

Marcin Głodniok, Dariusz Zdebik*, Krzysztof Korczak**

WYKORZYSTANIE POMIARÓW AKTYWNOŚCI ODDECHOWEJ OSADU CZYNNEGO DO KONTROLI PRZEBIEGU PROCESÓW BIOLOGICZNEGO OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW

Streszczenie

W niniejszym artykule opisano wyniki badań przeprowadzonych w oczyszczalni Rybnik-Orzepowice w ramach projektu celowego nr 6 ZR7 2008C/07051 pt. „Zwiększenie redukcji biogenów przez optymalizację procesu biologicznego oczyszczania ścieków w oczyszczalni ścieków Rybnik-Orzepowice”. Opisane w artykule badania wykonano w kwietniu i maju 2010 roku (cztery dni pomiarowe), wykorzystując do tego celu przenośny respirometr Bioscope. Otrzymane wyniki zestawiono z odczytami ze stacjonarnych sond tlenowych. Wykonano również porównawczy laboratoryjny test na wyznaczenie aktywności oddechowej osadu czynnego w celu sprawdzenia poprawności wyników otrzymywanych z wykorzystaniem respirometru. Badania te były częścią prac prowadzonych w ramach projektu celowego, a także próbą wykorzystania zdobytych doświadczeń badawczych, w warunkach rzeczywistych eksploatacji biologicznych oczyszczalni ścieków.

Use of measurements of activated sludge respiratory activity for the control of the course of biological wastewater treatment processes

Abstract

The present article describes the results of investigations carried out at the Rybnik-Orzepowice wastewater treatment plant in the framework of the targeted project No 6 ZR7 2008C/07051 entitled “Biogene reduction increase through the optimisation of the biological wastewater treatment process at the Rybnik-Orzepowice wastewater treatment plant”. The described investigations were carried out in April and May 2010 (four measurement days), using for this purpose a transportable Bioscope respirometer. The obtained results were compared with read-outs from stationary oxygen probes. Moreover, a comparative laboratory test was carried out regarding the determination of activated sludge respiratory activity in order to verify the correctness of results received using the respirometer. The investigations constituted a part of studies conducted in the framework of the targeted project and an attempt to use research experiences and those obtained in the framework of this project, in real conditions of exploitation of biological wastewater treatment plants.

WPROWADZENIE

Biologiczne procesy oczyszczania ścieków z wykorzystaniem osadu czynnego wiąże się z koniecznością natleniania osadu. Dostarczanie powietrza (aeratory, ruszty napowietrzające i inne) jest niezbędne do usuwania amoniaku z dopływających ścieków. Amoniak jest utleniany w fazie nityfikacji, przy udziale bakterii nityfikacyjnych np. *Nitrosomonas* (Kunicki-Goldfinger 2008; Miksch 2010). Odpowiednie stężenie tlenu rozpuszczonego (DO) powinno zapewniać prawidłowy przebieg proce-

* Główny Instytut Górnictwa

su. Przebieg procesu utleniania amoniaku można obserwować podczas prowadzenia testów laboratoryjnych, takich jak: AUR – *ammonia uptake rate* oraz OUR – *oxygen uptake rate* (Davies 2004; Zuojun 2000). Dzięki tego typu badaniom można wysnuć wnioski dotyczące optymalnego stężenia tlenu w komorach osadu czynnego, aby procesy przeprowadzane przez mikroorganizmy przebiegały wydajnie i bez zakłóceń.

Kontrolowanie aktywności oddechowej osadu czynnego i wyznaczenie wartości OUR osadu w stanie endogennym, podczas dopływu ścieków oraz w obecności substancji toksycznych, może dostarczyć operatorom oczyszczalni informacji odnośnie do pracy osadu czynnego w różnych warunkach (Davies 2007; Gray 2004). Informacje dotyczące fizjologicznego stanu osadu czynnego oraz aktywności oddechowej są podstawą potwierdzenia dobrego stanu osadu, od którego zależy prawidłowy przebieg procesów biochemicznych zachodzących w komórkach mikroorganizmów, znajdujących się w biomacie osadu czynnego (Okutman 2010; Schlegel 2005). Wyznaczenie krytycznych parametrów tlenowych dla układu technologicznego z wykorzystaniem osadu czynnego do biologicznego oczyszczania ścieków umożliwi precyzyjne określenie ilości tlenu rozpuszczonego, niezbędnego do prawidłowej pracy biologicznej części oczyszczalni. W związku z tym, że każda oczyszczalnia charakteryzuje się innymi warunkami pracy, informacje dotyczące ilości tlenu dostarczanego do osadu pomogą lepiej zrozumieć procesy biochemiczne zachodzące w komorach osadu czynnego operatorom oczyszczalni ścieków (Gray 2004; Sadecka 2010).

Do poznania specyfiki pracy osadu w oczyszczalni oraz określenia optymalnych parametrów napowietrzania, mogą być stosowane nowoczesne przenośne urządzenia, służące do pomiaru aktywności oddechowej osadu czynnego.

W niniejszym artykule opisano badania aktywności oddechowej osadu czynnego wykonane za pomocą przenośnego respirometru Bioscope. Wyznaczenie z użyciem tego urządzenia krytycznego punktu tlenowego – czyli stężenia tlenu znajdującego się w komorze osadu czynnego, poniżej którego osad czynny przestaje funkcjonować prawidłowo, może przyczynić się do wspomagania procesów decyzyjnych, dotyczących sterowania natlenianiem komór biologicznych (Aspraya, Carvalho, Philp 2007; Sadecka 2010).

1. MATERIAŁY I METODY

Badania aktywności oddechowej osadu czynnego wykonano w mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków Rybnik-Orzepowice w dniach 16 i 22 kwietnia oraz 11 i 14 maja 2010 roku, w komorach osadu czynnego podczas trwania nityfikacji. Oczyszczalnia Rybnik-Orzepowice pracuje w układzie BIODENIPHO. Specyfika układu polega na zastosowaniu technologii sekwencyjno-przepływowej (BIODENIPHO) w stopniu biologicznego oczyszczania ścieków, ze wstępną komorą beztlenową i sekwencją faz w reaktorach, stosowaną do biologicznego usuwania azotu i fosforu. Eksploatacja komór polega na naprzemiennej pracy parami – jedna z komór jest napowietrzana, a w drugiej zachodzi mieszanie. W komorze napowietrzanej panują warunki tlenowe do przeprowadzenia nityfikacji. W drugiej występują warunki beztlenowe do prowadzenia procesów denityfikacji. Do sterowania dopływem i odpływem ścieków zastosowano: cztery zasuwy sterujące dopływem, cztery zasuwy

sterujące odpływem. Do komory beztlenowej oraz do reaktorów jest doprowadzany osad z osadników wtórnych przez pompownię osadu recyrkulowanego.

Do wykonania pomiarów aktywności oddechowej osadu czynnego użyto przenośnego respirometru Bioscope. Respirometr ten został kupiony przez Zakład Ochrony Wód Głównego Instytutu Górnictwa w ramach grantu „Modernizacja zaplecza badawczego w ramach programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka priorytet 2 działanie 2.1 nr 08055923”. Urządzenie to nie jest powszechnie używane w oczyszczalniach ścieków do określania stanu osadu czynnego. Zostało ono wykorzystane w projekcie celowym nr 6 ZR7 2008C/07051 pt. „Zwiększenie redukcji biogenów przez optymalizację procesu biologicznego oczyszczania ścieków w oczyszczalni ścieków Rybnik-Orzepowice” realizowanym przez Konsorcjum Przemysłowo-Naukowe, tj. Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Rybniku i Zakład Ochrony Wód Głównego Instytutu Górnictwa. Pomiary mogą być prowadzone w warunkach rzeczywistych bezpośrednio w obiektach przemysłowych. Możliwość wykonywania takich pomiarów daje Mobilne Badawcze Laboratorium (MBL) Zakładu Ochrony Wód, które jest wyposażone między innymi w respirometr Bioscope.

Przenośny respirometr Bioscope składa się z zamykanej komory pomiarowej z mieszałem, w której znajduje się czujnik temperatury oraz elektroda tlenowa, stanowiąca podstawowy element pomiarowy sprzętu (Gray 2004).

Elektroda zainstalowana w urządzeniu Bioscope jest polarograficzną elektrodą typu Clarka, z katodą o 22 mikronach średnicy z platyny i anody ze srebra (chlorek srebra) znajdującą się w buforowym roztworze elektrolitu (chlorek potasu). W typowej konfiguracji katoda pokryta jest membraną polipropylenową o stosunkowo małej przepuszczalności, aby elektroda mogła być stosowana w niemieszanych lub minimalnie mieszanych roztworach. Takie membrany charakteryzuje stosunkowo powolny czas reakcji. Do szybkiego pomiaru aktywności oddechowej preparatów enzymatycznych, zastosowano cienką membranę FEP (tetrafluoroetylen/heksafluoropropylen). Aby pomiar był prawidłowy konieczne jest szybkie mieszanie medium.

Respirometr Bioscope jest wyposażony w system rozpoznawania lokalizacji pomiaru. Z tyłu panelu sterowania jest umieszczony lokalizator, na podstawie którego można odczytać wszystkie dane pomiarowe z danego miejsca. Funkcja ta jest przydatna do zestawiania wyników z jednego punktu pomiarowego. Oprogramowanie zainstalowane w urządzeniu pozwala na wyznaczenie wartości OUR oraz krytycznego punktu tlenowego bezpośrednio po wykonaniu pomiaru w komorze osadu czynnego (KOCz).

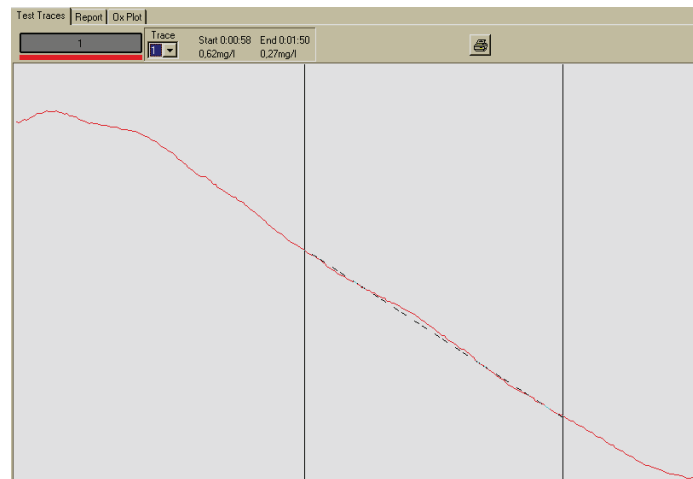
Pomiary można wykonywać w wytypowanych miejscach oczyszczalni; wystarczy zanurzyć otwartą komorę pomiarową w wybranym miejscu ciągu technologicznego, następnie ją zamknąć, poczekać na wykonanie pomiaru, a uzyskane wyniki będą widoczne na ekranie urządzenia (fot. 1).

Urządzenie w czasie rzeczywistym rejestruje dane, takie jak: temperatura ścieków, stężenie tlenu rozpuszczonego w ściekach, stopień zużycia tlenu przez osad. Na ich podstawie można określić aktywność oddechową osadu czynnego bezpośrednio po wykonaniu pomiaru. Specjalne oprogramowanie respirometru umożliwia późniejszą analizę wyników. Wszystkie dane zostają zapisane w pamięci urządzenia.



Fot. 1. Komora pomiarowa Bioscope oraz dotykowy ekran służący do sterowania urządzeniem, z możliwością natychmiastowego analizowania otrzymanych wyników

Photo. 1. Bioscope measurement chamber and tactile screen serving to steer the device, with the possibility of immediate analysing of obtained results



Rys. 1. Wykres z programu AS Bioscope Analyse, obrazujący proces aktywności oddechowej zachodzący w komorze osadu czynnego

Fig. 1. Diagram from the AS Bioscope Analyses programme illustrating the respiratory activity process taking place in the activated sludge chamber

Używanie respirometru Bioscope umożliwia profilowanie oczyszczalni pod względem zapotrzebowania osadu na tlen oraz zestawianie uzyskanych wyników w dowolnej formie. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy wykres, uzyskany na podstawie pomiarów rzeczywistych, wygenerowany za pomocą programu komputerowego AS Bioscope Analyse. Program ten umożliwia edycję i obróbkę danych zgromadzonych za pomocą respirometru. Na wykresie jest widoczne znaczne zmniejszenie ilości tlenu w czasie wykonywania pomiaru, co można zinterpretować jako dużą aktywność oddechową osadu czynnego. W programie można wybrać obszar do analizy oraz określić czas rozpoczęcia i zakończenia pomiaru. Kierunek i nachylenie krzywej wskazuje na szybkie zużywanie tlenu przez osad czynny. Warunkiem wyznaczenia krytycznego punktu tlenowego jest całkowite wykorzystanie tlenu rozpuszczonego w osadzie znajdującym się w komorze pomiarowej respirometru.

2. PRZEBIEG BADAŃ W WARUNKACH RZECZYWISTYCH

Pomiar aktywności oddechowej osadu czynnego wykonano bezpośrednio w komorach osadu czynnego (fot. 2) w czasie trwania nityfikacji. Próbki pobierano co około 5 min, przez całą fazę nityfikacji czyli przez 90 min. Osad pobierano do komory pomiarowej respirometru, a następnie mierzono zużycie tlenu rozpuszczonego przez mikroorganizmy osadu czynnego aż do osiągnięcia warunków beztlenowych.



Fot. 2. Pomiar aktywności oddechowej osadu czynnego przy użyciu respirometru bezpośrednio w komorze osadu czynnego

Photo. 2. Measurement of activated sludge respiratory activity using the respirometer directly in the activated sludge chamber

3. WYNIKI POMIARÓW AKTYWNOŚCI ODDECHOWEJ OSADU CZYNNEGO W WARUNKACH RZECZYWISTYCH

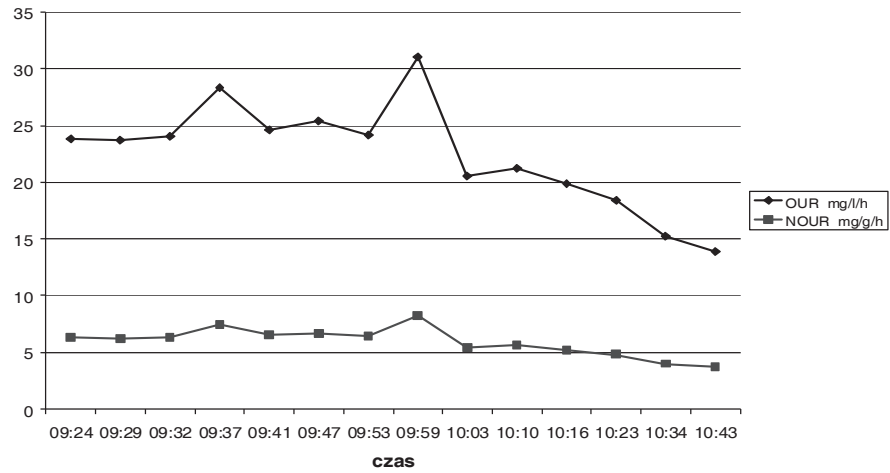
Poniżej przedstawiono wykresy (rys. 2–12), sporządzone na podstawie wyników pomiarów polowych, przedstawiające zależności OUR, NOUR (znormalizowany o suchą masę osadu) oraz stężenie tlenu w komorze i krytyczny punkt tlenowy. Pomiarzy były prowadzone w kwietniu i maju 2010 roku. Zmiany stężenia tlenu w komorze, uzyskane za pomocą respirometru, porównano z wynikami ze stacjonarnych sond tlenowych Endress + Hauser Liquisys S, zainstalowanych na komorach osadu czynnego. Odniesiono je również do wartości krytycznego punktu tlenowego, który był wyliczony za pomocą oprogramowania AS Bioscope. Różnicę pomiędzy stężeniem tlenu w komorze, a wynikami otrzymanymi z pomiarów (wartości krytycznego punktu tlenowego) przedstawiono jako wartości chwilowe i średnie dla całej fazy. Dla tych wartości został wyliczony krytyczny punkt tlenowy. Badania wykonano w różnych dniach i w różnych godzinach przez całą fazę nityfikacji, aby sprawdzić, czy istnieje zależność między otrzymanymi wynikami a godziną, w której była prowadzona nityfikacja oraz czy średnia wartość krytycznego punktu tlenowego dla różnych faz będzie zbliżona.

Wyniki badań z dnia 16.04.2010 r.

Czas trwania pomiaru: ~ 1,5 h.

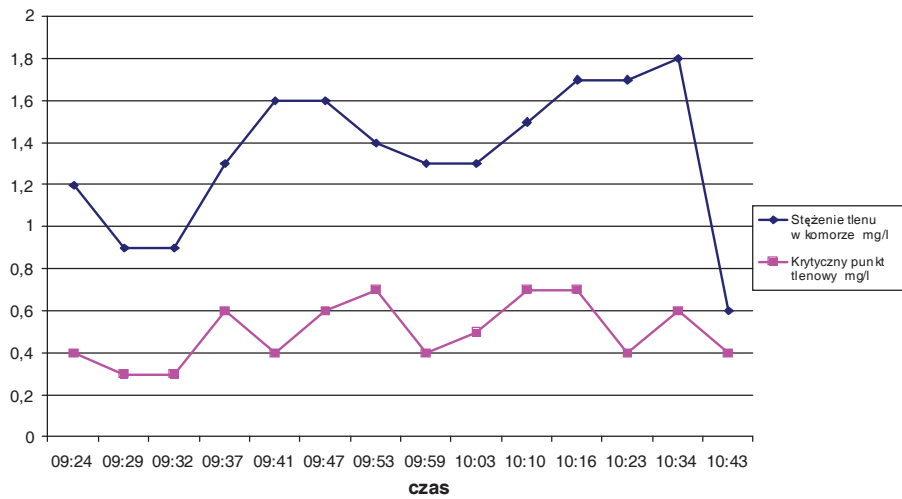
Sucha masa osadu w komorze osadu czynnego: 3,8 g/l.

Temperatura w komorze osadu czynnego: 12,8°C.



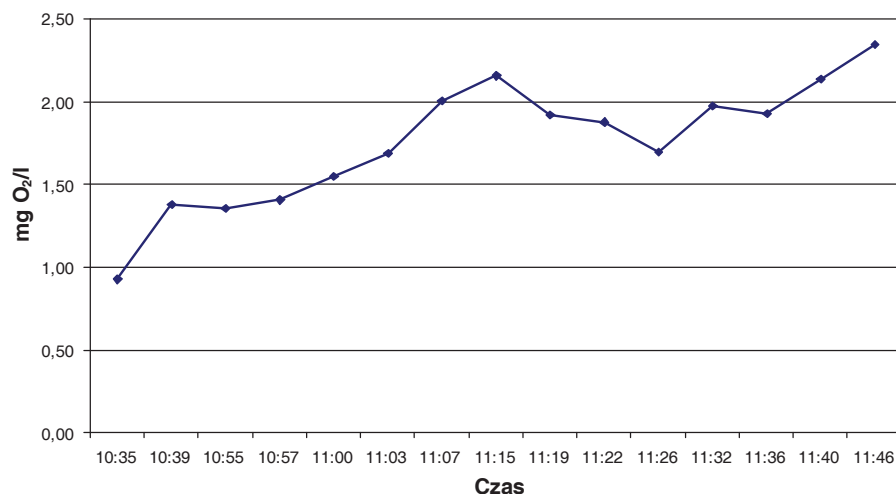
Rys. 2. Szybkość pobierania tlenu (OUR) oraz jednostkowa szybkość pobierania tlenu, przeliczona z uwzględnieniem stężenia osadu czynnego (NOUR) – pomiar prowadzony w fazie nityfikacji

Fig. 2. Oxygen uptake rate (OUR) and oxygen uptake rate per unit converted with regard to the activated sludge concentration (NOUR) – measurement conducted in the nitrification phase



Rys. 3. Stężenie tlenu w komorze osadu czynnego porównane z krytycznym punktem tlenowym – pomiar prowadzony w fazie nityfikacji

Fig. 3. Oxygen concentration in the activated sludge chamber compared with the critical oxygen point – measurement conducted in the nitrification phase



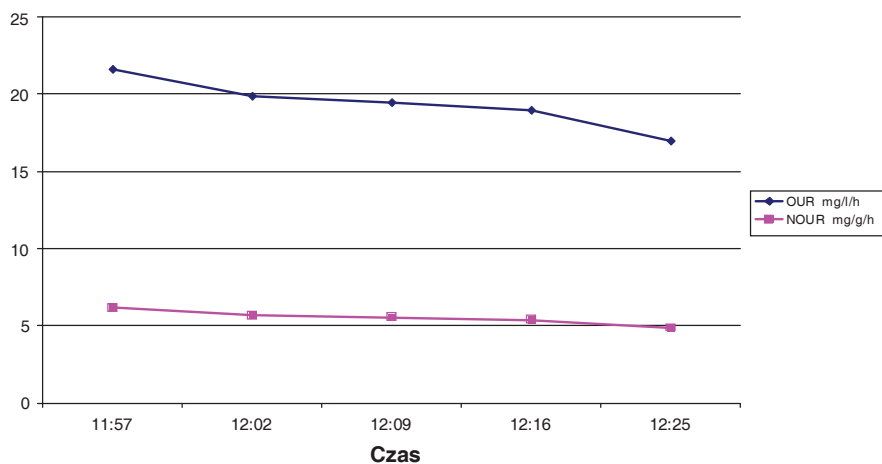
Rys. 4. Wyniki pomiaru ze stacjonarnej sondy tlenowej zainstalowanej w komorze osadu czynnego
 Fig. 4. Measurement results from the stationary oxygen probe installed in the activated sludge chamber

Wyniki badań z dnia 22.04.2010 r.

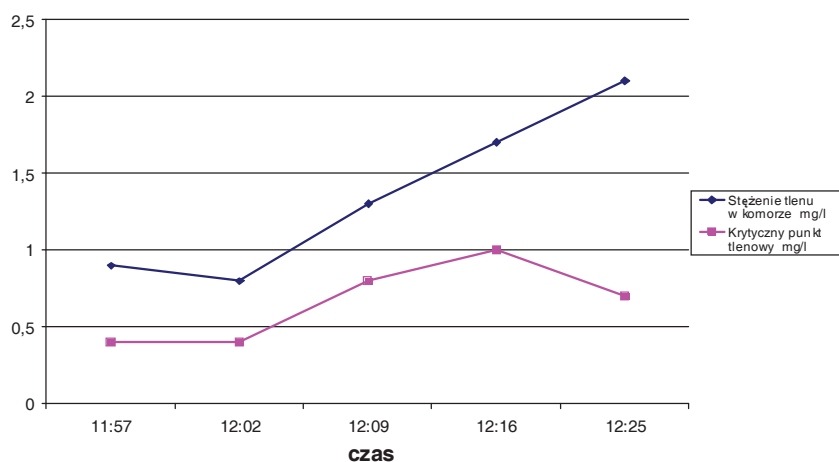
Czas trwania pomiaru: ~ 30 min.

Sucha masa osadu w komorze osadu czynnego: 3,5 g/l.

Temperatura w komorze osadu czynnego: 12,9°C.

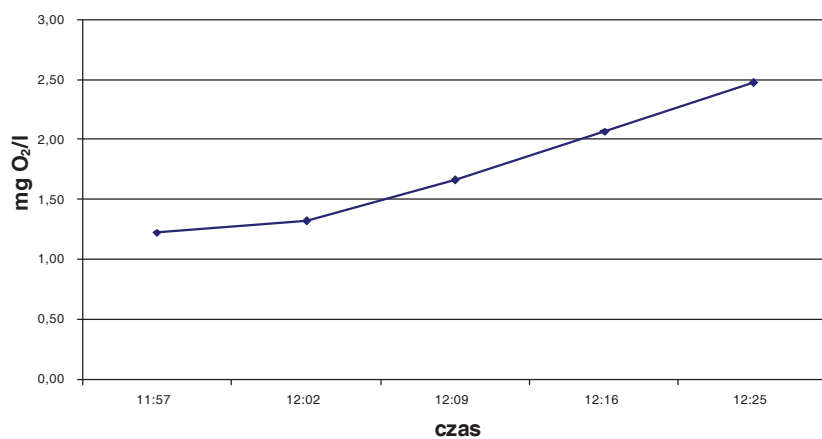


Rys. 5. Szybkość pobierania tlenu (OUR) oraz jednostkowa szybkość pobierania tlenu, przeliczona z uwzględnieniem stężenia osadu czynnego (NOUR) – pomiar prowadzony w fazie nityfikacji
 Fig. 5. Oxygen uptake rate (OUR) and oxygen uptake rate per unit converted with regard to the activated sludge concentration (NOUR) – measurement conducted in the nitrification phase



Rys. 6. Stężenie tlenu w komorze osadu czynnego porównane z krytycznym punktem tlenowym – pomiar prowadzony w fazie nitrifikacji

Fig. 6. Oxygen concentration in the activated sludge chamber compared with the critical oxygen point – measurement conducted in the nitrification phase



Rys. 7. Wyniki pomiaru ze stacjonarnej sondy tlenowej zainstalowanej na komorze osadu czynnego

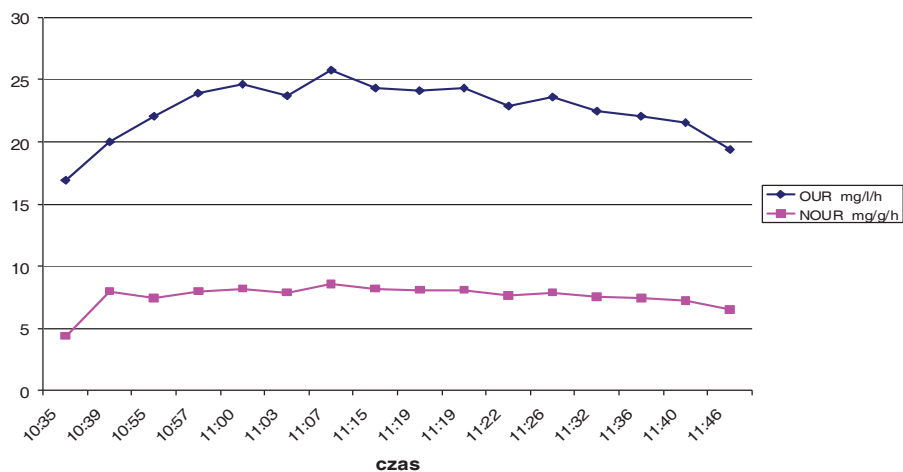
Fig. 7. Measurement results from the stationary oxygen probe installed in the activated sludge chamber

Wyniki analiz z dnia 11.05.2010 r.

Czas trwania pomiaru: ~ 1,5 h.

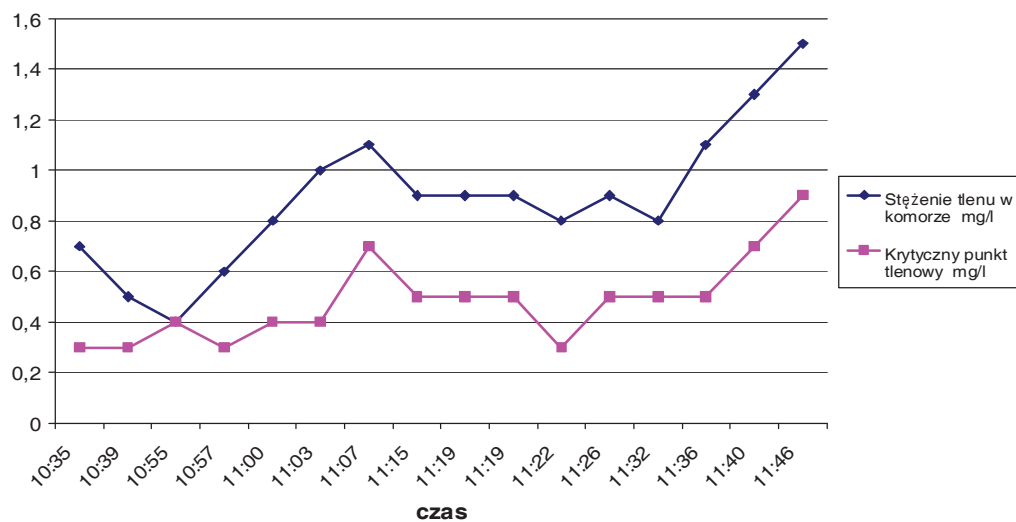
Sucha masa osadu w komorze osadu czynnego: 3,8 g/l.

Temperatura w komorze osadu czynnego: 14,9°C.



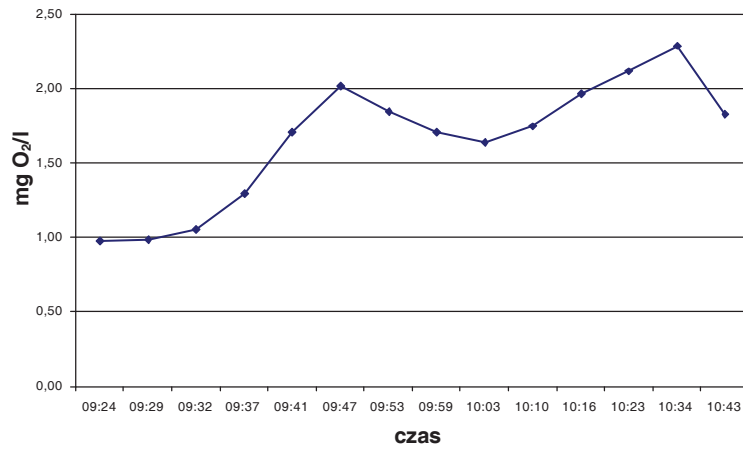
Rys. 8. Szybkość pobierania tlenu (OUR) oraz jednostkowa szybkość pobierania tlenu, przeliczona z uwzględnieniem stężenia osadu czynnego (NOUR) – pomiar prowadzony w fazie nityfikacji

Fig. 8. Oxygen uptake rate (OUR) and oxygen uptake rate per unit converted with regard to the activated sludge concentration (NOUR) – measurement conducted in the nitrification phase



Rys. 9. Stężenie tlenu w komorze osadu czynnego porównane z krytycznym punktem tlenowym – pomiar prowadzony w fazie nityfikacji

Fig. 9. Oxygen concentration in the activated sludge chamber compared with the critical oxygen point – measurement conducted in the nitrification phase



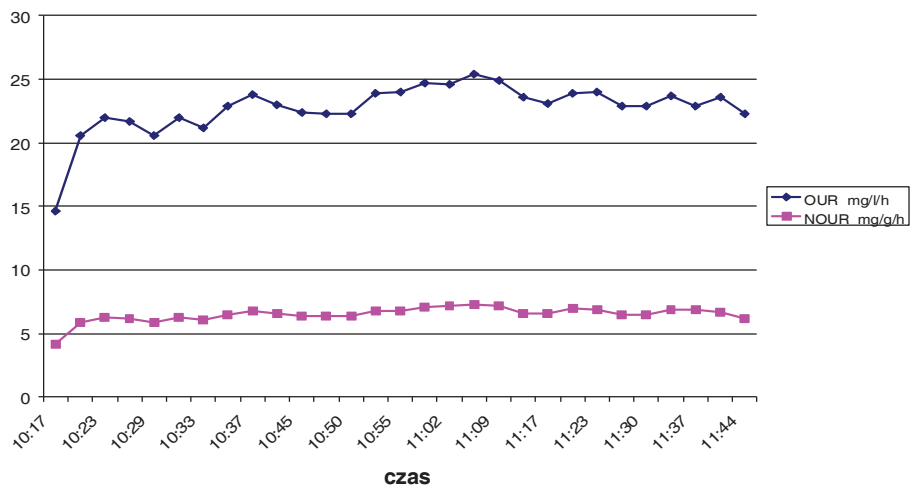
Rys. 10. Wyniki pomiaru ze stacjonarnej sondy tlenowej zainstalowanej w komorze osadu czynnego
Fig. 10. Measurement results from the stationary oxygen probe installed in the activated sludge chamber

Wyniki analiz z dnia 14.05.2010 r.

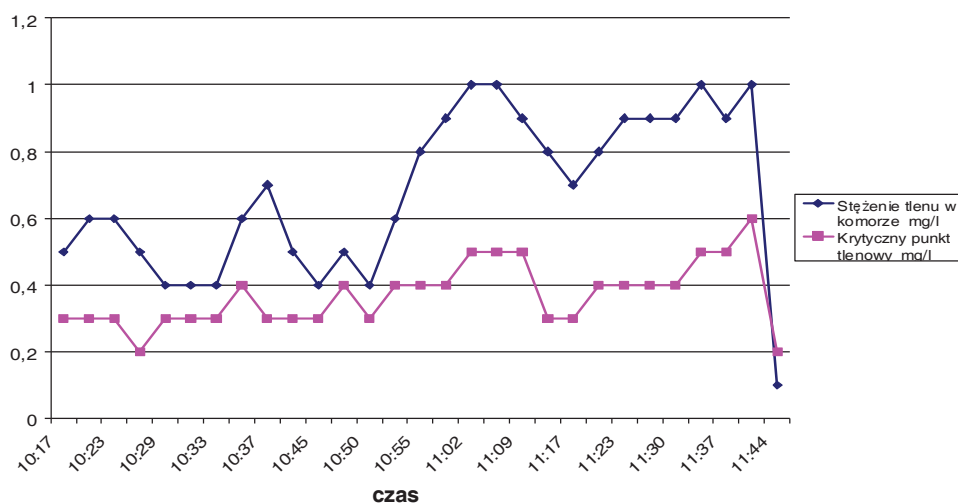
Czas trwania fazy: ~ 1 h 30 min.

Sucha masa osadu: 3,5 g/l.

Temperatura: 14,7°C.



Rys. 11. Szybkość pobierania tlenu (OUR) oraz jednostkowa szybkość pobierania tlenu przeliczona z uwzględnieniem stężenia osadu czynnego (NOUR) – pomiar prowadzony w fazie nityfikacji
Fig. 11. Oxygen uptake rate (OUR) and oxygen uptake rate per unit converted with regard to the practical sludge concentration (NOUR) – measurement conducted in the nitrification phase



Rys. 12. Stężenie tlenu w komorze osadu czynnego porównane z krytycznym punktem tlenowym – pomiar prowadzony w fazie nityfikacji

Fig. 12. Oxygen concentration in the activated sludge chamber compared with the critical oxygen point – measurement conducted in the nitrification phase

Zbiorcze wyniki pomiarów uzyskanych bezpośrednio z respirometra oraz z sond tlenowych przedstawiono w tabelicy 1.

Tablica 1. Uśrednione wartości stężenia tlenu [mg O₂/l] w komorach osadu czynnego oraz uśredniony krytyczny punkt tlenowy

Data	Krytyczny punkt tlenowy	Pomiar stężenia tlenu	
		respiometrem Bioscope	sondą Endress
16.04.2010	0,5	1,34	1,66
22.04.2010	0,66	1,36	1,76
11.05.2010	0,48	0,90	1,76
14.05.2010	0,37	0,70	n. o.

4. WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH

W celu potwierdzenia skuteczności pomiarowej respirometru wykonano porównawcze badania szybkości pobierania tlenu przez osad czynny. Badania wykonano klasyczną metodą laboratoryjną, czyli jako test OUR. Osad czynny był napowietrzany przez około 2–3 godziny w celu usunięcia wszystkich związków, mogących stanowić łatwo rozkładalną pożywkę dla bakterii. Napowietrzony osad przelano do butelki szklanej umieszczonej na magnetycznym mieszadle, następnie dodano ścieki surowe po osadnikach wstępnych, aby zapewniony był nadmiar ChZT, rzędu 150–200 mg/l, i przystąpiono do pomiarów stężenia tlenu za pomocą sondy tlenowej. Wyniki odczytywano co 10 s przez około 10 min lub do osiągnięcia stężenia tlenu poniżej 0,4 mg/l. Otrzymane wyniki były następujące: 36 mgO₂/l/h dla OUR, 9,6 mg O₂/g s.m./h dla NOUR i były zbliżone z wynikami badań wykonanych respirometrem Bioscope.

5. WNIOSKI Z PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Po przeanalizowaniu wykresów sporządzonych na podstawie wyników badań stwierdzono różnicę między krytyczną ilością tlenu a rzeczywistym natlenieniem komór. Zauważalna była również zależność między zmianami natlenienia w komorze a aktywnością oddechową osadu czynnego i krytycznymi stężeniami tlenu. Można przypuszczać, że po prowadzeniu badań w danym obiekcie przez dłuższy czas, w lecie i w zimie, zebranie danych dotyczących krytycznego punktu tlenowego i rzeczywistego natlenienia komór umożliwi określenie optymalnego stężenia tlenu niezbędnego do prawidłowego procesu nityfikacji. W przypadku, gdy wartość krytycznego punktu tlenowego będzie większa niż stężenie tlenu w komorach, będzie konieczne zwiększenie ilości doprowadzanego powietrza.

Wyznaczony krytyczny punkt tlenowy przy użyciu respirometru Bioscope wynosił od 0,4 do 0,7 mg O₂/l, przy początkowym stężeniu około 1,2 mg O₂/l notowanym przez sondę tlenową zainstalowaną w urządzeniu. Parametr ten wahał się w zależności od godzin wykonywania pomiarów oraz od czasu trwania fazy. Mała wartość krytycznego punktu tlenowego wskazała na niewielkie zapotrzebowanie na tlen osadu czynnego wykorzystywanego w komorach biologicznych oczyszczalni Rybnik-Orzepowice. Według danych literaturowych średnie zapotrzebowanie osadu czynnego na tlen wynosi 2 mg O₂/l. Aby zapewnić optymalne warunki procesu nityfikacji, zasadne wydaje się sprawdzenie czy nityfikacja, przy stężeniu tlenu około 1 mg O₂/l, będzie w dalszym ciągu przebiegała efektywnie. Ilość tlenu rozpuszczonego powinna zostać sprawdzona w warunkach rzeczywistych, z jednoczesnym wyznaczeniem szybkości nityfikacji na podstawie pomiarów on line z sondy azotu amonowego.

Zmniejszenie natleniania z 2 do 1 mg O₂/l spowoduje zmniejszenie kosztów eksploatacji obiektu przez zmniejszenie wydatków na energię elektryczną (Sadecka 2010).

Literatura

1. Aspraya T.J., Carvalho D.J.C., Philp J.C. (2007): Application of soil slurry respirometry to optimise and subsequently monitor ex situ bioremediation of hydrocarbon-contaminated soils. *International Biodeterioration & Biodegradation* No 60.
2. Davies P.S. (2004): *The Biological Basis of Wastewater Treatment*. Strathkelvin Instruments Ltd.
3. Gray N.F. (2004): *Biology of Wastewater Treatment*. Imperial College Press, Scotland.
4. Kunicki-Goldfinger W.J.H. (2008): *Życie bakterii*. Warszawa, Wydaw. Naukowe PWN.
5. Miksch K., Sikora J., Surmacz-Górska J. (2010): Kilka mitów i prawd o nityfikacji. *Forum Eksploatatora* No 3.
6. Okutman Tas D. (2010): Respirometric assessment of aerobic sludge stabilization. *Biore-source Technology* No 101.
7. Schlegel H.G. (2005): *Mikrobiologia ogólna*. Warszawa, Wydaw. Naukowe PWN.
8. Zuojun N., Gilles P.M., Spanjers H. (2000): Identification and quantification of nitrogen Nutrient deficiency in the activated sludge, process using respirometry. *Wat. Res.* Vol. 34, No 13.
9. Sadecka Z. (2010): *Podstawy biologicznego oczyszczania ścieków*. Warszawa, Wydaw. Seidel-Przywecki Sp. z o.o.

Recenzent: dr Krzysztof Mitko