zawracane są przed pompownię i poddawane powtórnym procesom oczyszczania (ryc. 2, fot. 2).

Ryc. 2. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków komunalnych w Pruchniku



Źródło: Opracowanie własne

Oczyszczalnia ścieków w Pruchniku posiada pozwolenie wodnoprawne wydane przez Starostę Jarosławskiego, na wprowadzanie ścieków do odbiornika, których wskaźniki nie mogą przekroczyć następujących wartości: 12,50 mg O_2/dm^3 (BZT_5), 92 mg O_2/dm^3 (ChZT) i 35 mg/dm^3 (zawiesiny ogólne).

Fot. 2. Sekwencyjne reaktory porcjowe częściowo zabudowane w hali reaktorów
Źródło: Materiały informacyjne Bionor Sp. z o.o. – http://www.bionor.pl (dostęp: 8.05.2017)

4. Metodyka badań

Analizę funkcjonowania oczyszczalni przeprowadzono na podstawie wyników badań z roku 2016 udostępnionych przez Urząd Miejski w Pruchniku. Analizie poddane zostały dobowe ilości ścieków oraz ich jakość na podstawie 3 wskaźników zanieczyszczeń: BZT_5, ChZT oraz zawiesina ogólna. Wyniki poddano analizie statystycznej. Określono wartości: minimalne, maksymalne, średnie, medianę, rozstęp, odchylenie standardowe i współczynnik zmienności. Niezawodność oczyszczalni określono na podstawie wyznaczonych wartości współczynnika niezawodności *WN* [10] i wskaźników zawodności technologicznej *q* [11] oraz technologicznej sprawności P_{sw} [13] zgodnie ze wzorami:

$$WN = X_{śr}/X_{dop} \quad (1)$$

gdzie:
$X_{śr}$ – średnia wartość w odpływie z oczyszczalni,
X_{dop} – wartość dopuszczalna;

$$q = S_{n,od}/S_{n,dop} \quad (2)$$

gdzie:
$S_{n,od}$ – nadmierne stężenie zanieczyszczeń w odpływie,
$S_{n,dop}$ – nadmierne stężenie zanieczyszczeń, które powinno być usunięte;

$$P_{sw} = n/N+1 \quad (3)$$

5. Analiza pracy oczyszczalni ścieków

5.1. Analiza obciążenia hydraulicznego

Ścieki, które dopływają do oczyszczalni w Pruchniku, charakteryzują się zmiennością w odniesieniu do przepływów dobowych. W 2016 r. średnia, rzeczywista wartość przepływów wyniosła 595 m^3/d, co jest wartością zbliżoną do przepływu projektowanego wynoszącego 630 m^3/d (tab. 1, ryc. 3).

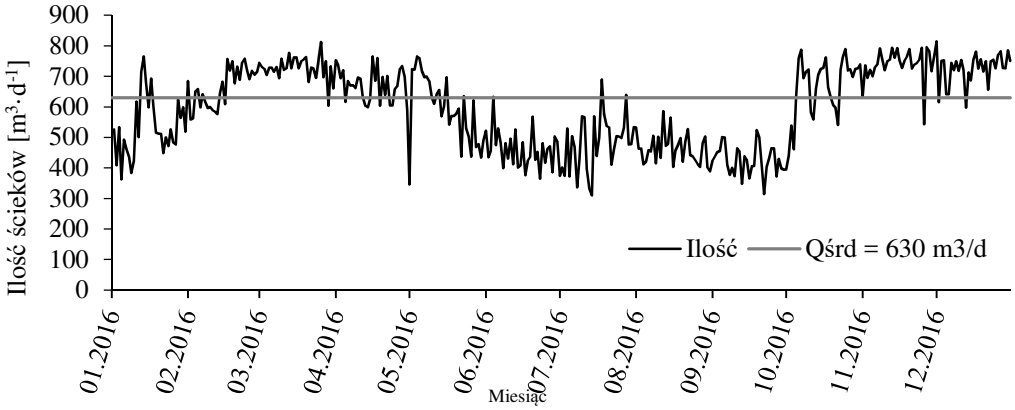
Tab. 1. Charakterystyka ilościowa ścieków dopływających do oczyszczalni w Pruchniku

$Q_{śrd}$ [$m^3 \cdot d^{-1}$]	Wartość rzeczywista			Statystyka			
	Średnia	Minimum	Maksimum	Mediana	Rozstęp	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
2016	595	310	815	605	505	133,47	0,22
Styczeń	531	363	765	515	402	96,27	0,18
Luty	663	559	758	677	199	63,10	0,10
Marzec	728	604	812	728	208	37,80	0,05
Kwiecień	673	589	765	678	176	52,14	0,08

Maj	594	346	765	602	419	107,89	0,18
Czerwiec	461	365	633	459	268	58,93	0,13
Lipiec	479	310	690	498	380	90,74	0,19
Sierpień	462	389	586	458	197	49,26	0,11
Wrzesień	425	314	524	426	210	48,44	0,11
Październik	662	395	789	704	394	103,45	0,16
Listopad	741	543	796	751	253	51,47	0,07
Grudzień	727	597	815	744	218	50,55	0,07

Źródło: Opracowanie własne

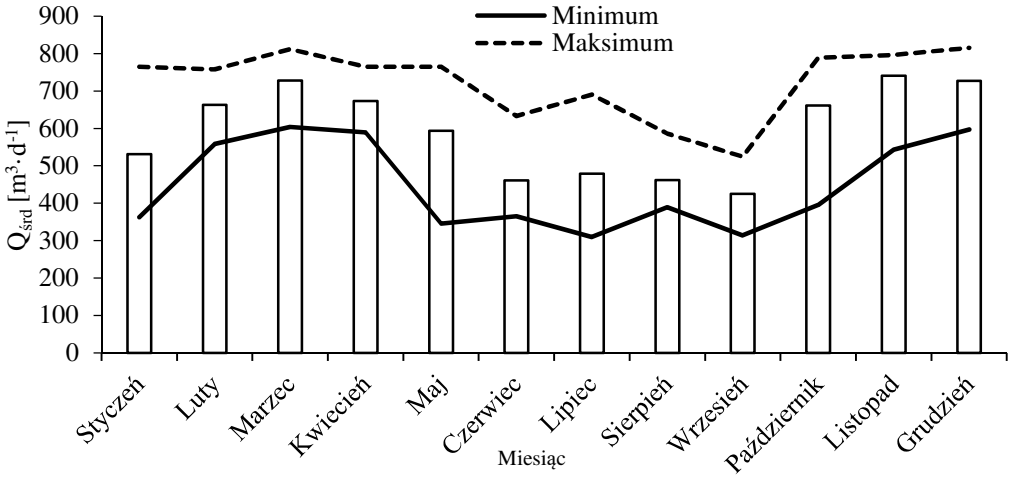
Ryc. 3. Ilość ścieków dopływających do oczyszczalni w Pruchniku w 2016 r.



Źródło: Opracowanie własne

Zakres odnotowanych wartości waha się w granicach od 310 m^3/d odnotowanych w lipcu do 815 m^3/d zarejestrowanych w grudniu. Tak szerokie spektrum wartości jest typowe dla terenów miejskich i miejsko-wiejskich. W 2016 r. ilość ścieków dopływających wahała się od 49,2 do 129,4% przepływu średniodobowego projektowanego. Zauważyć można, że okres wiosenny oraz jesienny były czasami, w których na oczyszczalni ścieków w Pruchniku notowano zwiększone dopływy. Zaś w okresie letnim ilości tychże ścieków były znacznie mniejsze. Linia trendu na wykresie pierwszym w jasny sposób obrazuje występującą w 2016 r. sezonowość przepływów. Miesiącami, w których odnotowano najwyższą średnią, są: marzec 728 m^3/d oraz listopad i grudzień – odpowiednio 741 i 727 m^3/d (ryc. 4).

Ryc. 4. Ilość ścieków dopływających do oczyszczalni w Pruchniku w poszczególnych miesiącach w 2016 r.



Źródło: Opracowanie własne

5.2. Jakość ścieków

W omawianym okresie średnie wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych wynosiły odpowiednio 310 mg O_2/dm^3 dla BZT_5, 680 mg O_2/dm^3 dla ChZT oraz 295 mg/dm^3 dla zawiesiny ogólnej (tab. 2). Po oczyszczeniu ścieków wartości tychże wskaźników uległy znacznemu obniżeniu do poziomu odpowiednio 3,74; 41 oraz 6 mg/dm^3, co świadczy o wysokiej skuteczności zastosowanego procesu technologicznego. Stężenia wskaźników w ściekach oczyszczonych w rozpatrywanym okresie w żadnym przypadku nie przekroczyły wartości dopuszczalnych określonych w pozwoleniu wodnoprawnym (tab. 3).

Tab. 2. Zestawienie statystyk opisowych wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach surowych dla oczyszczalni w Pruchniku w 2016 r.

Wskaźnik zanieczyszczeń	Wartość rzeczywista w dopływie [mg·dm⁻³]			Statystyka			
	Średnia	Minimum	Maksimum	Mediana [mg·dm⁻³]	Rozstęp	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
BZT_5	310	110	550	280	440	120,83	0,39
ChZT	680	277	1308	657	1031	316,53	0,47
Zawiesina ogólna	295	96	470	295	374	133,50	0,45

Źródło: Opracowanie własne

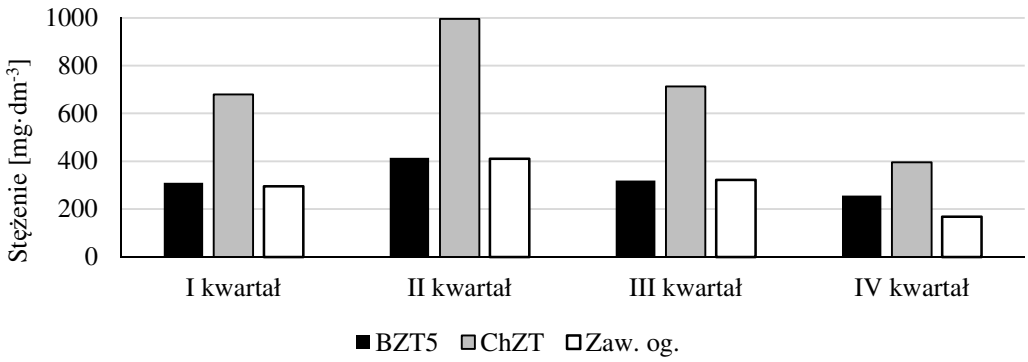
Tab. 3. Zestawienie statystyk opisowych wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych dla oczyszczalni w Pruchniku w 2016 r.

Wskaźnik zanieczyszczeń	Wartość rzeczywista w odpływie [mg·dm^{-3}]			Statystyka			
	Średnia	Minimum	Maksimum	Mediana [mg·dm^{-3}]	Rozstęp	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
BZT_5	3,74	1,70	8,00	3,10	6,30	2,51	0,67
ChZT	41	30	55	37	25	10	0,24
Zawiesina ogólna	6	5	8	5	3	1	0,22

Źródło: Opracowanie własne

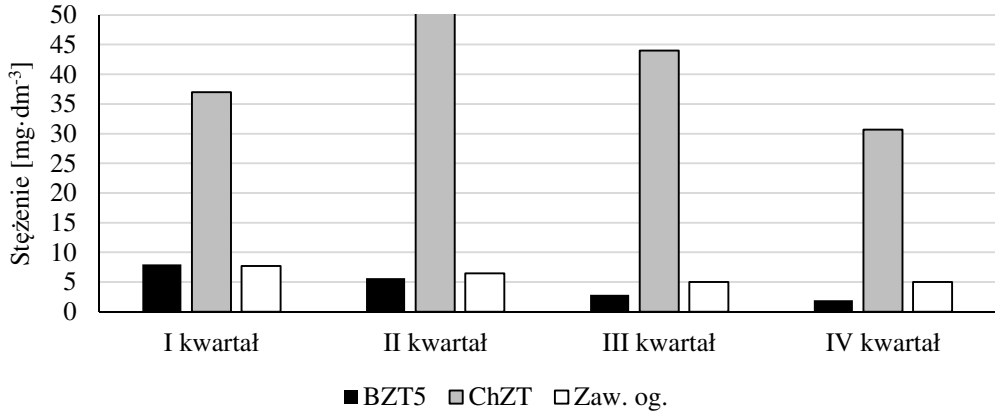
Analizując kwartalny rozkład wartości zanieczyszczeń w ściekach surowych, stwierdzić można, że w kwietniu, maju i czerwcu, czyli w II kwartale roku, do oczyszczalni dopływały ścieki, które niosły w sobie największe ilości zanieczyszczeń. Średnie stężenie BZT_5 w tym okresie wyniosło 415 mg O_2/dm^3, ChZT 996 mg O_2/dm^3, a zawiesina ogólna 410 mg/dm^3 (ryc. 5) Natomiast w ostatnich trzech miesiącach roku, w ściekach stwierdzono najmniejsze wartości tychże wskaźników. Analogicznie najwyższe wartości wskaźników w ściekach oczyszczonych stwierdzono w II kwartale, a najlepszy efekt ich oczyszczania w IV kwartale 2016 r. (ryc. 6).

Ryc. 5. Jakość ścieków dopływających do oczyszczalni w Pruchniku w poszczególnych kwartałach 2016 r.



Źródło: Opracowanie własne

Ryc. 6. Jakość ścieków oczyszczonych w oczyszczalni w Pruchniku w poszczególnych kwartałach 2016 r.



Źródło: Opracowanie własne

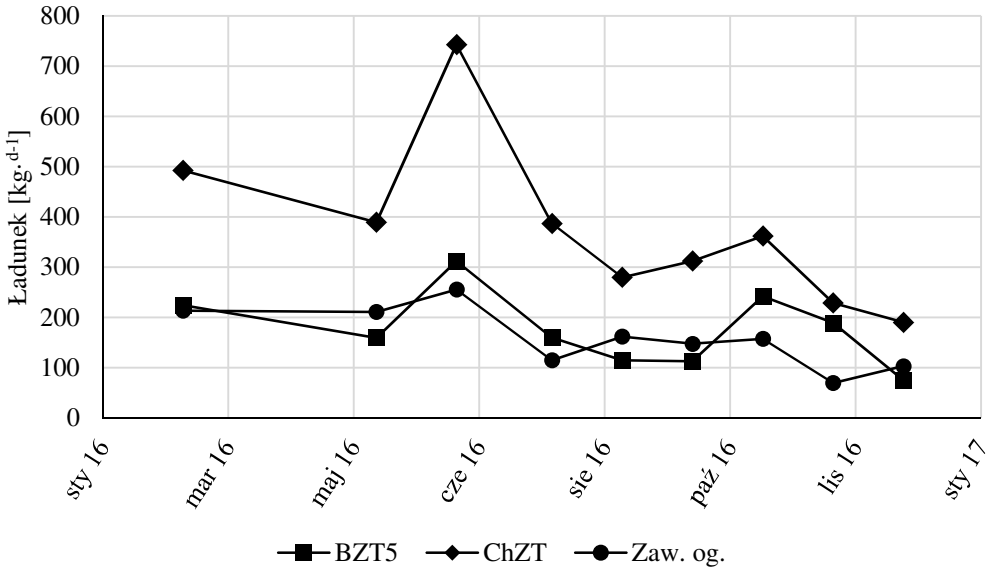
Wartości średnie ładunków w ściekach surowych wyniosły 176,80 dla BZT_5 i 376,10 kg O_2/d dla ChZT oraz 159,44 kg/d w przypadku zawiesiny ogólnej. Analizując ładunki, stwierdzić można, że wartości maksymalne w przypadku wszystkich trzech wskaźników zanotowano w maju. Wynosiły one 312,40, 742,94 kg O_2/d oraz 255,60 kg/d dla zawiesiny ogólnej (tab. 4, ryc. 7). Średnie ładunki zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych w roku 2016 wynosiły 2,20 i 22,88 kg O_2/d w przypadku BZT_5 i ChZT oraz 3,32 kg/d dla zawiesiny ogólnej (ryc. 8).

Tab. 4. Zestawienie statystyk opisowych wartości ładunków zanieczyszczeń w ściekach dla oczyszczalni w Pruchniku w 2016 r.

Ładunek zanieczyszczeń w ściekach [kg·d-1]	Wartość rzeczywista			Statystyka			
	Średnia	Minimum	Maksimum	Mediana	Rozstęp	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
BZT5							
ścieki surowe	176,80	75,57	312,40	159,75	236,83	74,02	0,42
ścieki oczyszczone	2,20	1,03	5,79	1,32	4,76	1,73	0,79
ChZT							
ścieki surowe	376,10	190,30	742,94	361,78	552,65	165,11	0,44
ścieki oczyszczone	22,88	16,64	31,24	21,81	14,60	4,92	0,21
Zawiesina ogólna							
ścieki surowe	159,44	69,79	255,60	157,56	185,81	59,34	0,37
ścieki oczyszczone	3,32	1,57	5,57	3,20	4,00	1,19	0,36

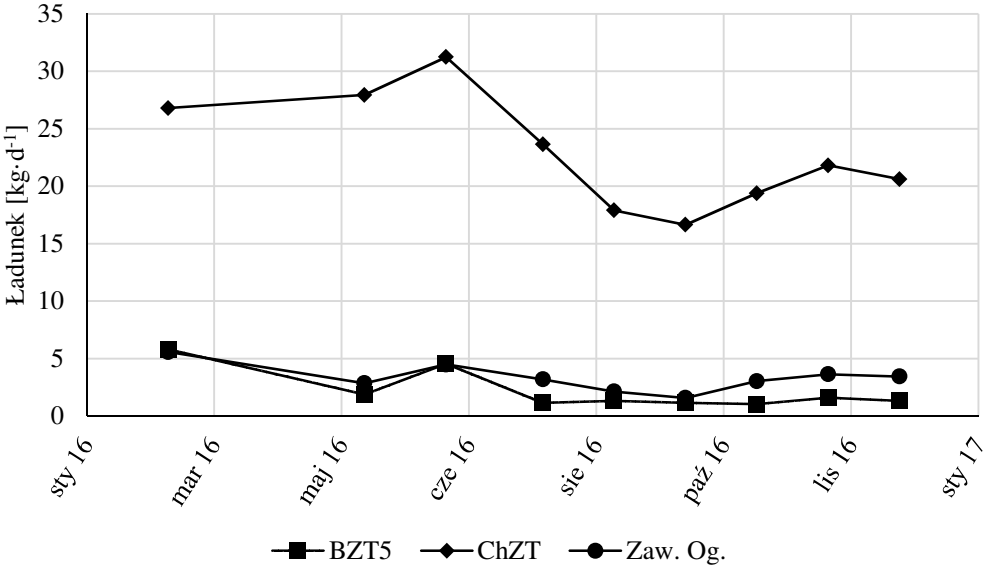
Źródło: Opracowanie własne

Ryc. 7. Ładunki zanieczyszczeń w ściekach surowych na oczyszczalni w Pruchniku w 2016 r.



Źródło: Opracowanie własne

Ryc. 8. Ładunki zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych na oczyszczalni w Pruchniku w 2016 r.



Źródło: Opracowanie własne

5.3. Efektywność oczyszczania ścieków

Przeprowadzona analiza wykazała wysoką niezawodność funkcjonowania badanego obiektu w zakresie eliminacji ze ścieków zanieczyszczeń organicznych wyrażonych wskaźnikami BZT_5, ChZT, których współczynniki niezawodności wyno-

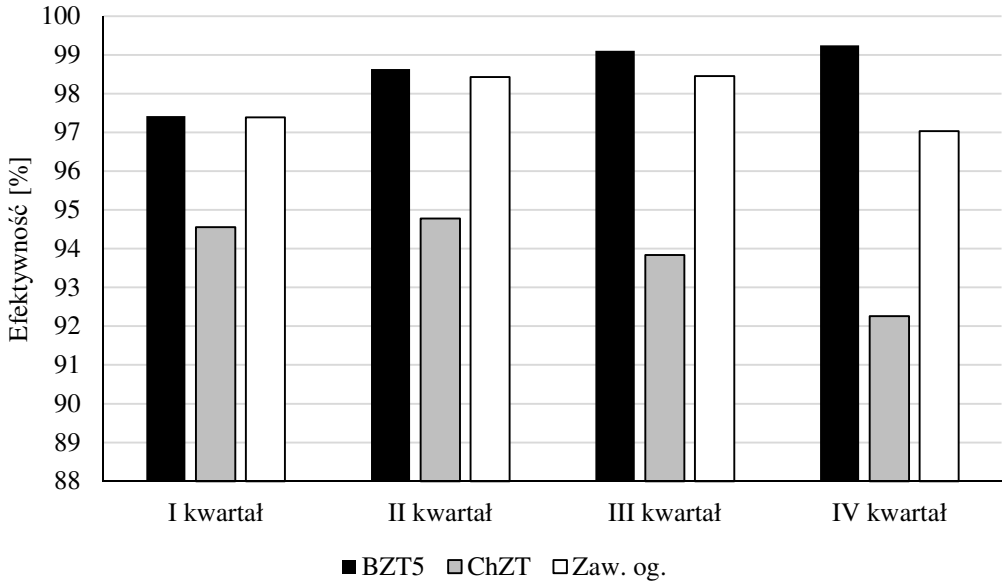
siły odpowiednio 0,3 i 0,44. Najniższą wartość współczynnika niezawodności WN otrzymano w przypadku zawiesiny ogólnej i wynosił on 0,16. Wskaźniki zawodności technologicznej q, które dla wszystkich parametrów wynoszą 0 oraz technologicznej sprawności na poziomie 90%, wskazują, że oczyszczalnia w Pruchniku w 2016 r., pracowała poprawnie z wysoką efektywnością (tab. 5, ryc. 9).

Tab. 5. Ocena pracy oczyszczalni ścieków w Pruchniku w 2016 r.

Wskaźnik zanieczyszczeń	Wartość dopuszczalna w odpływie [mg·dm^{-3}]	Rzeczywista efektywność oczyszczania [%]			Współczynnik niezawodności WN	Zawodność technologiczna q	Technologiczna sprawność P_{sw}
		Średnia	Minimum	Maksimum			
BZT_5	12,5	98,8	98,4	98,5	0,30	0	0,90
ChZT	92	94,0	89,2	95,8	0,44	0	0,90
Zawiesina ogólna	35	98,1	94,8	98,3	0,16	0	0,90

Źródło: Opracowanie własne

Ryc. 9. Skuteczność zmniejszania wskaźników BZT_5, ChZT i zawiesiny ogólnej na oczyszczalni ścieków w Pruchniku w poszczególnych kwartałach 2016 r.



Źródło: Opracowanie własne

6. Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników badań, mających na celu ocenę funkcjonowania oczyszczalni ścieków w Pruchniku, za pomocą wybranych metod statystycznych, wysunięto następujące wnioski:

1. Analiza wyników badań z 2016 r. wskazuje, że w ściekach oczyszczonych nie stwierdzono w żadnym przypadku przekroczeń wartości dopuszczalnych wskaźników, co świadczy o prawidłowym funkcjonowaniu oczyszczalni SBR BIOVAC w Pruchniku.
2. Średnia, rzeczywista skuteczność zmniejszania wartości BZT_5, ChZT i zawiesiny ogólnej wynosiła odpowiednio 98,8%, 94,0% oraz 98,1%.
3. Na podstawie obliczonych wskaźników niezawodności stwierdzić można, że obiekt pracuje skutecznie i niezawodnie.
4. Wysokie wartości wskaźnika technologicznej sprawności gwarantują spełnienie wymagań określonych w obowiązującym dla oczyszczalni w Pruchniku pozwoleniu wodnoprawnym.

Bibliografia

1. Andraka D., *Modelowanie pracy oczyszczalni ścieków z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo,* Inżynieria Ekologiczna, 24, Lublin 2011, s. 7–16.
2. Artan N., Orhon D., *Mechanism and Design of Sequencing Batch Reactors for Nutrient Removal,* Scientific and Technical Report No. 19, IWA Publishing, London 2005, s. 5.
3. Bartkowska I., Klaus W., *Analiza skuteczności działania oczyszczalni ścieków pracującej w systemie SBR,* Ekonomia i Środowisko, 4, Białystok 2013, s. 59–60.
4. Gerardi M.H., *Troubleshooting the Sequencing Batch Reactor,* John Wiley & Sons, Inc., New Jersey 2010, s. 13.
5. Heidrich Z., Witkowski A., *Urządzenia do oczyszczania ścieków – projektowanie, przykłady obliczeń,* Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2010, s. 172.
6. Jenkins D., Wanner J., *Activated Sludge – 100 years and Countin,* IWA Publishing, London 2014, s. 8.
7. Masłoń A., *Zastosowanie oczyszczalni ścieków SBR w aspekcie poprawy gospodarki ściekowej w regionach turystycznych,* [w:] J.R. Rak (red.), *Woda i surowce odnawialne a ich oddziaływanie na środowisko naturalne,* Wydawnictwo Muzeum Regionalnego im. A. Fastnachta, Brzozów 2011, s. 275–298.
8. Masłoń A., Tomaszek J.A., *Innowacyjne rozwiązania sekwencyjnych reaktorów porcjowych stosowane w oczyszczaniu ścieków,* Inżynieria i Ochrona Środowiska, 4, Częstochowa 2008, s. 431–453.
9. Masłoń A., Tomaszek J.A., *Sekwencyjne reaktory porcjowe w oczyszczaniu ścieków,* [w:] J. Krupa (red.), *Ochrona środowiska, krajobraz przyrodniczy i kulturowy Pogórza Dynowskiego a rozwój turystyki,* Wydawnictwo ZGTPD, Dynów 2013, s. 43–61.
10. Masłoń A., Tomaszek J.A., *Sekwencyjne reaktory porcjowe. Podstawy technologii, zasady projektowania i przykłady zastosowań,* Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2017, s. 187–191, 25–32, 185–201.
11. Rak J., Wieczysty A., *Funkcjonowanie systemu oczyszczalnia-odbiornik ścieków w świetle teorii niezawodności,* IX Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych", Rajgród 1997, s. 16–24.

12. Tomaszek J.A., *Azot i fosfor w środowisku i technologiach środowiskowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006, s. 242.
13. Wałęga A., *Ocena funkcjonowania oczyszczalni ścieków metodami statystycznymi*, Forum Eksploatatora, 5, 2009, s. 30–34.