

Jakość i parametry technologiczne osadu czynnego w aspekcie prawidłowego funkcjonowania biologicznego oczyszczania ścieków

The quality and technological parameters of activated sludge in the aspect of the proper functioning of biological wastewater treatment

Rebeka Pajura, Joanna Czarnota^{*)}

Słowa kluczowe: parametry technologiczne osadu czynnego, jakość osadu czynnego, biologiczne oczyszczanie ścieków

Streszczenie

Zastosowanie metody osadu czynnego pozwala na usunięcie zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych ze ścieków, ograniczając ich niekorzystny wpływ na środowisko. Efektywność usuwania substancji zanieczyszczających zależy m.in. od prawidłowej pracy osadu czynnego. Analiza właściwości osadu czynnego może w wielu przypadkach wskazać przyczyny nieprawidłowego funkcjonowania oczyszczalni, jednocześnie może ułatwić podjęcie działań eliminujących te nieprawidłowości. Należy mieć na uwadze, iż złe funkcjonowanie części biologicznej oczyszczalni ścieków może powodować wprowadzenie niedopuszczalnych ładunków zanieczyszczeń do wód.

W niniejszym artykule, na podstawie danych ujętych w raportach analizy osadu czynnego z 2019 roku, które otrzymano z Miejskiego Zakładu Wodociągów i Kanalizacji w Rzeszowie, dokonano oceny parametrów i jakości osadu czynnego z uwagi na prawidłowy przebieg procesów biologicznego oczyszczania ścieków. Wyznaczono również dodatkowe parametry technologiczne, które umożliwiły szczegółową ocenę funkcjonowania części biologicznej wybranej oczyszczalni ścieków.

Key words: technological parameters of activated sludge, quality of activated sludge, biological wastewater treatment

Abstract

The use of the activated sludge method allows for the removal of chemical and biological pollutants from wastewater, limiting their negative impact on the environment. The efficiency of the removal of pollutants depends, among others, on from the proper functioning of the activated sludge. The analysis of the properties of activated sludge can in many cases indicate the causes of incorrect functioning of the wastewater treatment plant, and at the same time it can facilitate taking actions to eliminate these irregularities. It should be borne in mind that improper functioning of the biological part of the wastewater treatment plant can result in the introduction of unacceptable loads of pollutants into the waters.

In this article, based on data included in the 2019 activated sludge analysis reports, obtained from the MPWiK in Rzeszów, the parameters and quality of activated sludge were evaluated in view of the correct course of biological wastewater treatment processes. Additional technological parameters were also determined, which enabled a detailed assessment of the functioning of the biological part of the selected wastewater treatment plant.

1. Wprowadzenie

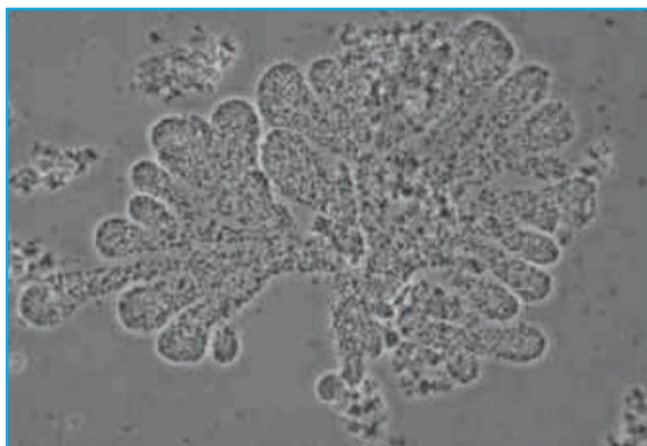
1.1. Mikroorganizmy osadu czynnego

Udział poszczególnych grup mikroorganizmów w osadzie czynnym (m.in. bakterii, grzybów, pierwotniaków oraz organizmów wielokomórkowych) warunkowany jest przez wiele czynników, przy czym skład ścieków jest parametrem decydującym. Drobnoustroje zasiedlające kłaczkę osadu czynnego rywalizują o substancje odżywcze, które zawarte są w ściekach. W zależności od wyników tej rywalizacji definiowany jest skład kłaczkę [2, 3].

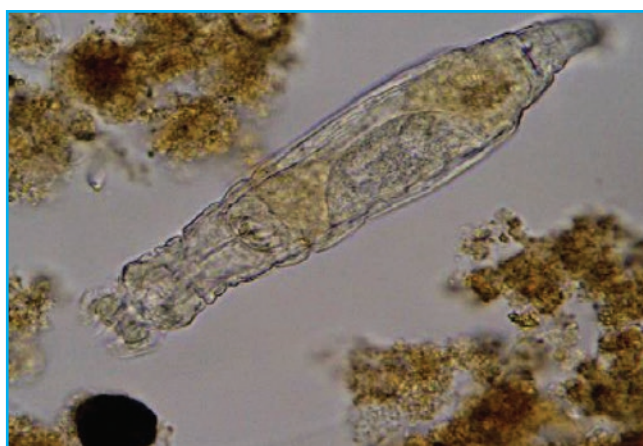
Bakterie to najważniejsze i jednocześnie najmniejsze istoty żywe zasiedlające osad czynny. Znaczny udział w osadzie czynnym przypisuje się heterotroficznym bakteriom tlenowym, które eliminują występujące w ściekach związki organiczne. Obserwuje się także chemoautotrofy, saprofity oraz patogeny [2]. Popularnymi bakteriami jest *Nitrosomonas* i *Nitrobacter* odpowiedzialne za prowadzenie procesu nitrifikacji, a także *Pseudomonas*, które warunkują zachodzenie denitryfikacji. W osadzie czynnym występują również bakterie z rodzaju *Zooglea ramigera* (Rys. 1), które odpowiedzialne są za produkcję śluzu ułatwiającego tworzenie się kłaczek. Również występowanie w osadzie czynnym bakterii nitkowatych jest naturalne, jednak ich nadmierny rozwój przyczynia się do występowania problemów z sedymentacją osadu [9].

Pierwotniaki najczęściej spotykane i mające największy wpływ na biologiczne oczyszczanie ścieków to orzęski, wiciowce, a także korzenionózki [3]. Orzęski są najważniejszymi pierwotniakami w obrębie osadu czynnego – pochłaniają one wolnopływające, niezwiązane z kłaczkami bakterie, przyczyniając się do poprawienia klarowności odpływu ścieków. Wyróżnia się 3 formy orzęsków: osiadłe (są najbardziej charakterystyczną formą pierwotniaków występującą w osadzie czynnym, ich masowy rozwój może świadczyć o nagłym wzroście obciążenia lub informować o jego dużym wahanii [3, 4, 9]), pełzające (ich duża liczebność świadczy o odpowiednich wartościach indeksu osadu (IO) [3, 4, 7]) oraz

^{*)} inż. Rebeka Pajura – Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, ul. Poznańska 2, 35-084 Rzeszów
dr inż. Joanna Czarnota (ORCID 0000-0003-3271-342X) – Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Katedra Inżynierii i Chemii Środowiska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, e-mail: askalucz@prz.edu.pl



Rys. 1. Zooglea ramigera w osadzie czynnym [17]
Fig. 1. Zooglea ramigera in activated sludge [17]



Rys. 2. Wrotek [8]
Fig. 2. Rotifera [8]

swobodnie pływające (np. te z grupy *Hymenostomata* wskazują na duże obciążenie osadu czynnego, a ich występowanie wynika z większej odporności na niedobór tlenu oraz zawartości dużej ilości bakterii w osadzie czynnym [3, 9]). Z kolei wiciowce świadczą o prawidłowej pracy osadu czynnego, ale zbyt duża dominacja tych form będzie oznaczała przeciążenie oczyszczalni ładunkiem zanieczyszczeń. Oznaką dobrze pracującego osadu będzie wskaźnik zagęszczenia drobnych wiciowców nieprzekraczający 50 tys. osobników w mililitrze [2, 4, 9]. W przypadku korzenionózek wyróżnia się ameby nagie oraz ameby skorupkowe. Obecność tych pierwszych w osadzie czynnym świadczy o niedoborze tlenu, wysokim obciążeniu osadu i dopływie substancji toksycznych. Natomiast występowanie tych drugich (najpopularniejsze to *Arcella* i *Euglypha*) świadczy o bardzo dobrej pracy osadu, informuje o długim wieku osadu (WO), odpowiednio niskim obciążeniu osadu, prawidłowych warunkach tlenowych i bardzo niskim stężeniu azotu amonowego [2].

Najbardziej rozpowszechnionymi organizmami wielokomórkowymi w osadzie czynnym są nicienie, zaliczane do robaków

obłych, oraz wrotki (Rys. 2). Utrzymują one biocenozę osadu na zróżnicowanym poziomie. Regulują też przyrost bakterii i pierwotniaków oraz przyczyniają się do klarownego odpływu ścieków. Zbyt duża liczba tych organizmów może powodować rozbijanie kłaczków [9].

1.2. Parametry technologiczne osadu czynnego

Parametry technologiczne osadu czynnego mają znaczenie dla efektywnego oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego. Należy podkreślić, iż powinny się one mieścić w zalecanym zakresie. Wykaz tych parametrów, wraz z ich podstawową charakterystyką, ujęto w Tab. 1.

Osad czynny jest systemem biologicznie zamkniętym. Przyrost osadu czynnego wynika z doprowadzenia w ciągły doby biologicznie rozkładalnych substancji organicznych, które są przez ten osad rozkładane. Tę wielkość określa się obciążeniem osadu czynnego wyrażoną w kg BZT₅/(kg s.m.o.d). Obciążenie osadu ładunkiem BZT₅ jest ściśle związane z wiekiem osadu. Im dłuższy WO, tym mniejsze obciążenie. Co za tym idzie, obciążenie osadu

Tabela 1. Charakterystyka najważniejszych parametrów technologicznych osadu czynnego, na podstawie [8]

Table 1. Characteristics of the most important technological parameters of the activated sludge, based on [8]

Parametr technologiczny	Charakterystyka
Wiek osadu (WO) [d]	<ul style="list-style-type: none"> teoretyczny (minimalny) wiek osadu w temperaturze 20°C wynosi 3–5 dni, jest ustalany w zależności od oczekiwanych efektów oczyszczania ścieków: 3–7 dni stosowany jest głównie w małych obiektach i służy do usuwania węgla organicznego, 7–20 dni stosowany w większości oczyszczalni do eliminacji azotu ze ścieków, długi wiek osadu jest korzystny dla bakterii nityfikacyjnych, ale również powoduje wzrost bakterii nitkowatych, zaś krótki wiek osadu stwarza sprzyjające warunki dla bakterii fosforowych i denitryfikacyjnych [6, 12]
Stężenie osadu [g/dm ³]	<ul style="list-style-type: none"> dobrze pracujący osad cechuje się stężeniem od ok. 1,5 do 3, a czasami nawet 5 g/dm³ suchej masy w komorze napowietrzania, utrzymanie odpowiedniego stężenia ma związek ze stopniem recykulacji, wysokie stężenie osadu korzystnie wpływa na proces biologicznego usuwania azotu [2, 5, 6]
Indeks osadu (IO) [ml/g s.m.]	<ul style="list-style-type: none"> optymalna wartość tego parametru wynosi 80–120 ml/g s.m., wysokie wartości IO wynikają z intensywnego rozwoju bakterii nitkowatych spowodowanego niekorzystnymi warunkami eksploatacyjnymi, duży wzrost tego parametru może spowodować stabilizację tlenową osadu, przez co kłaczkki będą się zmniejszać i gorzej sedymentować [5]
pH [-]	<ul style="list-style-type: none"> optymalne pH w procesie osadu czynnego wynosi od 6,5 do 8,5, do prawidłowego przebiegu nityfikacji potrzebne jest zapewnienie pH w zakresie 7,5–8,5 (proces może być prowadzony przy pH równym nawet 6,5), zaś dla procesu denitryfikacji 7–9 (inhibicja procesu, gdy pH przekracza 8 lub spada poniżej 6) [10, 12]
Temperatura [°C]	<ul style="list-style-type: none"> w temperaturze od 10 do 22°C następuje przyspieszenie procesów biochemicznych związanych z usuwaniem związków azotu ze ścieków, > 35°C – obserwuje się spadek do zera przyrostu bakterii nityfikacyjnych, < 11°C – występuje zahamowanie drugiej fazy nityfikacji, ok. 8°C – zmniejszenie szybkości procesu denitryfikacji [12, 13]

odzwierciedla warunki dla procesów denitryfikacji i nityfikacji. Nityfikacja zachodzi tylko wtedy, gdy obciążenie jest poniżej 0,2 kg BZT₅/(kg s.m.o·d). Z kolei, aby proces denitryfikacji przebiegał prawidłowo konieczne jest utrzymywanie obciążenia osadu ładunkiem zanieczyszczeń organicznych w przedziale 0,07–0,09 kg BZT₅/(kg s.m.o·d), przy czym należy podkreślić, że wraz ze wzrostem obciążenia osadu ładunkiem BZT₅ (nawet do ok. 1,9 kg BZT₅/(kg s.m.o·d)), wzrasta jednostkowa prędkość denitryfikacji (nawet do ok. 0,08 kg N/(kg s.m.o·d)) [5, 12].

1.3. Morfologia kłaczków osadu czynnego

Osad czynny to zawiesina składająca się z różnych mikroorganizmów. Charakterystyczną cechą osadu jest wzrost mikroorganizmów w skupiskach. Definiującą właściwością osadu czynnego jest zdolność do tworzenia kłaczków [6]. Kłaczkosy osadu czynnego są niejednorodne i składają się z wielu małych i dużych części składowych, częścią stałych i zgrupowań mikroorganizmów. Główną jego część stanowią polimery zewnątrzkomórkowe (EPS). EPS składają się głównie z polisacharydów, białek, substancji humusowych, determinują one kształt i wielkość kłaczków [1].

W osadzie czynnym nie występują kłaczkosy o kształcie idealnie kulistym, dlatego większość z nich określa się mianem zaokrąglonych. W przypadku, gdy kształt znacznie odbiega od kształtu kuli, wtedy opisuje się je jako nieregularne. Wpływ na zaburzenia kształtu mogą mieć bakterie nitkowate, grzyby, a także często może to być związane ze wzrostem obciążenia oczyszczalni. Na powierzchni kłaczkosy można zaobserwować wyraźne wyrostki [1, 6].

Spójność oznacza inaczej trwałość kłaczków. Występują kłaczkosy słabe, gdzie kohezja między komórkami bakterii jest niewielka, a jądro kłaczkosy jest niestabilne. Są one bardzo delikatne i łatwo ulegają zniszczeniu. Słabe kłaczkosy cechują się również niewyraźną linią brzegową kłaczkosy i fazy płynnej, a także

obecnością wolno unoszącego się materiału komórkowego [3]. W głównym stopniu na spójność ma wpływ obciążenie osadu. Na Rys. 3 przedstawiono różnicę między kłaczkosy z uwagi na ich spójność [7].

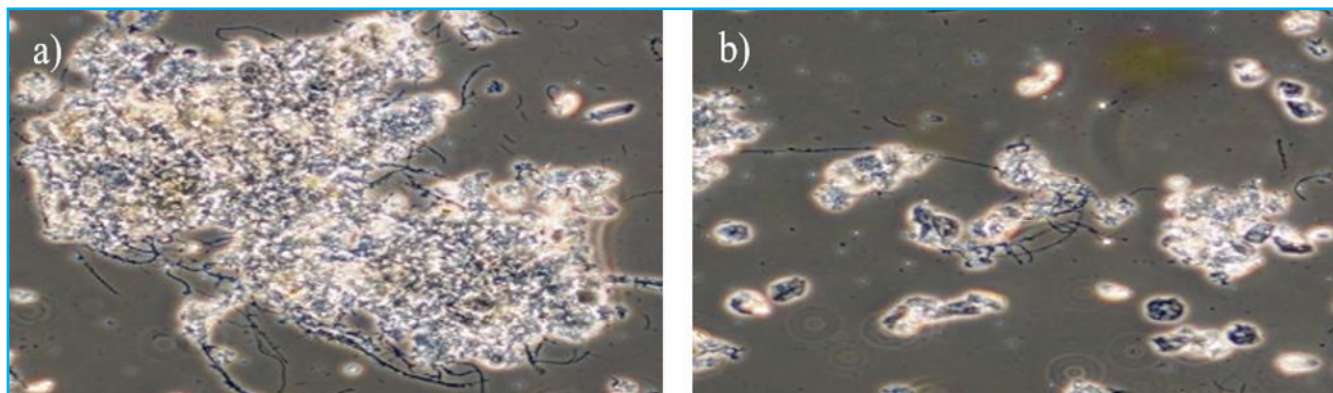
Kłaczkosy osadu czynnego zróżnicowane są również pod względem struktury. Idealny kłaczek ma strukturę luźną, gąbczastą, jednocześnie nie posiada zbyt wielu wolnych przestrzeni. Jeśli w budowie kłaczkosy występują liczne perforacje, oznacza to, że jego struktura jest luźna. Natomiast brak wolnych przestrzeni oraz gładka linia brzegowa charakteryzuje budowę zbitą. Odmienne struktury kłaczków przedstawiono na Rys. 4.

Można także wyróżnić strukturę z aglomeratami, charakteryzującą się siateczkowym układem bakterii nitkowatych, gdzie obecne są kłaczkosy zwarte i silne [3, 9].

Kłaczkosy osiągają różne rozmiary. Optymalna wielkość kłaczkosy, aby następowało efektywne oczyszczanie ścieków, powinna wynosić od 150 do 300 μm. Wpływ na ich wielkość ma długi czas zatrzymania w reaktorze i WO – im wyższe są wartości tych parametrów tym większe kłaczkosy. Kłaczkosy, które swoim rozmiarem nie przekraczają wartości 100 μm uniemożliwiają prawidłową sedymentację, natomiast te przekraczające 500 μm, są zwykle przerośnięte bakteriami powodującymi pęcznienie osadu, co za tym idzie obniżają skuteczne oczyszczanie ścieków [1, 3].

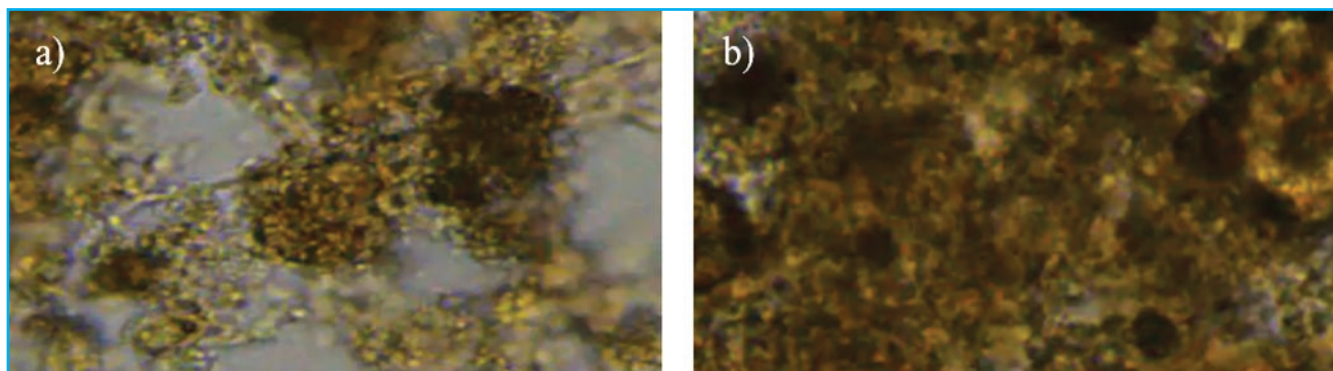
2. Charakterystyka oczyszczalni ścieków w Rzeszowie

W przedmiotowej oczyszczalni ścieków (Rys. 5) w części biologicznej realizowana jest technologia osadu czynnego w schemacie jednoosadowym, o przepływie tłokowym, która to prowadzona jest w odpowiednich komorach, podzielonych na dwa ciągi technologiczne – A oraz B. W wyniku przeprowadzonych



Rys. 3. Spójność kłaczków osadu czynnego a) duża, b) słaba [11]

Fig. 3. Cohesion of activated sludge flocs a) high, b) less [11]



Rys. 4. Struktura kłaczków osadu czynnego a) luźna, b) zwarta [8]

Fig. 4. Structure of activated sludge flocs a) loose, b) compact [8]



Rys. 5. Widok na zmodernizowaną oczyszczalnię ścieków w Rzeszowie [16]

Fig. 5. View of the modernized wastewater treatment plant in Rzeszów [16]

modernizacji, obecna wartość RLM oczyszczalni w Rzeszowie wynosi 398 000, zaś średni dobowy przepływ stanowi 54 500 m³/d [14, 15].

W komorach predenitryfikacji (2 komory, pojemność każdej to 300 m³) następuje usunięcie azotanów z osadu recykulowanego z osadników wtórnych, zanim zostanie on wprowadzony do komory beztlenowej. Z kolei w komorze beztlenowej (1 komora o pojemności 3400 m³) realizowana jest I faza procesu biologicznego usuwania fosforu. Doprowadzenie mieszaniny ścieków i osadu czynnego z komory predenitryfikacji w warunki beztlenowe, przyczynia się do uwalniania związków w komórkach bakterii fosforanów i jednoczesnego pobierania ze ścieków łatwo rozkładalnych związków organicznych. Ścieki z komory beztlenowej kierowane są do dwóch niezależnych komór denitryfikacji (pojemność jednej komory to 7920 m³). W tych komorach, w warunkach anoksydacyjnych, następuje II etap usuwania azotu ze ścieków. Przy odpowiedniej podaży węgla organicznego, w komorze tej zachodzi proces denitryfikacji wstępnej. Z części denitryfikacyjnej ścieki kierowane są do komór nityfikacji (pojemność czynna komór to 14700 m³) – gdzie w warunkach tlenowych następuje utlenianie azotu amonowego do azotanów (V), które to w celu redukcji do azotu gazowego zwracane są do komór denitryfikacji recykulacją wewnętrzną. W warunkach tlenowych zachodzi również II faza biologicznego usuwania związków fosforu,

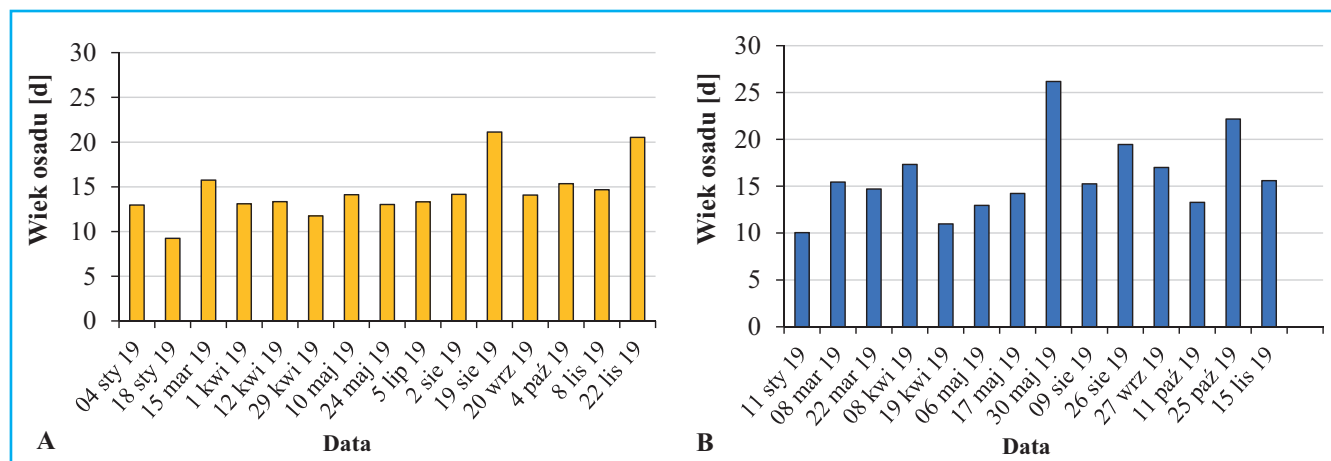
które zostają usunięte z układu wraz z osadem nadmiernym (w przypadku wystąpienia zakłóceń w procesie biologicznego usuwania fosforu, w przedmiotowej oczyszczalni przewidziano symultaniczne strącanie fosforu przy pomocy koagulantu żelazowego, który to jest dozowany do ścieków na odpływie z komór nityfikacji do osadników wtórnych). Ścieki oczyszczone z komory nityfikacji przelewają się do komory odtleniania, z której trafiają do zewnętrznego kanału odpływowego i do osadników wtórnych [14, 15]. W części biologicznej oczyszczalni występują 4 osadniki wtórne radialne, których zadaniem jest oddzielanie oczyszczonych ścieków od osadu czynnego oraz jego zagęszczenie. Osad odprowadzany jest do studni rozdzielczej osadów, skąd trafia do pompowni osadu recykulowanego i nadmiernego. Potrzebna masa osadu zwracana jest do komory predenitryfikacji, a pozostała część, czyli osad nadmierny trafia do dalszej przeróbki. Ścieki oczyszczone płyną do koryta przelewowego, a następnie do kanału zbiorczego, gdzie zlokalizowany jest punkt poboru ścieków oczyszczonych. Z kanału zbiorczego trafiają do rzeki Wisłok [15].

3. Omówienie wyników

3.1. Ocena parametrów technologicznych osadu czynnego

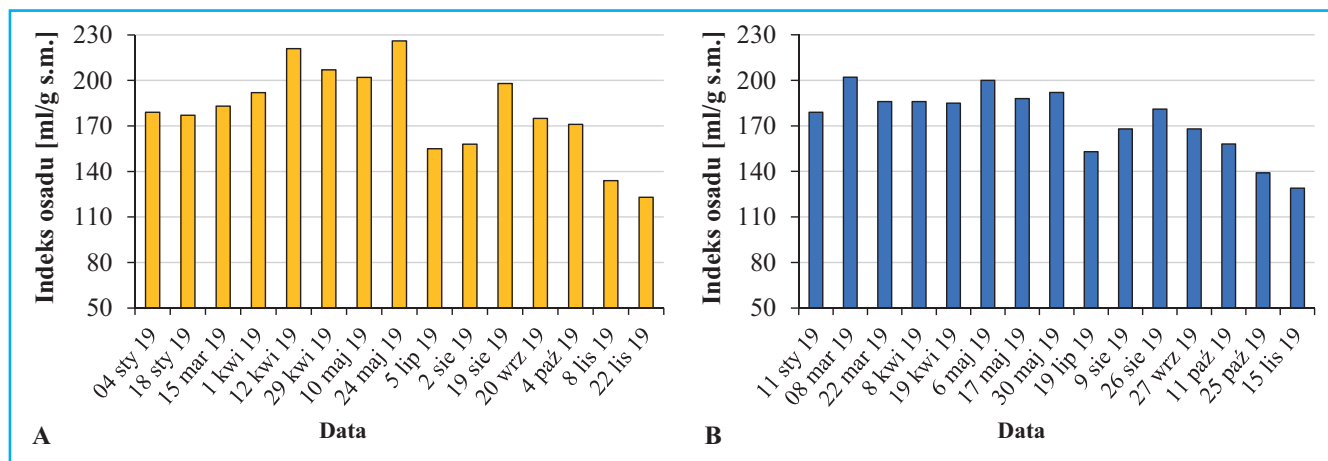
W analizowanym roku nie odnotowano temperatury w komorach osadu czynnego poniżej wymaganych 5°C, a jej zmiany w reaktorach zależne były od pór roku. Wartości tego parametru zmieniały się w zakresie od 13,0 do 23,5°C (ciąg technologiczny A) oraz od 14,2 do 23,1°C (ciąg technologiczny B). Również odczyn zawartości komór osadu czynnego był prawidłowy, przy czym w komorach ciągu technologicznego A odnotowano większe wahania tego parametru (od 6,9 do 7,3). Wartości stężenia osadu oscylowały w zakresie od 3,81 do 7,72 g/dm³ – ciąg A oraz od 4,80 do 7,29 g/dm³ – ciąg B. Najwyższe wartości tego parametru odnotowano w miesiącach jesiennych (październik, listopad), zaś najniższe w maju.

W 2019 roku wartości wieku osadu w poszczególnych komorach były w zakresie od 9,2 do 21,1 dni (ciąg technologiczny A) oraz od 10,1 do 26,2 dni (ciąg technologiczny B) (Rys. 6). Projektowy wiek osadu dla rzeszowskiej oczyszczalni został określony w zakresie 10,4–11,5 dni. Określono, że średni WO wynosił 14,4 doby



Rys. 6. Zmiana wieku osadu w ciągu technologicznym A oraz B

Fig. 6. Change of Solid Retention Time in chamber A and B

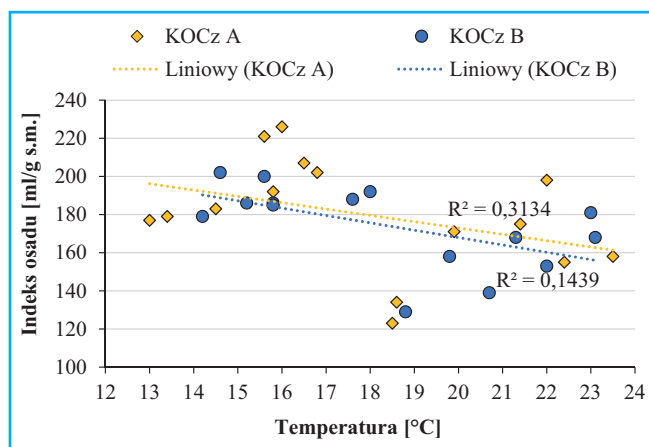


Rys. 7. Zmiana indeksu osadu w ciągu technologicznym A oraz B
 Fig. 7. Change of SVI in chamber A and B

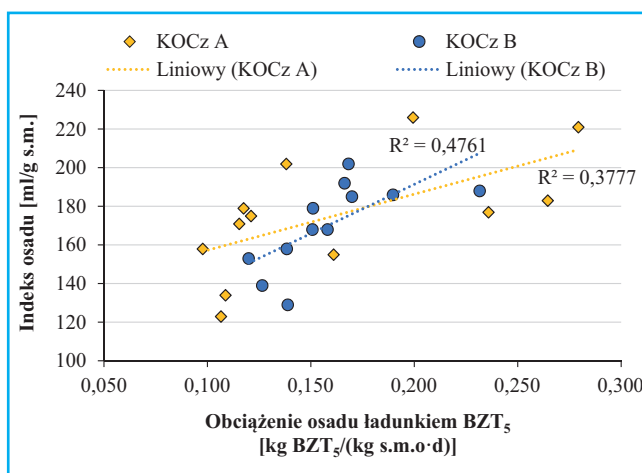
oraz 16 dób, odpowiednio w komorach ciągu A i B. Analiza danych wykazała, że wartości WO zmieniały się nieregularnie. Najdłuższy wiek osadu wynosił 26,2 doby i został odnotowany w okresie wiosennym w ciągu technologicznym B. Określone wartości WO są wyższe niż te z założeń projektowych.

Zmiany IO na przestrzeni 2019 roku przedstawiono na Rys. 7. Na podstawie danych uwidocznionych na wykresie można stwierdzić, iż indeks osadu w obu komorach utrzymywany jest na podobnym poziomie, jednakże wartości w komorze A są nieco bardziej zróżnicowane oraz mniej stabilne. Średnia wartość tego parametru w komorze A wynosiła 180 ml/g s.m., natomiast w komorze B była o 6 ml/g s.m. niższa. Według Hartmanna [5] optymalne parametry indeksu osadu mieszczą się w przedziale od 80 do 120 ml/g s.m., oznacza to, że wartości tego parametru w przedmiotowej oczyszczalni są znacznie podwyższone. Wartości zbliżone do optymalnych odnotowano pod koniec 2019 roku. Należy podkreślić, iż wysokie wartości tego parametru mogą powodować pogorszenie jakości biocenozy osadu czynnego oraz utrudnić sedimentację.

Znaczniejsze zmiany dla ciągu technologicznego A obserwowano także przy obciążeniu komór ładunkiem BZT₅ i obciążeniu osadu ładunkiem BZT₅ – wartości tych parametrów zmieniały się w zakresie 0,624–1,373 kg BZT₅/(m³·d) oraz 0,098–0,279 kg BZT₅/(kg s.m.o·d). Podczas gdy w komorach ciągu B oscylowały one odpowiednio od 0,745 do 1,208 kg BZT₅/(m³·d) oraz od 0,120 do 0,232 kg BZT₅/(kg s.m.o·d).



Rys. 8. Zależność pomiędzy indeksem osadu a temperaturą w ciągu technologicznym A i B
 Fig. 8. Relationship between the sludge volume index and temperature in chambers A and B



Rys. 9. Zależność pomiędzy indeksem osadu a obciążeniem osadu ładunkiem BZT₅ w komorach A i B

Fig. 9. Relationship between the sludge volume index and sludge load of BOD₅ in chambers A and B

3.2. Zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami

Z przeprowadzonej analizy wynika, że w obu ciągach technologicznych występuje ujemna korelacja pomiędzy indeksem osadu a temperaturą w komorze (Rys. 8) – im niższa temperatura w reaktorach, tym wyższe wartości indeksu osadu.

Dla danych z komory A współczynnik korelacji liniowej jest równy 0,56, co wskazuje na silną zależność pomiędzy parametrami. Z kolei w komorze B współczynnik ten wynosi 0,37, co oznacza, że zależność pomiędzy parametrami jest umiarkowana. Zauważono, że najbardziej optymalne wartości indeksu osadu notuje się w zakresie temperatur od 18 do 24°C. Jak wynika z danych, znaczne przekroczenia optymalnych wartości parametru IO obserwowane są, gdy temperatura osiąga od ok. 13 do 16°C.

Zaobserwowano również, że im większe obciążenie osadu ładunkiem BZT₅ tym wyższe wartości przyjmuje indeks osadu (korelacja pomiędzy parametrami jest dodatnia) (Rys. 9). Dla analizowanych danych, współczynnik korelacji był równy 0,62 w komorze A oraz 0,69 w drugim ciągu, co wskazuje na występowanie silnej zależności pomiędzy obciążeniem osadu ładunkiem BZT₅ a IO. Dla wartości projektowej obciążenia osadu ładunkiem BZT₅, wynoszącej 0,110 kg BZT₅/(kg s.m.o·d), zaobserwowano występowanie optymalnych wartości parametru IO.

Tabela 2. Morfologia osadu czynnego
Table 2. Activated sludge morphology

KOMORA A				KOMORA B			
Nr	Wielkość	Struktura	Kształt	Nr	Wielkość	Struktura	Kształt
1	średnia	zwarte	nieregularne	2	średnia	zwarte	nieregularne
3	duża	zwarte	nieregularne	4	średnia	luźne	nieregularne
5	średnia	luźne	nieregularne	6	średnia	luźne	nieregularne
7	mała	luźne	nieregularne	8	mała	luźne	nieregularne
9	mała	luźne	nieregularne	10	średnia	średnia	nieregularne
11	bardzo mała	luźne	nieregularne	12	mała	luźne	nieregularne
13	średnia	średnia	nieregularne	14	mała	średnia	nieregularne
15	średnia	średnia	nieregularne	16	bardzo mała	luźne	nieregularne
17	średnia	średnia	nieregularne	18	mała	średnia	nieregularne
19	mała	średnia	nieregularne	20	mała	średnia	nieregularne
21	mała	średnia	nieregularne	22	mała	średnia	nieregularne
23	średnia	średnia	nieregularne	24	mała	średnia	nieregularne
25	średnia	średnia	nieregularne	26	mała	zwarte	nieregularne
28	średnia	zwarte	nieregularne	27	mała	zwarte	nieregularne
31	średnia	średnia	nieregularne	30	średnia	średnia	nieregularne

Tabela 3. Parametry wpływające na powstawanie piany w reaktorach A i B
Table 3. Parameters affecting foam formation in reactors A and B

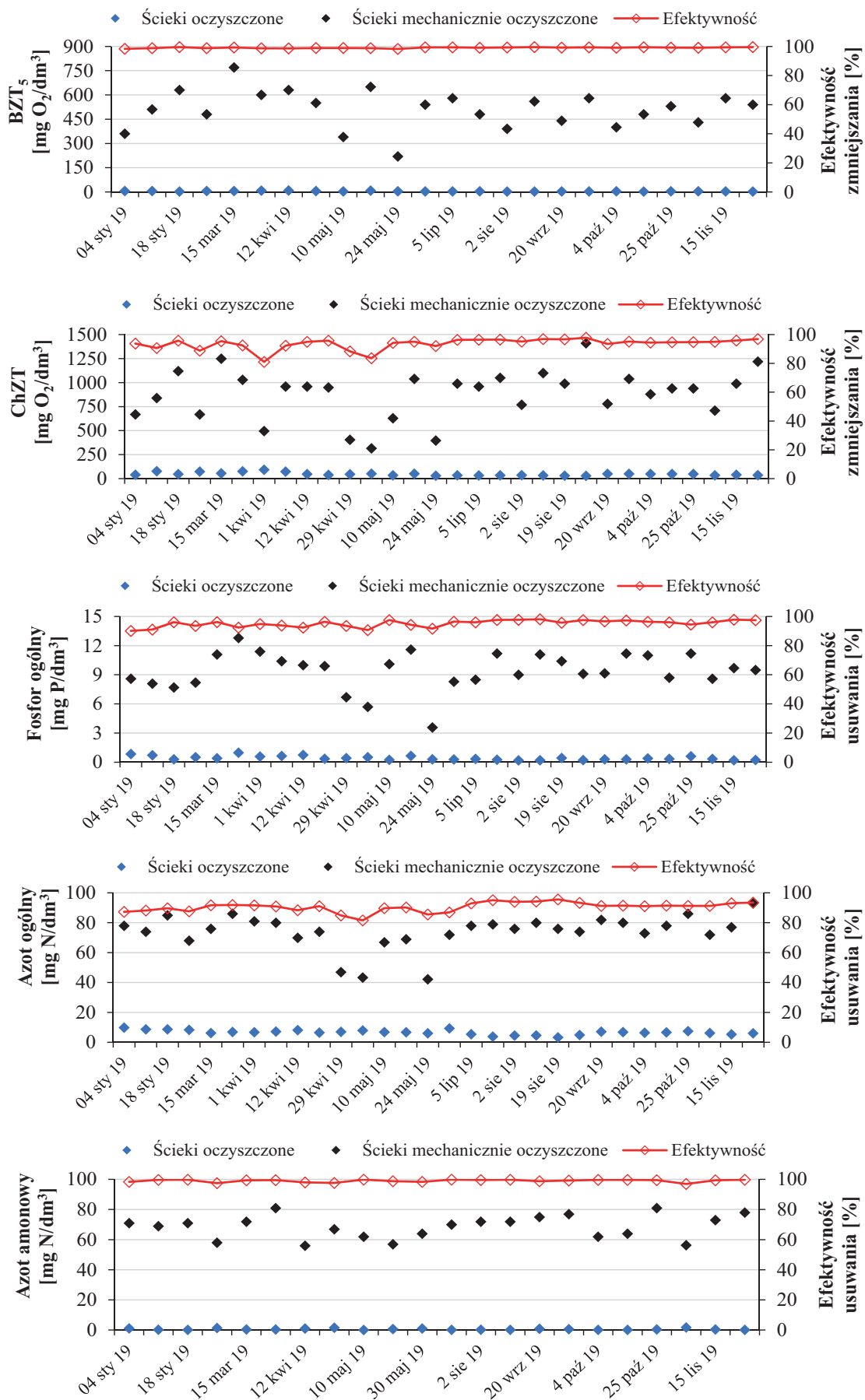
KOMORA A				KOMORA B			
Indeks bakterii nitkowatych [x/5]	Indeks osadu [ml/g s.m.]	Piana w reaktorze	Temp. [°C]	Indeks bakterii nitkowatych [x/5]	Indeks osadu [ml/g s.m.]	Piana w reaktorze	Temp. [°C]
4	179	+	13,4	4	179	+	14,2
4	177	+	13,0	3,5	202	+	14,6
3,5	183	+	14,5	3,5	186	+	15,2
3,5	192	+	15,8	3	186	+	15,8
3	221	+	15,6	2	185	+	15,8
2	207	+	16,5	2	200	+	15,6
1,5	202	+	16,8	1,5	188	+	17,6
1,5	226	-	16,0	1,5	192	-	18,0
1,5	155	-	22,4	2	153	-	22,0
2	158	-	23,5	1,5	168	-	23,1
2	198	-	22,0	1	181	-	23,0
1,5	175	-	21,4	2	168	-	21,3
2,5	171	-	19,9	2	158	-	19,8
2	134	-	18,6	2	139	-	20,7
1	123	-	18,5	1	129	-	18,8

3.3. Ocena morfologii i składu mikrobiologicznego osadu

Analiza pozyskanych danych wykazała, że morfologia osadu czynnego w każdym z reaktorów była odmienna (Tab. 2). W ciągu technologicznym A występowały głównie kłaczkki określane jako średnie, sporadycznie zauważalne były kłaczkki duże lub bardzo małe. W komorach ciągu B zaobserwowano tendencję do tworzenia się kłaczków opisanych jako małe, a także nie zaobserwowano kłaczków dużych. Struktura kłaczków w obu ciągach była zmienna, z dominacją struktury średniej, luźnej. W pojedynczych przypadkach zaobserwowano tworzenie się kłaczków zwartych, jednakże nie były to częste i długotrwałe okresy. Kształt kłaczków, zarówno w reaktorze A oraz B, określono jako nieregularny, może to świadczyć o zbyt dużej liczbie bakterii nitkowatych lub grzybach rozwijających się w komorach.

Na podstawie danych składu mikrobiologicznego osadu można stwierdzić, że jego zróżnicowanie pod względem obecności różnych rodzajów organizmów w obu reaktorach było prawidłowe. Nie zauważono dużych rozbieżności w dominacji poszczególnych gatunków w osadzie z ciągu technologicznego A i B. Dość licznie w obu reaktorach występowały orzęski, stanowiły one najliczniejszą grupę mikroorganizmów obserwowanych w biomacie. Pojawiające się sporadycznie w osadzie czynnym w komorach ameby domkowe, oraz obecność nielicznych wiciowców, świadczą o prawidłowej pracy osadu w analizowanym okresie. Kolejnym czynnikiem świadczącym o prawidłowym przebiegu oczyszczania jest brak ameb nagich. W komorach osadu nie obserwowano obecności brzuchorzęsków, niesporczaków i skąposzczetów. Występowanie wrotków w komorach A i B było nieregularne. Sporadycznie występujące wrotki przyczyniały się do poprawy klarowności ścieków oczyszczonych i świadczą o bardzo dobrze rozwiniętym osadzie czynnym. W obu reaktorach obserwowano również okresy, w których dość licznie występowały wrotki – w takim przypadku mogą one rozbijać kłaczkki osadu, jednak stany te nie były długotrwałe. Bardzo rzadko obserwowano w osadzie nicienie. W reaktorach nie występowały bakterie rozproszone, oznacza to, że kłaczkki miały odpowiednią spójność. Nie obserwowano bakterii z rodzaju *Zooglea*, które ułatwiają tworzenie się kłaczków.

W Tab. 3 zestawiono parametry mające wpływ na powstawanie piany w reaktorach. Analiza danych wykazała, że na występowanie piany w reaktorach



Rys. 10. Stężenie związków organicznych i biogennych w ściekach oczyszczonych mechanicznie i biologicznie oraz skuteczność ich usuwania
 Fig. 10. Concentrations of organic compounds and biogenic compounds in mechanically and biologically treated wastewater and their removal efficiency

miała wpływ temperatura. Wartością graniczną, przy której następował zanik piany była temperatura około 18°C. Niższe wartości temperatury mogły sprzyjać powstawaniu piany. Dodatkowym czynnikiem umożliwiającym ten proces jest wysoki indeks bakterii nitkowatych. Parametrem świadczącym o zaburzeniach sedimentacji jest IO, natomiast piany powstająca na powierzchni reaktora utrudnia prawidłową sedimentację. Jak wynika z danych, obecność piany miała wpływ na zwiększone wartości indeksu osadu.

3.4. Efektywność oczyszczania ścieków w części biologicznej

Efektywność usuwania związków organicznych określonych wskaźnikami BZT₅ i ChZT, fosforu ogólnego, azotu całkowitego oraz azotu amonowego przedstawiono na Rys. 10.

Sprawność usuwania substancji zanieczyszczających w rzeźwskiej oczyszczalni, w roku 2019, była prawidłowa i utrzymywała się zazwyczaj na poziomie powyżej 90%. Oznacza to, że jakość odprowadzanych ścieków spełniała normy prawne i wymagania określone w przepisach. Z przeprowadzonej analizy wynika, że efektywność zmniejszania BZT₅, bez względu na wahania wartości w ściekach oczyszczonych mechanicznie, pozostawała na bardzo wysokim poziomie i wynosiła niemal 100%. Podobne wartości uzyskano w przypadku ChZT, przy średniej sprawności redukcji wynoszącej 93,7%. Warto zaznaczyć, że maksymalna odnotowana zawartość związków organicznych, określonych wskaźnikiem ChZT, w ściekach dopływających do KOCz wyniosła 1250 mg O₂/dm³. Średnia sprawność usuwania fosforu ogólnego była równa 95,2%. Z otrzymanych danych wynika, że stężenie związków fosforu w ściekach oczyszczonych nie przekroczyło dopuszczalnej wartości. Średnia efektywność usuwania azotu ogólnego wynosiła 90,5%, zaś azotu amonowego 99%. Warto zauważyć, że dla azotu ogólnego zanotowano najniższe wartości efektywności – oscylowały one od 81,6 do 95,6%, przy czym 1/3 wyników stanowiły te poniżej 90%. Może to wskazywać na niepełne zachodzenie denitryfikacji. Wysoka sprawność oczyszczania biologicznego oznacza, że parametry technologiczne osadu czynnego, morfologia kłaczków oraz skład mikrobiologiczny biomasy były prawidłowe i wpływały korzystnie na procesy nityfikacji, denitryfikacji oraz defosfatacji biologicznej.

4. Podsumowanie

Po przeprowadzonej analizie stwierdzono, że parametry technologiczne osadu czynnego, jego skład mikrobiologiczny oraz morfologia były na ogół prawidłowe. Nie można zignorować wpływu przekroczeń pojawiających się w zestawieniu indeksu osadu. Utrzymywanie zbyt wysokiego poziomu tego parametru może mieć zły wpływ na zdolności sedymentacyjne osadu, czego konsekwencją będzie pogorszona jakość odpływu. Należy podkreślić, że w analizowanym okresie, komory osadu czynnego pracowały w nieco odmiennych warunkach technologicznych, a świadczą o tym różnice w wartościach stężenia biomasy, indeksu osadu, czy też wieku osadu. Można stwierdzić, że utrzymywanie w obu komorach temperatury na poziomie od 18 do 24°C może przyczynić się do uzyskiwania prawidłowych wartości parametru IO. Może to równocześnie spowodować nieznaczny wzrost stężenia osadu w komorach, a także w pewnym stopniu zwiększyć wiek osadu. Optymalne wartości indeksu osadu oraz kontrola wieku osadu, będą miały korzystny wpływ na utrzymywanie stałego, projektowego obciążenia osadu ładunkiem BZT₅. Warto podkreślić, że obserwowany kształt kłaczków był zasad-

niczo nieregularny, a wpływ na to mogły mieć bakterie nitkowate występujące w zbyt dużych ilościach. Nie można zignorować braku obecności bakterii z rodzaju *Zooglea*, które ułatwiają formowanie się kłaczków. W początkowych okresach 2019 roku zaobserwowano tworzenie się piany na powierzchni reaktorów. Ustalono, że wpływ na ten proces miała zbyt niska temperatura w połączeniu ze zbyt wysokim indeksem bakterii nitkowatych. Wpływało to na utrudnienie sedimentacji, co skutkowało wysokimi wartościami parametru IO. Stopień efektywności biologicznego oczyszczania ścieków w przedmiotowej oczyszczalni, w 2019 roku, był wysoki. Oczyszczalnia spełniała normy prawne, które pozwalają odprowadzać ścieki oczyszczone do odbiornika, którym jest rzeka Wisłok.

LITERATURA

- [1] Błaszczak Mieczysław Kazimierz. 2019. „Biologiczne aspekty oczyszczania ścieków”. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- [2] Buck Harald. 1999. „Mikroorganizmy w osadzie czynnym”. Wyd. Seidel-Przywecki.
- [3] Eikelboom D.H., van Buijsen H.J.J. 1999. „Podręcznik mikroskopowego badania osadu czynnego”. Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa.
- [4] Fijałkowska Edyta, Fyda Janusz, Pajdak-Stós Agnieszka, Wiąckowski Krzysztof. 2010. „Osad czynny, biologia i analiza mikroskopowa”. Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa.
- [5] Hartmann L. 1996. „Biologiczne oczyszczanie ścieków”. Wyd. Instalator Polski, Warszawa.
- [6] Kalinowska Ewa, Bonar Grzegorz, Duma Jarema. 2005. „Zasady i praktyka oczyszczania ścieków”. Wyd. Lem-Tech Consulting.
- [7] Kocwa-Haluch Renata, Woźniakiewicz Teresa. 2011. „Analiza mikroskopowa osadu czynnego i jej rola w kontroli procesu technologicznego oczyszczania ścieków”. *Environmental Engineering* 6: 141–162.
- [8] Kołton M., Powązka E., Szmida M. „Prekursory wczesnej identyfikacji kondycji osadu czynnego jako działania proekologiczne w oczyszczalni ścieków JSW KOKS S.A”. Prezentacja Multimedialna [dostęp 14.03.2021].
- [9] Lenart Anna, Kowalska Agnieszka. 2012. „Wykorzystanie osadu czynnego w oczyszczaniu ścieków”. *KOSMOS – problemy nauk biologicznych* 61 (4): 677–689.
- [10] Michalska Justyna, Mroziak Agnieszka. 2018. „Zastosowanie bioaugmentacji w procesach biologicznego oczyszczania ścieków i utylizacji osadów”. *Ochrona środowiska* 40 (1): 35–44.
- [11] „Oczyszczanie ścieków – wykład 5. Kłacek osadu czynnego”. Prezentacja multimedialna. Politechnika Wroclawska [dostęp 14.03.2021].
- [12] Praca zbiorowa pod red. Dymaczewskiego Zbysława. 2011. „Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków”. Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa.
- [13] Smyk Joanna, Puchlik Monika, Korsan Agata. 2016. „Wpływ temperatury na efektywność pracy oczyszczalni ścieków w Białymstoku”. *Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska* 7: 209–222.
- [14] Zbiór materiałów informacyjnych część I, udostępnionych przez Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o. o. w Rzeszowie. 2020.
- [15] Zbiór materiałów informacyjnych część II, udostępnionych przez Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o. o. w Rzeszowie. 2020.
- [16] Strona internetowa: <https://rzeszow24.pl/rzeszow-z-nagroda-top-inwestycje-polski-wschodniej-2019-1768-00r2kc/> [dostęp 11.05.2021].
- [17] Strona internetowa: <https://www.ecologycenter.us/wastewater-treatment-2/info-gyb.html> [dostęp: 17.11.2020].