

*Marcin Głodniok\* , Krzysztof Korczak\* , Dariusz Zdebik\**

## **METODYCZNE ASPEKTY ANALIZY AKTYWNOŚCI ODDECHOWEJ MIKROORGANIZMÓW OSADU CZYNNEGO W ODNIESIENIU DO MOŻLIWOŚCI OPTYMALIZACJI PRACY BIOLOGICZNEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW**

### **Streszczenie**

Artykuł opracowano w związku z realizacją projektu „Modernizacja zaplecza badawczego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka priorytet 2 działanie 2.1 nr 08055923”. Przedstawiono w nim nieznaną dotąd w Polsce metodykę optymalizacji pracy biologicznego stopnia oczyszczalni ścieków na podstawie kontroli aktywności oddechowej osadu czynnego, z wykorzystaniem sterowanego procesu napowietrzania. Omówiono znaczenie pomiarów respirometrycznych w procesach biochemicznych, decydujących o aktywności oddechowej osadu czynnego, a także zależność zmian fazy maksymalnej aktywności oddechowej od dopływu substancji odżywczych. Scharakteryzowano sprzęt do analizy respirometrycznej osadu czynnego w aspekcie możliwości wykorzystania go do optymalizacji pracy oczyszczalni. Przytoczono przykład optymalizacji pracy w oczyszczalni ścieków komunalnych w Cardiff. Na tej podstawie rozważono możliwość wykorzystania respirometrii do optymalizacji pracy polskich oczyszczalni i podano wstępne wyniki uzyskane w oczyszczalni w Rybniku-Orzepowicach.

### **Methodical aspects of analysis of respiratory activity of microorganisms in the activated sludge, in reference to the possibility of biological treatment plant work optimization**

### **Abstract**

The paper was developed in connection with realization of the project “Modernization of research background in frames of Operating Program Innovative Economy, priority 2 action 2.1 No. 08055923”. An unknown up to now in Poland, methodology was presented of work optimization of biological stage treatment plant, on a basis of control of respiratory activity in the activated sludge, with utilization of steered process of the airing. The meaning of respiratory measurements was discussed, in biochemical processes decisive for respiratory activity of the activated sludge, and also the dependence of changes of maximum respiratory activity phase from inflow of nutritious substances. The equipment was characterized for respirometric analysis of the activated sludge, in aspect of possibility of its use for optimization of treatment plant work. An example was mentioned of work optimization in municipal wastes’ treatment plant in Cardiff. The possibility of respirometry use was considered on this basis for work optimization of Polish treatment plants and preliminary results were presented obtained in treatment plant in Rybnik-Orzepowice.

### **WPROWADZENIE**

W artykule omówiono zarys metodyki optymalizacji procesu napowietrzania komór osadu w oczyszczalni ścieków z zastosowaniem nowatorskich elementów jej wyposażenia. Specjalistyczne urządzenia analityczne, nadające się do wykorzystania

---

\* Główny Instytut Górnictwa.

w projektach badawczo-rozwojowych dotyczących pomiarów efektywności natleniania i wyznaczania krytycznych parametrów w komorach osadu czynnego, zostały zakupione w ramach grantu „Modernizacja zaplecza badawczego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka priorytet 2 działanie 2.1 nr 08055923”. Zastosowane analizatory nie zostały jeszcze wprowadzone na szeroką skalę, a w Polsce zostały użyte po raz pierwszy<sup>1)</sup>.

Z uwagi na regulacje prawne dotyczące zmniejszania ładunku substancji biogenych i toksycznych dopływających do środowiska wodnego, jest konieczne zwiększanie efektywności oczyszczania, przy równoczesnym obniżaniu jego kosztów. Zwiększoną efektywność oczyszczania można uzyskać przez optymalizację pracy części biologicznej oczyszczalni, polegającą na kontroli aktywności oddechowej bakterii występujących w osadzie czynnym. Obecnie w wielu oczyszczalniach utrzymuje się stężenie tlenu rozpuszczonego, wynoszące 2–3 mg/l, przez co doprowadza się do przetlenienia komór osadu, a tym samym do zwiększonego zużycia energii elektrycznej. Wykonywanie badań z zastosowaniem specjalistycznych urządzeń analitycznych pozwoli na wyznaczenie parametrów tlenowych wymaganych do prawidłowej pracy osadu czynnego, co wpłynie na zmniejszenie energochłonności systemu napowietrzania.

Aktywność oddechową drobnoustrojów można łatwo i szybko oznaczyć za pomocą specjalistycznych respirometrów, określając równocześnie parametry krytyczne dla przebiegu nityfikacji i denityfikacji w komorach osadu czynnego, takie jak: aktywność oddechowa mikroorganizmów, toksyczność, krótkoterminowy BZT, zdolność do nityfikacji. Parametry te są niezbędne między innymi do modelowania procesu oczyszczania. Bieżąca kontrola tych parametrów umożliwi szybką identyfikację dopływu substancji toksycznych w ściekach, a zatem także podjęcie działań zapobiegawczych w celu ochrony osadu czynnego. Szybko przeprowadzony test inhibicji nityfikacji przy użyciu, na przykład urządzenia Strathtox, pozwala na określenie punktu krytycznego, przy którym proces nityfikacji zostaje zatrzymany.

Proces nityfikacji przebiega w wyniku dostarczania powietrza, a wraz z nim tlenu, przez urządzenia napowietrzające (np. dmuchawy, areatory), które zużywają najwięcej energii. Istotne jest, aby optymalne natlenianie było utrzymane i zapewnione podczas całego procesu i nie doprowadzało do obumierania mikroorganizmów na skutek niedotlenienia, a tym samym odprowadzania nieoczyszczonych ścieków do wód (Wojnowska-Baryła, Stachowiak 1997). W związku z tym operatorzy oczyszczalni często doprowadzają do nadwyżki powietrza przez zbyt intensywne napowietrzanie, co zwiększa zużycie energii, a tym samym koszt oczyszczania ścieków. Prowadzenie działań związanych ze wskazaniem optymalnej ilości tłoczonego powietrza do komór biologicznych i świadome sterowanie oczyszczalnią, na podstawie wyników uzyskanych z analiz respirometrycznych, pozwoli na uzyskanie dobrych parametrów ścieków oczyszczonych, przy jednoczesnej redukcji kosztów napowietrzania.

---

<sup>1)</sup> Wykorzystane w niniejszym projekcie urządzenia Strathtox i Bioscope firmy Strathkelvin należą do szerszej grupy nowatorskich urządzeń, o zbliżonych parametrach użytkowych, produkowanych przez kilka konkurujących firm w USA i Europie.

## 1. AKTYWNOŚĆ ODDECHOWA OSADU CZYNNEGO

Wykonując pomiary respirometryczne osadu czynnego mierzy się efekt oddychania komórkowego, natomiast interpretacja wyników pomiarów pozwala na diagnozowanie zaburzenia tego procesu. Biologiczny sens oddychania komórkowego sprowadza się do wykorzystania energii chemicznej niezbędnej do budowy struktur komórkowych, zmagazynowanej uprzednio w substracie, jakim jest prosty związek organiczny. Uwolnienie energii następuje przez łączenie się atomów wodoru, pochodzących z substratu, z tlenem pobranym ze środowiska, natomiast „użytkową” postacią energii, tj. czynnikiem sprzęgającym oddychanie z procesami syntezy, jest ATP. W oddychaniu komórkowym wyróżnia się cztery etapy:

- 1) utlenianie cząsteczki substratu,
- 2) powstawanie acetylo-CoA,
- 3) przemiany zachodzące w cyklu Krebsa,
- 4) przemiany zachodzące w łańcuchu oddechowym.

Głównym (i powszechnie znanym) substratem oddechowym jest glukoza, a w przypadku innych substratów także mechanizm procesu oddychania, poczynając od momentu powstania acetylo-CoA, jest taki sam.

Oprócz utleniania związków organicznych, bardzo ważnym procesem zachodzącym w oczyszczalniach ścieków jest nityfikacja powodowana przez liczne gatunki bakterii (najważniejsze z nich należą do rodzajów *Nitrosomonas* i *Nitrobacter*). Nityfikacja jest związana z procesami chemosyntezy, tzn. jest procesem uwalniania energii w procesie utleniania prostych związków azotu. Bakterie *Nitrosomonas* utleniają amoniak w postaci jonu amonowego  $\text{NH}_4^+$  do azotynów (azotanów III)  $\text{NO}_2^-$ , które zostają później utlenione do azotanów(V)  $\text{NO}_3^-$  przez *Nitrobacter*. Dla obu gatunków bakterii końcowym akceptorem elektronów jest tlen. Będąc autotrofami, bakterie te wykorzystują  $\text{CO}_2$  jako źródło węgla, a jon amonowy jest wykorzystywany również jako źródło azotu. Przebieg procesu nityfikacji zależy od wielu parametrów: temperatury, dostępności tlenu rozpuszczonego, pH, stężenia substratów i produktów reakcji, a w mniejszym stopniu od liczby bakterii nityfikujących i rodzaju powierzchni, na której się rozwijają oraz dostępności światła. Oba gatunki bakterii są czułe na niekorzystne oddziaływanie substratów innych niż własne, tj. *Nitrosomonas* na obecność jonów  $\text{NO}_2^-$ , a *Nitrobacter* na jony  $\text{NH}_4^+$  (Klimiuk, Łebkowska 2003). Proces utleniania amoniaku wymaga zwiększenia ilości tlenu w komorze osadu czynnego; większa ilość tlenu powoduje podwyższenie krytycznego punktu tlenu. Po tym etapie zostaje zakończone utlenianie amoniaku. Wspomaganie procesów biosyntezy odbywa się przez dostarczanie łatwo przyswajalnego węgla organicznego, którego źródłem są, na przykład octany lub fermentowanie osadu czynnego powodujące zwiększenie stężenia LKT. Obecność węgla wspomaga procesy biosyntezy mikroorganizmów, a co za tymi idzie poprawia efektywność biodegradacji związków biogenych (Kunicki-Goldfinger 1998).

Pomiary prowadzone za pomocą aparatury scharakteryzowanej w niniejszym artykule nie dostarczają bezpośredniej informacji o intensywności procesów zachodzących na poszczególnych etapach oddychania tlenowego lub nityfikacji, ani też o ewentualnych zaburzeniach przebiegu tych procesów na poszczególnych etapach.

Operator oczyszczalni, dysponujący odpowiednią wiedzą mikrobiologiczną, może jednak wyciągać praktyczne wnioski o przyczynach uzyskiwania niezadowolających wyników pomiarów oraz podejmować czynności zaradcze.

## 2. ODDYCHANIE ENDOGENNE

W normalnych warunkach wzrost bakterii powodują substancje odżywcze, stanowiące materiał zapasowy; są to głównie związki w postaci glikogenu i poli- $\beta$ -hydroksymaślanu (PHB). Gdy wszystkie związki węgla oraz inne substancje pokarmowe, zawarte w komorze osadu czynnego, zostaną wykorzystane w procesie biodegradacji, może ustać wzrost mikroorganizmów. Mikroorganizmy, pomimo braku łatwo przyswajalnych substancji, wciąż wymagają energii do procesów życiowych, dlatego zaczynają metabolizować zgromadzone wewnątrz komórki substancje zapasowe w celu zapewnienia stałej ilości energii oraz podtrzymania procesów oddechowych. Jest to endogenna aktywność oddechowa. Gdy materiały zapasowe zostaną wyczerpane, wówczas bakterie zaczynają metabolizowanie białek komórkowych i innych molekuł strukturalnych w celu zapewnienia źródła węgla niezbędnego do endogenicznego oddychania. Bakterie obumierają i ulegają rozkładowi, a tym samym uwalniają pozostałe wewnętrzne cząsteczki, które stają się dostępne jako potencjalne źródło substancji odżywczych dla innych bakterii. Jest to sytuacja niepożądana, ponieważ zaburza homeostazę osadu czynnego. Precyzyjna kontrola aktywności oddechowej mikroorganizmów osadu czynnego powinna pozwolić na wyznaczenie momentów krytycznych, w których praca osadu jest zagrożona (Spencer, Murdoch 2002). Postulat ten można spełnić, wykorzystując respirometry, które zostały przewidziane do badań w ramach niniejszego projektu.

## 3. RESPIROMETRY DO POMIARU AKTYWNOŚCI ODDECHOWEJ – STRATHTOX I BIOSCOPE

Zastosowanie laboratoryjnych analizatorów aktywności oddechowej osadu czynnego stanowi nowatorskie podejście do monitorowania procesów oddechowych zachodzących w osadzie czynnym. Stosowanie tego typu nowoczesnej aparatury respirometrycznej pozwala na śledzenie procesów oddechowych mikroorganizmów i wspomaganie decyzji dotyczących optymalizowania pracy oczyszczalni ścieków. Respirometry służą do oceny wpływu związków toksycznych występujących w ściekach lub niekorzystnych warunków środowiskowych na aktywność oddechową osadu czynnego. Dzięki zastosowaniu bardzo czułych elektrod tlenowych, pomiar aktywności oddechowej osadu czynnego można wykonywać w krótkim czasie. Innowacyjne urządzenia są łatwe w obsłudze i tanie w eksploatacji, nie wymagają stosowania odczynników, potrzebny jest jedynie osad czynny i ścieki po oczyszczeniu wstępny.

## 4. ZASTOSOWANIE RESPIROMETRÓW

Respirometry są stosowane do:

- pomiarów aktywności oddechowej osadu czynnego,

- optymalizacji napowietrzania ścieków, powodując realne zmniejszenie kosztów energii,
- kontroli równowagi związków odżywczych – realne zmniejszenie kosztów dozowania pożywek,
- oznaczania chwilowego BZT,
- określania wpływu zmian na osad czynny następujących parametrów: temperatura, pH, zawartość związków szkodliwych dla bakterii.

Analizatory aktywności oddechowej, oprócz stosowania w komunalnych oczyszczalniach ścieków, mogą być wykorzystywane w różnych gałęziach przemysłu, takich jak:

- chemiczny,
- spożywczy,
- papierniczy,
- farmaceutyczny,
- metalurgiczny i galwaniczny,
- ciężki,
- motoryzacyjny.

Obecnie na rynku jest dostępnych kilka typów urządzeń służących do pomiarów aktywności oddechowej osadu czynnego. Urządzenia te różnią się rozwiązaniami technologicznymi. Analizę aktywności oddechowej można wykonywać za pomocą aparatury Biomonitor, Bioscope, Columbus, Sapromat E czy Strathtox. Do wykonywania prac naukowo-badawczych z zakresu optymalizacji warunków pracy biologicznej części oczyszczalni ścieków w ramach grantu „Modernizacja zaplecza badawczego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka priorytet 2 działanie 2.1 nr 08055923” zakupiono laboratoryjny respirometr Strathtox i przenośny respirometr Bioscope.

## 5. RESPIROMETR LABORATORYJNY STRATHTOX

Wykonanie pomiaru aktywności oddechowej osadu czynnego za pomocą analizatora Strathtox jest szybkie, nie wymaga specjalnej preparatyki osadu czynnego i drogich odczynników chemicznych. Wszystkie uzyskane wyniki można zapisać w pamięci komputera w celu ich dalszej analizy. Urządzeniem tym można określać wpływ związków toksycznych występujących w ściekach lub warunków klimatycznych zarówno na aktywność oddechową bakterii heterotroficznych, jak i nityfikacyjnych.

### **Metodyka wykonania pomiaru aktywności oddechowej osadu czynnego**

Do każdej komory pomiarowej należy dodać odpowiednią ilość osadu czynnego i ścieków wstępnie oczyszczonych. Następnie do próbek, z wyjątkiem próbki kontrolnej, powinny być dodane ścieki o określonej ilości, odpowiednio: 20% do pierwszej próbki, 40% do drugiej, 60% do trzeciej, 80% do czwartej i 100% do ostatniej. Po przygotowaniu osadu czynnego, w każdej z probówek umieszcza się sondę tlenową. Osad czynny wykorzystywany do analizy powinien być pobrany z linii recyrkulacyj-

nej osadu, gdzie nie występują już związki odżywcze dostępne dla bakterii. Ten sposób przygotowania próbki pozwala na określenie aktywności oddechowej osadu w czasie pomiaru, po dodaniu do niego ścieków oczyszczonych mechanicznie. Pobrane do analizy ścieki powinny być wstępnie oczyszczone, by nie różniły się zbyt składem od ścieków dopływających do komór napowietrzania. Przed przystąpieniem do badań, pobrany osad czynny powinien być umieszczony w specjalnym pojemniku, w którym ma być napowietrzany i mieszany.

Urządzenie umożliwia wykonanie pomiaru aktywności oddechowej osobno bakterii heterotroficznych i nityfikacyjnych. Zasada analizy pomiaru aktywności oddechowej bakterii nityfikacyjnych jest taka sama, w niewielkim stopniu zmienia się natomiast sama procedura wykonania pomiaru. Pojemnik, w którym znajduje się osad czynny przeznaczony do pomiaru aktywności oddechowej bakterii heterotroficznych, jest przedzielony na pół. W jednej części umieszcza się sam osad czynny, natomiast w drugiej części do osadu dodaje się pochodną mocznika, która hamuje aktywność oddechową bakterii nityfikacyjnych, przez co uzyskane wyniki stanowią odzwierciedlenie procesów życiowych tylko bakterii heterotroficznych (materiały Strathkelvin).

## **6. RESPIROMETR BIOSCOPE**

Bioscope jest przenośnym analizatorem do pomiaru aktywności oddechowej osadu czynnego, który umożliwia sporządzenie profilu tlenowego oczyszczalni ścieków na podstawie pomiarów stężenia tlenu rozpuszczonego w różnych miejscach oczyszczalni. Respirometr składa się z komory pomiarowej, w której znajduje się mieszkadło i sonda tlenowa. Pomiary można wykonywać w konkretnych miejscach oczyszczalni.

### **Metodyka wykonywania pomiaru stężenia tlenu rozpuszczonego**

Otwarta komora pomiarowa powinna zostać umieszczona w wybranym miejscu ciągu technologicznego, a następnie zamknięta. Po chwili wyniki pomiaru są wyświetlane na ekranie urządzenia, a mianowicie: temperatura ścieków, stężenie tlenu rozpuszczonego w ściekach oraz stopień zużycia tlenu przez osad. Wyniki pomiarów mogą być przedstawione na wykresach. Specjalistyczne oprogramowanie analizatora umożliwi gromadzenie wyników badań oraz przeniesienie ich do komputera, gdzie mogą być następnie analizowane (materiały Strathkelvin).

## **7. PRÓBY OPTIMALIZACJI PROCESÓW NA PRZYKŁADZIE OCZYSZCZALNI W CARDIFF**

Wstępnie projekt optymalizacji rozpoczęto w lipcu 2008 roku od analizy dwóch z szesnastu komór oczyszczalni SBR w Cardiff. Realizację pełnego procesu optymalizacji rozpoczęto natomiast w marcu 2009 roku. Do tego zadania powołano zespół ekspertów z firmy Strathkelvin w celu wykorzystania ich wiedzy z zakresu sprzętu pomiarowego i umiejętności jego zastosowania oraz załogę oczyszczalni.

Wstępne badania wykonane w lipcu wykazały, że optymalizacja w oczyszczalni Cardiff jest możliwa, podczas okresu próbnego, czyli w dwóch z szesnastu komór. Przeprowadzenie optymalizacji wymagało stworzenia modelu oczyszczalni na bazie

uzyskanych wyników analiz. Podstawę do opracowania modelu stanowiły obliczone krytyczne punkty tlenu zarówno dla bakterii węglowych (BZT), jak i nityfikacyjnych (redukcja amoniaku). Było to konieczne do określenia granic optymalizacji procesu biologicznego oczyszczania ścieków. Profil biodegradacji biogenów został wyznaczony podczas wielu cykli napowietrzania, obejmujących różne przepływy, w celu poznania zmian zachodzących w komorze osadu czynnego w odniesieniu do zmiennych warunków.

Przez zastosowanie w oczyszczalni Cardiff wyników respirometrycznej kontroli napowietrzania osadu czynnego, zdołano zaoszczędzić 3,9 GW·h energii w skali roku. Całkowita emisja dwutlenku węgla została zmniejszona o 2994 Mg rocznie (Bodington i in. 2009).

Przedstawiony przykład stanowi potwierdzenie istotnego wpływu pomiarów aktywności oddechowej osadu czynnego na kontrolę efektywności napowietrzania. Kolejną korzyścią jest również przekazywanie doświadczeń z tzw. *case studies* przeprowadzanych w oczyszczalniach. Rozpatrując najlepsze dostępne technologie stosowane na świecie oraz *case studies* z oczyszczalni ścieków, w których wykorzystywano innowacyjne rozwiązania, przyczyniające się do optymalizowania pracy, rozpoczęto wstępne badania aktywności oddechowej osadu czynnego w oczyszczalni Rybnik-Orzepowice.

## **8. ZNACZENIE AKTYWNOŚCI ODDECHOWEJ W OCENIE TOKSYCZNOŚCI ŚCIEKÓW**

Wskaźnikiem oddychania bakterii osadu czynnego jest szybkość, z jaką zużywają one energię na procesy życiowe. Parametr ten może być mierzony jako procent ciepła wyprodukowanego, ale podczas badań najłatwiejsza do zmierzenia jest bezpośrednia szybkość zużywania tlenu. Każde zmniejszenie wydatku energii na produkcję biomasy bakterii i aktywności oddechowej – ma bezpośredni związek z toksycznymi substancjami wpływającymi na procesy życiowe mikroorganizmów osadu czynnego.

Przy biologicznym oczyszczaniu ścieków ważne jest, aby bakterie i inne mikroorganizmy osadu czynnego były utrzymywane w jak najlepszej kondycji, pozwalającej na prowadzenie procesów, podczas których będą biodegradowały substancje organiczne pochodzące ze ścieków. „Stan zdrowia” mikroorganizmów można łatwo kontrolować przez monitorowanie ich aktywności oddechowej.

## **9. MAKSYMALNA I MINIMALNA AKTYWNOŚĆ ODDECHOWA**

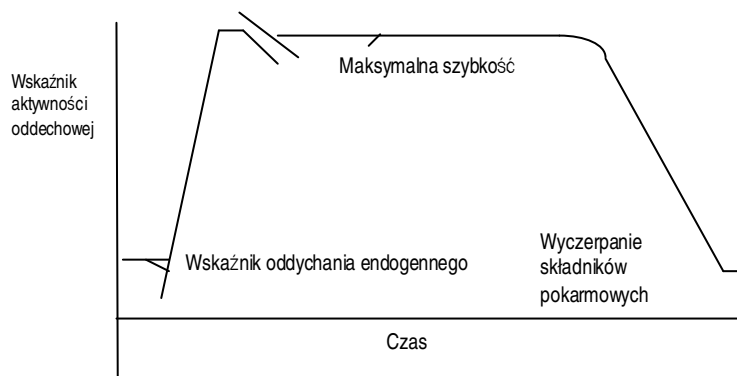
Wykorzystanie przez mikroorganizmy energii komórkowej, a więc i tlenu, służy przede wszystkim biosyntezie ich wzrostu. Zwiększając biomasę, mikroorganizmy pobierają z otoczenia składniki pokarmowe, szczególnie azot, fosfor oraz związki organiczne węgla. W osadzie czynnym można wyróżnić dwa rodzaje oddychania – maksymalny i minimalny (endogeny).

## 10. ENDOGENNA AKTYWNOŚĆ ODDECHOWA

Jest to minimalna aktywność oddechowa podtrzymująca procesy życiowe mikroorganizmów. Mikroorganizmy osadu szybko zużywają substancje odżywcze zgromadzone w komorze osadu czynnego. Kiedy wszystkie składniki odżywcze zostaną wyczerpane, mikroorganizmy będą „głodne” i nastąpi zahamowanie ich wzrostu. Jednak zużycie tlenu w dalszym ciągu będzie obserwowane; mikroorganizmy pobierają tlen w celu dostarczenia energii komórkowej, niezbędnej do utlenienia substancji zapasowych zgromadzonych wewnątrz bakterii.

## 11. MAKSYMALNA AKTYWNOŚĆ ODDECHOWA

Maksymalna aktywność oddechowa występuje, gdy osad czynny w fazie oddychania endogenicznego jest zasilany przy zapewnieniu odpowiednio dużego stężenia substancji odżywczych. Aktywność oddechowa wzrasta aż do osiągnięcia maksymalnej szybkości (rys. 1). Tak duży wskaźnik oddychania jest wynikiem absorpcji cząsteczek organicznych, które są następnie utleniane w procesie biosyntezy i wzrostu. W związku z tym, że wzrost biomasy jest związany z pojawieniem się nowych bakterii, które też będą zużywały tlen na procesy oddechowe, maksymalna aktywność oddechowa nadal będzie zwiększać się z czasem, ponieważ liczba drobnoustrojów w danym układzie wzrosła.



Rys. 1. Krzywa obrazująca aktywność oddechową mikroorganizmów

Fig. 1. Curve illustrating respiratory activity of microorganisms

Zwiększenie absorpcji tlenu nie może powodować metabolizmu energetycznego, ale może wpływać na proces, na przykład nityfikacji [utleniania amoniaku do azotynów i azotanów przez bakterie nityfikacyjne, które są obecne w osadzie czynnym (Spencer, Murdoch 2002)].



## 12. WSTĘPNE ANALIZY OSADU CZYNNEGO Z WYKORZYSTANIEM ANALIZATORÓW AKTYWNOŚCI ODDECHOWEJ

### 12.1. Analizy aktywności osadu czynnego w oczyszczalni ścieków Rybnik-Orzepowice

Do analizy możliwości badawczych respirometrów wykorzystano aparaturę zakupioną w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka priorytet 2 działanie 2.1 Nr POIG.02.01.00-24-045/08 zadanie „Modernizacja zaplecza badawczego wykorzystywanego podczas rewitalizacji terenów zdegradowanych działalnością przemysłową”, a mianowicie urządzenia Bioscope i Strathtox. Zastosowano je do wykonania badań w oczyszczalni ścieków Rybnik-Orzepowice.

Po zainstalowaniu urządzenia Strathtox pobrano próbki osadu czynnego i wykonano testy: aktywności oddechowej, toksyczności, kondycji bakterii osadu czynnego oraz krótkoterminowego BZT. Wyznaczono krytyczny punkt tlenowy czyli punkt, poniżej którego osad czynny przestaje funkcjonować prawidłowo. Punkt krytyczny dla osadu czynnego w OS Rybnik-Orzepowice wyniósł około 0,47 mg O<sub>2</sub>/l. Informacje o minimalnej ilości tlenu, niezbędnego do prawidłowej pracy oczyszczalni oraz o szybkości nityfikacji, mogą mieć podstawowe znaczenie w optymalizacji procesów oczyszczania. Przeprowadzono również testy toksyczności z wykorzystaniem acetonu oraz testy hamowania nityfikacji.

Pomiary przy użyciu urządzenia Bioscope wykonywano bezpośrednio w zbiorniku osadu czynnego w fazie napowietrzania co 15 min przez całą fazę napowietrzania. Zaobserwowano różnice między wynikami uzyskanymi za pomocą sondy zainstalowanej w komorze osadu czynnego a wynikami uzyskanymi za pomocą urządzenia Bioscope. Zarówno wyniki uzyskane z zastosowaniem sondy stacjonarnej, jak i urządzenia Bioscope wykazały, że początkowa faza napowietrzania przebiegała przy stężeniu tlenu na granicy punktu krytycznego (ok. 0,4 mg/l), natomiast pod koniec fazy – stężenie tlenu wyniosło ponad 3 mg/l.

### 12.2. Monitoring kondycji osadu czynnego

Wykonano test kontroli kondycji osadu czynnego (RAS). Stwierdzono, że osad czynny z OS Rybnik-Orzepowice jest w dobrej kondycji, przy zachowaniu 30% wydajności nityfikacji z SOUR (pobór tlenu w odniesieniu do suchej masy osadu).

Monitoring kondycji osadu czynnego może być zastosowany do określania:

- specyficznego poziomu poboru tlenu (SOUR),
- optymalnego poziomu nityfikacji do wyczerpania azotu,
- czy poziom zawiesiny jest optymalnie dopasowany do obciążenia oczyszczalni.

### 12.3. Hamowanie aktywności oddechowej

Test na hamowanie aktywności oddechowej jest używany do określania wpływu ścieku dopływającego (zawartych w nim toksyn) na aktywność oddechową bakterii osadu czynnego. W oczyszczalni w Rybniku do jego wykonania zastosowano 50% roztwór acetonu. Przy takim stężeniu zaobserwowano jedynie łagodne hamowanie

aktywności oddechowej. Przed przystąpieniem do badań spodziewano się, że przy tym stężeniu procesy oddychania ustaną.

Wyniki kolejnych badań wykazały, że przy mniejszych stężeniach acetonu (utworzonych z roztworu wyjściowego w stosunku 50:50) obserwowano łagodne hamowanie procesów oddychania, co wskazywało na brak wyraźnego oddziaływania osadu czynnego na ten rodzaj rozpuszczalnika. Według informacji uzyskanych od użytkownika, oczyszczalnia nie odbiera ścieków przemysłowych. Otrzymany wynik może jednak wskazywać, że z części lokalnych zakładów przemysłowych ścieki są odprowadzane do kanalizacji miejskiej.

#### **12.4. Krytyczny punkt tlenu**

Jak podano, pojęcie to odnosi się do minimalnego stężenia tlenu, przy którym w osadzie w danej instalacji jeszcze przebiegają procesy oddychania tlenowego. Wyniki wstępnych, jednorazowych badań wykazały, że punkt krytycznego stężenia tlenu dla bakterii węglowych (nitkowatych) wynosił 0,47 mg/l, podczas gdy do całkowitej nityfikacji jest potrzebne stężenie tlenu około 2,2 mg/l. Krytyczny punkt tlenu zmieniał się w czasie badania ze względu na zmiany temperatury, napływający ładunek, gospodarkę osadową itp. Wiarygodne wyznaczenie krytycznego punktu tlenu dla instalacji oczyszczalni Rybnik-Orzepowice, przy użyciu opisanych wyżej respirometrów, było w pełni wykonalne, jednakże z uwagi na rodzaj tego testu wymaga jeszcze wielu prób kontrolnych.

#### **12.5. BZT krótkoterminowe**

Oznaczanie BZT krótkoterminowego jest ważnym testem w procesie optymalizacji i zapewnia szybkie uzyskanie wyniku w odniesieniu do wzorca. Wynik, otrzymywany w ciągu 30 min i wyrażany jako BZT (ST), może wskazywać, czy nastąpił jakikolwiek negatywny dopływ ścieków do oczyszczalni i czy należy podjąć środki zaradcze. Przeprowadzono analizę ścieków po osadnikach wstępnych. Uzyskany wynik BZT wyniósł 98 mg/l. Uzyskane wyniki są zbieżne z wartościami BZT otrzymywanymi w laboratorium OS Rybnik-Orzepowice.

#### **Test Bioscope**

Za pomocą urządzenia Bioscope badano stężenie tlenu rozpuszczonego w różnych próbkach pobranych podczas fazy napowietrzania komory osadu czynnego nr 33. Przeprowadzone testy wykazały, że aktywność oddechowa zmniejszała się szybko w ciągu pierwszych 30 min procesu napowietrzania, po czym wzrosła. 30% spadek oddychania oznaczono po kolejnych 45 min prowadzenia obserwacji (Zdebik 2009).

### **PODSUMOWANIE**

Wykorzystanie urządzeń respirometrycznych do analizy aktywności oddechowej osadu czynnego oraz wyznaczania krytycznego punktu tlenowego może okazać się dobrym sposobem optymalizacji procesów oczyszczania i przyczynić się do redukcji kosztów eksploatacji oczyszczalni. Informacje o procesach zachodzących w komorach

osadu czynnego podczas oczyszczania ścieków w połączeniu z wykorzystaniem specjalistycznego sprzętu, za pomocą którego można te procesy kontrolować i analizować, pozwalają na wykonanie pełnego profilu tlenowego oczyszczalni ścieków. Na podstawie analizy przypadków, których opisy znajdują się w literaturze, stwierdzono, że kontrolowanie aktywności oddechowej mikroorganizmów może przyczynić się do realnych oszczędności oraz spowodować ograniczenie negatywnego oddziaływania oczyszczalni na środowisko przez zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub>.

#### **Literatura**

1. Bodington V., Langford A., Dooley M., Diamond K. (2009): Cardiff WWTW aeration optimisation through scientific control; Kelda Water Services (Wales); 2 Strathkelvin Instruments Ltd.
2. Spencer D., Murdoch F. (2002): The role of respirometry in maximising aerobic treatment plant efficiency; Strathkelvin Instruments Ltd; 1.05 Kelvin Campus of Scotland Science Park; Glasgow G20 OSP.
3. Klimiuk E., Łebkowska M. (2003): Biotechnologia w ochronie środowiska. Warszawa, Wydaw. Naukowe PWN.
4. Kunicki-Goldfinger W. (1998): Życie bakterii. Warszawa, Wydaw. Naukowe PWN.
5. Schlegel H. (2000): Mikrobiologia ogólna. Warszawa, Wydaw. Naukowe PWN.
6. Wojnowska-Baryła I., Stachowiak D. (1997): Systemy oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego. Olsztyn, Wydaw. ART.
7. Zdebik D. (2009): Model komputerowy technologii oczyszczania ścieków wraz z wytycznymi wspomagania decyzji. Praca statutowa. Katowice, GIG (niepublikowana).

**Recenzent:** dr Leszek Trząski