

MARCIN GŁODNIOK, DARIUSZ ZDEBIK\*

**KONTROLA PROCESU BIOLOGICZNEGO OCZYSZCZANIA  
ŚCIEKÓW PRZEMYSŁOWYCH Z WYKORZYSTANIEM  
RESPIROMETRYCZNYCH POMIARÓW IN-SITU  
W KOMORACH OSADU CZYNNEGO**

*Streszczenie*

*W artykule opisano wyniki analiz przeprowadzonych w przemysłowej oczyszczalni ścieków. Analizy prowadzono przy użyciu sprzętu zakupionego w ramach grantu „MOWITEGRAC”. Pomiaru aktywności oddechowej osadu czynnego wykonano przenośnym respirometrem Bioscope. Analizy prowadzono bezpośrednio w komorach osadu czynnego. Wyniki analiz wskazały na wysokie obciążenie oczyszczalni ładunkiem zanieczyszczeń i prawdopodobne dopływy ścieków toksycznych.*

Słowa kluczowe: respirometria, osad czynny, aktywność oddechowa

**WPROWADZENIE**

Wykorzystanie specjalistycznych urządzeń monitorujących umożliwia optymalizację procesów biologicznego oczyszczania ścieków przemysłowych i komunalnych. Zaostrzające się przepisy i wymagania dotyczące jakości ścieków oczyszczonych odprowadzanych do wód powierzchniowych, wymagają działań w zakresie zwiększenia wydajności i poprawy stabilności pracy oczyszczalni ścieków. Zmiany wymagań formalno-prawnych w zakresie oddziaływania przemysłu na środowisko wodne wymaga podjęcia działań dotyczących dostosowywania i optymalizowania technologii do obecnych i perspektywicznych potrzeb. Podjęcie takich działań możliwe jest w wyniku prowadzenia prac badawczo-rozwojowych, identyfikujących możliwości modyfikowania istniejących technologii. Dofinansowane z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego Mobilne Laboratorium Badawcze będące na wyposażeniu Zakładu Ochrony Wód Głównego Instytutu Górnictwa oraz profesjonalnie przygotowana grupa specjalistów umożliwia wykonywanie pomiarów, zgodnych z przeję-

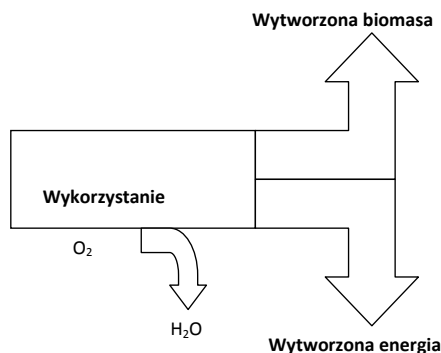
---

\* Główny Instytut Górnictwa; Zakład Ochrony Wód

tymi metodami krajowymi i międzynarodowymi. Wyposażenie laboratorium w nowoczesne, wysokiej klasy przyrządy pomiarowe przyczynia się do podniesienia jakości prowadzonych pomiarów, co pozwala utrzymać status ośrodka o wysokim potencjale badawczym.

Stosowana w Zakładzie Ochrony Wód GIG aparatura badawcza pozwala na wykorzystanie technik respirometrycznych, które związane są z wykonywaniem pomiarów poziomu aktywności oddechowej (poboru tlenu) osadu czynnego. Aktywność oddechowa jest to jednostkowa prędkość poboru tlenu wyrażana w miligramach tlenu na litr osadu czynnego i jednostkę czasu (jednostka  $\text{mgO}_2/\text{l}\cdot\text{h}$ ), w której jest on zużywany przez mikroorganizmy [Spanjers 1999]. Respirometria jest uznawana za cenny pomiar kontrolujący stan osadu czynnego. Powodem tego jest fakt, że aktywność oddechowa mikroorganizmów jest bezpośrednio związana z dwoma ważnymi procesami biochemicznymi:

- przyrostem biomasy osadu,
- wytwarzaniem energii (rys 1.).



Rys. 1. Uproszczony schemat wykorzystania substratu przez mikroorganizmy  
 Fig. 1. Simplified model of substrate utilisation by microorganisms

Opisane powyżej procesy ściśle związane są z poborem tlenu przez mikroorganizmy. Zarówno dopływ substratu, jak i wzrost stężenia biomasy osadu czynnego będzie miał wpływ na zwiększenie poziomu respiracji. Jeśli dopływający do komór osadu czynnego substrat nie będzie zawierał substancji toksycznych, tylko frakcje łatwo przyswajalne, aktywność oddechowa osadu będzie wzrastać i generowany będzie przyrost biomasy. Jeśli w ściekach pojawią się substancje toksyczne, aktywność oddechowa będzie ulegała zmniejszeniu, ponieważ mikroorganizmy odpowiedzialne za biologiczne procesy oczyszczania ścieków będą obumierać na skutek zatrucia substancjami toksycznymi [Giroux 1996].

Zdobywanie informacji dotyczących fizjologicznego stanu osadu czynnego oraz procesów biochemicznych zachodzących w komorach biologicznych,

umożliwia pełniejsze ich zrozumienie. Zazwyczaj podstawowym celem analiz jest utrzymanie prawidłowej pracy oczyszczalni. Stanowi to wyzwanie dla operatora, jakim jest utrzymywanie ruchu oczyszczalni pomimo zakłóceń, spowodowanych zmiennością na dopływie (natężenie dopływu, ładunki zanieczyszczeń w ściekach) przy wykorzystaniu informacji pomiarowych oraz przy jednoczesnym zapewnieniu parametrów ścieków oczyszczonych zgodnych z pozwoleniem wodnoprawnym.

Problem kontroli komplikują dodatkowo wewnętrzne procesy zachodzące w oczyszczalni. Wiele problemów operacyjnych związanych jest z podstawowymi procesami biochemicznymi lub mikrobiologicznymi zachodzącymi w komorach osadu czynnego. Wyniki standardowych pomiarów technologicznych stanowią podstawę kontroli przebiegu biologicznego oczyszczania ścieków, niestety często dane te, którymi dysponuje operator oczyszczalni są niewystarczające, do pełnej kontroli pracy oczyszczalni.

Wykonanie badań aktywności oddechowej mikroorganizmów w osadzie czynnym pozwala na szybką reakcję operatora, która ma na celu ochronę osadu czynnego przed działaniem substancji toksycznych, a tym samym długotrwałego zaburzenia pracy oczyszczalni (niekiedy potrzebny czas niezbędny na odbudowanie mikrofauny osadu czynnego wynosi kilka tygodni). Spadek aktywności oddechowej osadu czynnego, który zostanie zaobserwowany szybciej niż pogorszenie jakości odpływu, pozwala na reakcję operatora na zaistniałą sytuację.

Umiejętnie zastosowanie respirometrii może dostarczyć najważniejszych informacji dotyczących kontroli procesów biochemicznych zachodzących w oczyszczalni. Parametry biologiczne, takie jak np. aktywność oddechowa i enzymatyczna są bardziej czułe na zmiany parametrów ścieków surowych i lepiej opisują stan środowiska panującego w osadzie czynnym, niż właściwości fizykochemiczne, ponieważ są one bezpośrednio związane z mikroorganizmami, uczestniczącymi w biologicznych procesach oczyszczania ścieków [Spanjers 1999].

### MONITORING OSADU CZYNNEGO

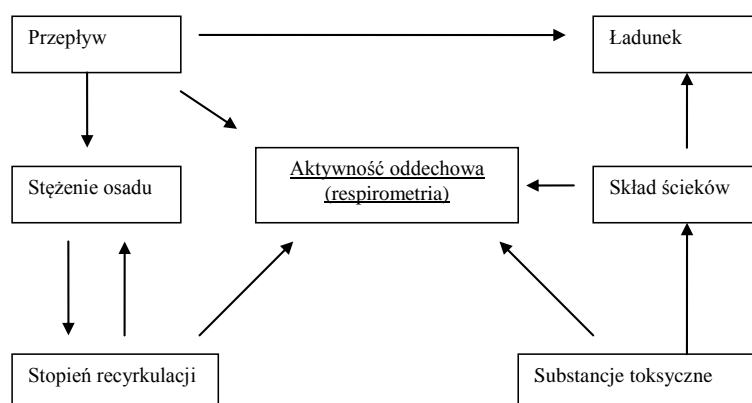
Większość zakłóceń pracy oczyszczalni związana jest ze zmiennością ilości i składu ścieków surowych. Inne zaburzenia mogą być spowodowane przez działanie procesów jednostkowych, takich jak: płukanie filtrów, fermentację lub zagniwanie osadu czynnego. Zwykle nie ma możliwości bezpośredniego pomiaru czynników zaburzających procesy biologicznego oczyszczania ścieków. Wykorzystanie respirometrii, pozwala zmierzyć zmiany w procesach oddechowych biomasy osadu czynnego, które mogą stanowić pierwszy krok w identyfikowaniu zaburzeń procesu oczyszczania ścieków [Gray i Davies 2004].

W tradycyjnej kontroli procesu nityfikacji, stężenie tlenu rozpuszczonego mierzy się w komorach osadu czynnego, natomiast kontrola aktywności oddechowej może stanowić uzupełnienie tego systemu poprzez dostarczenie informacji o szybkości poboru tlenu. Zaburzenia aktywności oddechowej osadu czynnego często nie wiążą się ze zmianą stężenia tlenu w komorach osadu czynnego. Technolog opierając się jedynie na pomiarach on-line sond tlenowych może stwierdzić, że stężenie tlenu w komorach jest za niskie, prawidłowe, lub za wysokie i korygować je do wartości zadanej (zwykle 2 mgO<sub>2</sub>/l). Zmiana stężenia tlenu w krótkim czasie, co przekłada się na jego zużycie w procesie nityfikacji przez nityfikanty, może świadczyć o zaburzeniu procesu i nieefektywnym wykorzystaniu tlenu przez mikrofaunę osadu czynnego. Układ technologiczny uzupełniony o pomiar respirometryczny wykazałby, że tlen nie jest zużywany przez mikroorganizmy w procesie nityfikacji, co wynika ze zmniejszenia ich aktywności.

W przypadku dopływu substancji toksycznych do oczyszczalni, urządzenia pomiarowe rejestrujące on-line stężenie tlenu rozpuszczonego w komorach osadu czynnego, wskażą na jego nadmiar co wpłynie na zmniejszenie ilości tłoczonego powietrza. Po pewnym czasie obserwuje się pogorszenie jakości ścieków oczyszczonych, co może świadczyć o inhibicji procesu biologicznego oczyszczania i aktywności oddechowej osadu czynnego [Spanjers 1999].

Prowadzenie ciągłego monitoringu aktywności oddechowej osadu czynnego według najprostszej nawet metody [Beńko 2009] umożliwia uzupełnienie informacji związanych z pracą osadu czynnego w oczyszczalni. Posiadając wyniki analiz respirometrycznych z dłuższego okresu czasu, oraz wyliczenie z nich wartości średniej umożliwia określenie tzw. punktu zerowego, który jest podstawą do analizy wyników otrzymywanych z pomiarów bieżących prowadzonych in situ. Rozbudowa systemu monitoringu o kontrolę aktywności osadu czynnego on-line, może umożliwić lepszą ochronę osadu czynnego przed nadmiernym zatruciem ściekami toksycznymi np. poprzez ewentualne retencjonowanie i rozcieńczanie ścieków lub dozowanie ich w mniejszych ilościach.

Czynniki zewnętrzne mogą mieć wpływ na zmiany aktywności osadu czynnego. Ważne jest zidentyfikowanie czynników, które mają istotny wpływ na zmiany aktywności oddechowej i mogą wpłynąć na proces biologicznego oczyszczania ścieków, oraz tych, które powodują jedynie nieznaczne fluktuacje nie mające istotnego znaczenia. Identyfikacja potencjalnych zaburzeń aktywności oddechowej umożliwi prawidłowe interpretowanie otrzymanych wyników pomiarowych. Na rys. 2 przedstawiono schemat blokowy czynników mogących wpływać na aktywność oddechową osadu czynnego.

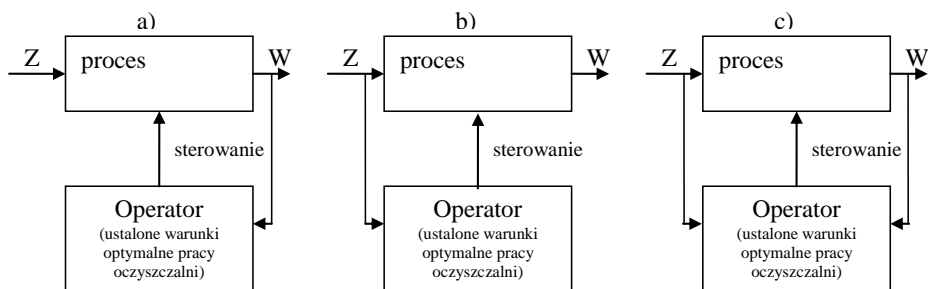


Rys. 2. Potencjalne czynniki zaburzające aktywność oddechową osadu czynnego  
Fig. 2. Potential factors interfering with the respiratory activity of activated sludge

Systematyczne powadzenie analiz respirometrycznych umożliwia stworzenie systemu monitoringu kondycji osadu czynnego. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy schemat systemu monitoringu biologicznej części oczyszczalni opartego na analizach aktywności oddechowej osadu czynnego.

Operator kontrolując proces biologicznego oczyszczania ścieków dąży do utrzymania ustalonych, optymalnych warunków pracy osadu czynnego. Sterując napowietrzaniem stara się utrzymać odpowiednią dawkę tlenu niezbędną do prawidłowego przebiegu procesów biochemicznych (dawka ustalona w oparciu o analizy respirometryczne). Kluczowe, w tego typu kontroli jest zidentyfikowanie problemu zanim on powstanie i będzie negatywnie wpływał na pracę osadu czynnego. Operator mając do dyspozycji wyniki pomiarów powinien mieć czas na zminimalizowanie możliwych negatywnych skutków [Spanjers 1999].

Opierając się na powyższych teoretycznych założeniach wykonano w przemysłowej oczyszczalni ścieków serię pomiarów respirometrycznych. Celem badań było sprawdzenie stanu fizjologicznego osadu czynnego, szybkości poboru tlenu oraz próba wyłapania ewentualnych przeciążeń komór ładunkiem ścieków lub dopływem ścieków toksycznych.



Rys. 3. System kontroli procesów biologicznego oczyszczania ścieków zachodzących w komorach osadu czynnego oparty na pomiarach aktywności oddechowej mikroorganizmów; Z – zaburzenie (rozumiane jako dopływ ścieku np. toksycznego), W – poziom aktywności oddechowej

Fig. 3. Biological treatment processes control in chambers of activated sludge, depending on measurements of the microorganisms' respiratory activity:  
Z – disturbance (understood as sewage tributary, e.g., toxic),  
W – level of respiratory activity

### MIEJSCE PROWADZENIA POMIARÓW

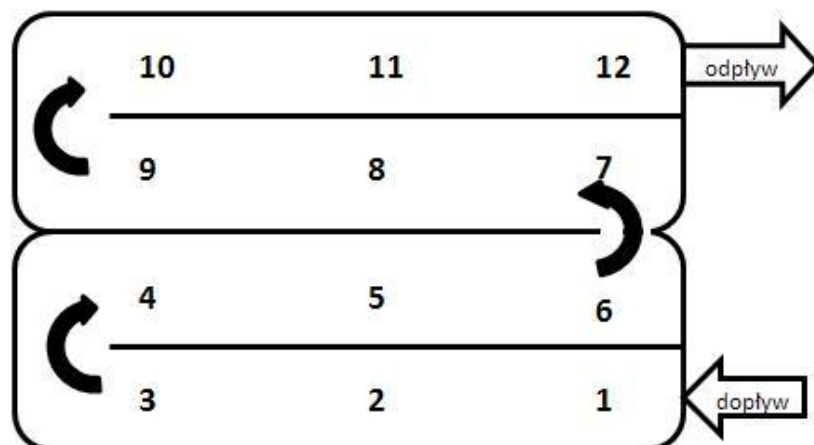
Analizy respirometryczne wykonywano w przemysłowej mechaniczno biologicznej oczyszczalni ścieków z dwoma stopniami biologicznego oczyszczania ścieków. Wykonane badania fizykochemiczne ścieków surowych wykazały występowanie związków organicznych charakterystycznych dla ścieków z instalacji przemysłowych z branży chemicznej i przetwórstwa substancji ropopochodnych. Do oczyszczalni, oprócz ścieków przemysłowych, dopływają ścieki komunalne, zawierające źródło łatwo przyswajalnego węgla organicznego (łatwo rozkładalna frakcja ChZT), bez którego utrzymanie dobrych parametrów pracy osadu czynnego mogło by być trudne do osiągnięcia.

W trakcie prowadzenia pomiarów w komorze osadu czynnego panowały następujące warunki: stężenie osadu utrzymywane na poziomie  $4,5 \text{ kg/m}^3$ , temperatura w komorach utrzymywała się na poziomie  $15^\circ\text{C}$ , średni przepływ wynosił  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  przy obciążeniu komór ładunkiem ChZT  $570 \text{ mg/l}$ .

Analizy wykonywano respirometrem Bioscope składającym się z polarograficznej elektrody tlenowej sprzężonej bezpośrednio z rejestratorem. Rejestrator respirometru posiada zaimplementowane oprogramowanie umożliwiające obróbkę wyników bezpośrednio po pomiarze.

Stanowiska pomiarowe ustalono za kolejnymi aeratorami w komorze osadu czynnego. Stanowisko nr 1 znajdowało się bezpośrednio przy wlocie ścieków do komory stanowisko nr 11 przy wylocie ścieków oczyszczonych. Analizy

prowadzone były w komorze osadu czynnego, która ma kształt czterokomorowego wstęgowego rowu cyrkulacyjnego. Stanowiska pomiarowe numerowano od 1 (początek komory) do 11 (koniec komory). Lokalizację poszczególnych punktów pomiarowych przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Lokalizacja punktów pomiarowych w komorze osadu czynnego  
Fig. 4. Localisation of measurement points

#### WYNIKI ANALIZ

W tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów respirometrycznych wykonywanych w komorach osadu czynnego biologicznej oczyszczalni ścieków. Analizy osadu przeprowadzono bezpośrednio w komorach osadu czynnego w ciągu technologicznym przemysłowej oczyszczalni ścieków przy wykorzystaniu respirometru przenośnego Bioscope.

Tab. 1. Wyniki analiz respirometrycznych *in situ* – Bioscope  
Tab. 1. *In situ* analysis results – Bioscope

Nr stanowiska pomiarowego	Data pomiaru: 23.06.2010		Data pomiaru: 07.07.2010		Data pomiaru: 14.07.2010	
	Stężenie tlenu mg/l	OUR mgO <sub>2</sub> /l/h	Stężenie tlenu mg/l	OUR mgO <sub>2</sub> /l/h	Stężenie tlenu mg/l	OUR mgO <sub>2</sub> /l/h
1	0,2	19,2	0,2	35,9	n.b.	n.b.
2	0,2	19,2	0,1	23,8	n.b.	n.b.
3	0,4	74,5	0,3	48,5	0,3	3,3
4	0,3	62,1	1	30,6	0,6	0,1
5	0,7	67,2	3,9	16,7	4,5	6,8

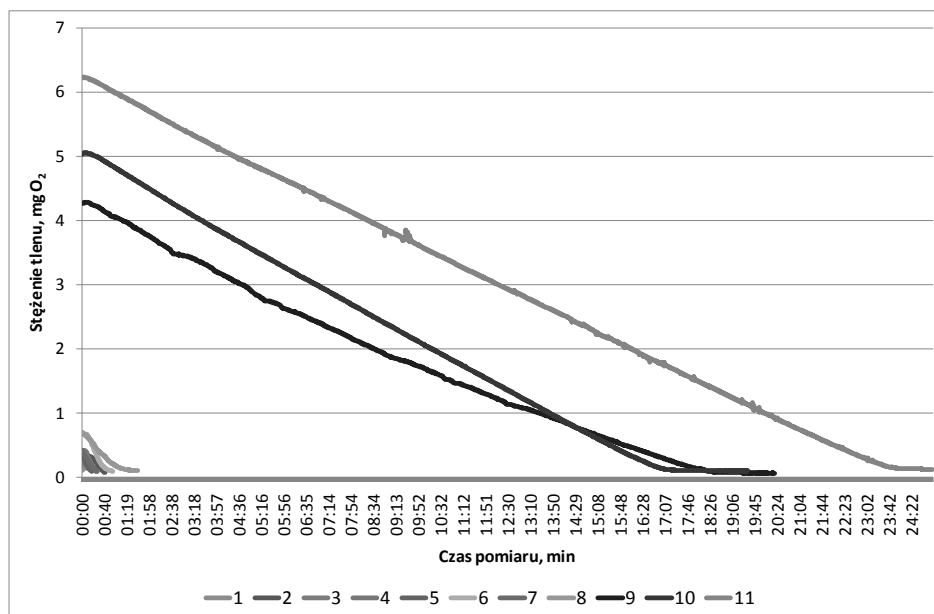
Nr stanowiska pomiarowego	Data pomiaru: 23.06.2010		Data pomiaru: 07.07.2010		Data pomiaru: 14.07.2010	
	Stężenie tlenu mg/l	OUR mgO <sub>2</sub> /l/h	Stężenie tlenu mg/l	OUR mgO <sub>2</sub> /l/h	Stężenie tlenu mg/l	OUR mgO <sub>2</sub> /l/h
6	0,7	67,2	5	16,2	5,8	20,4
7	0,4	49,4	6,2	16,7	5,2	17,3
8	0,7	26,4	4,7	12,8	6	13,9
9	4,3	13,2	5,8	11,1	n.b.	n.b.
10	5	17,5	5,9	12,3	n.b.	n.b.
11	6,2	15,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

OUR – oxygen uptake rate – wartość poboru tlenu przez mikroorganizmy

n.b. – nie badano

Źródło: Analizy własne

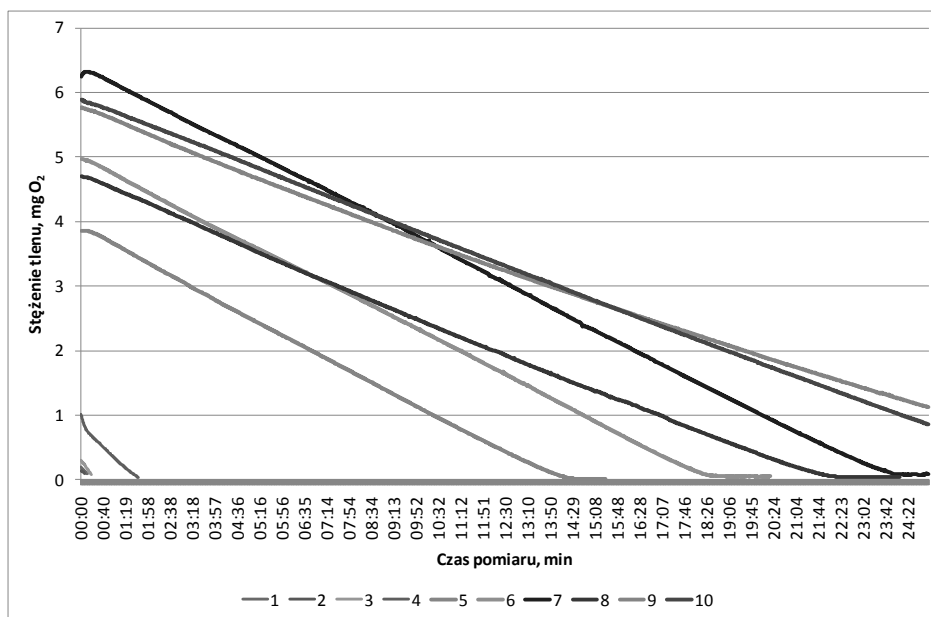
Prędkość zużywania tlenu w zależności od miejsca wykonania pomiaru, cyframi oznaczono miejsca pomiarowe zgodnie z rysunkiem 4.



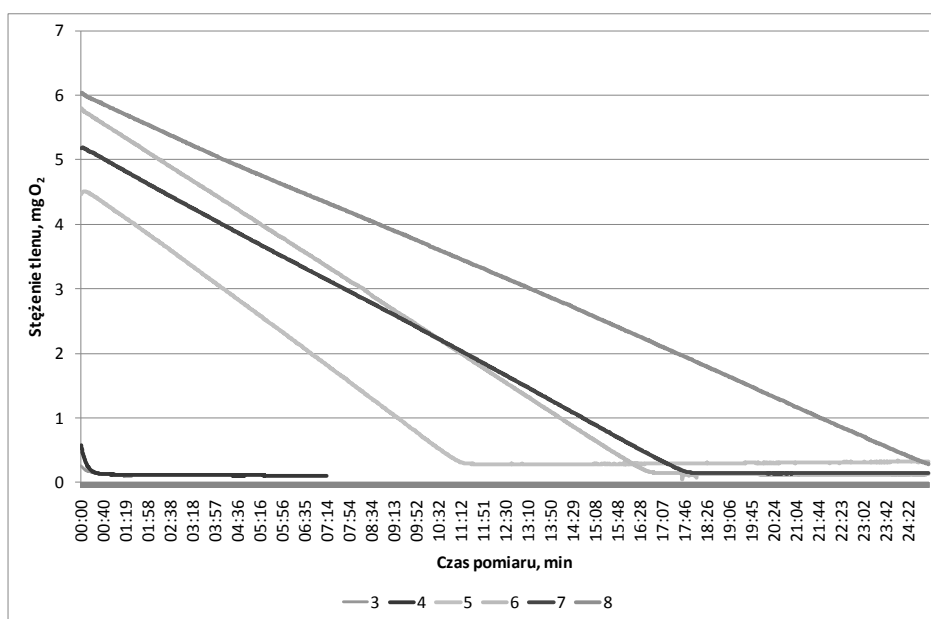
Rys. 5. Wyniki analizy respirometrycznych z dnia 23.06.2010

Fig. 5. Respirometric analysis results - 23.06.2010





Rys. 6. Wyniki analiz respirometrycznych z dnia 07.07.2010  
 Fig. 6. Respirometric analysis results - 07.07.2010.



Rys.7. Wyniki analiz respirometrycznych z dnia 14.07.2010  
 Fig. 7. Respirometric analysis results - 14.07.2010.

W tabeli 1 zestawiono wyniki pomiarów respirometrycznych wykonanych w przemysłowej oczyszczalni ścieków prowadzonych bezpośrednio w komorze osadu czynnego z wykorzystaniem respirometru Bioscope.

Na rysunkach 5,6 i 7 przedstawiono zmianę aktywności oddechowej osadu czynnego jaka była notowana w warunkach rzeczywistych, w poszczególnych punktach pomiarowych. Liniami przedstawiono na powyższych wykresach szybkość zużycia tlenu w poszczególnych stanowiskach pomiarowych. Można stwierdzić, że na stanowiskach zlokalizowanych najbliżej wlotu ścieków (stanowiska 1-4), odnotowano najniższe stężenie tlenu rozpuszczonego oraz najszybsze jego zużywanie, co wynika z dopływu ścieków o dużym ładunku zanieczyszczeń. Na stanowiskach pomiarowych zlokalizowanych bliżej wylotu ścieków tj., 6-11 notowano wzrost stężenia tlenu rozpuszczonego odpowiedni od 3,5 mg/l (punkt 6) do 6 mg/l (punkt 11), wzrost stężenia tlenu można wiązać z rozkładem związków organicznych w komorze osadu. Można stwierdzić, że w punktach 6-11 napowietrzanie osadu czynnego jest zbyt intensywne. W punktach pomiarowych 6-11, należy zmniejszyć stężenia tlenu rozpuszczonego np. poprzez wyłączenie co drugiego aeratora.

### PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań, i wykonanych analiz można określić lokalizację punktów pomiarowych w komorach osadu czynnego i wyznaczyć punkty kontrolne, w których, w zależności od potrzeb będzie prowadzony monitoring ciągły lub laboratoryjny. Przeprowadzone badania, w przemysłowej oczyszczalni ścieków, wskazują na konieczność wprowadzenia monitoringu ciągłego jako wiodącego oraz pomocniczo laboratoryjnego jako jego uzupełnienie i kontrolę.

Analizując otrzymane wyniki pomiarowe, można stwierdzić, że zapotrzebowanie osadu czynnego na tlen rozpuszczony, w przypadku badanych punktów pomiarowych było zróżnicowane. Aktywność oddechowa osadu czynnego znacznie zmniejszyła się w trzecim dniu pomiarów. Można przypuszczać, że powodem było zwiększenie obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń lub dopływ ścieków toksycznych.

Można stwierdzić, że regularna i systematyczna kontrola aktywności oddechowej osadu czynnego przynosi wymierne korzyści eksploatatorowi w zakresie:

- doboru optymalnej ilości tlenu,
- kontroli stanu fizjologicznego osadu czynnego,
- potwierdzania informacji o dopływie substancji toksycznych,
- identyfikacji potencjalnych źródeł „zatrucia” osadu,
- podejmowania decyzji odnośnie dozowania pożywek,
- kontroli wzrostu niepożądanych mikroorganizmów (np. bakterie nitkowate).

Praca została wykonana dzięki aparaturze zakupionej w ramach projektu pod tytułem „Modernizacja zaplecza badawczego wykorzystywanego podczas rewitalizacji terenów zdegradowanych działalnością przemysłową”, Nr: POIG.02.01.00-24-045/08, Projekt jest realizowany przez Główny Instytut Górnictwa w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, lata 2007-2013, Priorytet 2. Infrastruktura sfery B +R, Działanie 2.1. Rozwój ośrodków o wysokim potencjale badawczym. Artykuł przedstawia możliwości wykorzystania infrastruktury badawczej zakupionej w ramach ww. projektu do działań mających na celu rewitalizację zdegradowanych terenów poprzemysłowych. Wartość projektu: 11 057 558,00 zł. Dofinansowanie ze środków publicznych: 8 018 023,00 zł w tym 85% z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. Okres realizacji: 01.08.2008 - 31.08.2011.

#### LITERATURA

1. SPANJERS H.: *Respirometry in control of the activated sludge process*. *Water Science technology*, vol. 34, 1999
2. DAVIES P.S.: *The Biological Basis of Wastewater Treatment*. Strathkelvin Instruments Ltd., 2004
3. GRAY N.F., *Biology of Wastewater Treatment*. Imperial College Press, Scotland 2004
4. KUNICKI-GOLDFINGER W. J.H.: *Życie bakterii*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008
5. ASPRAYA T.J., CARVALHOA D.J.C., PHILP J.C.: *Application of soil slurry respirometry to optimise and subsequently monitor ex situ bioremediation of hydrocarbon-contaminated soils*. *International Biodeterioration & Biodegradation* No 60, 2007
6. OKUTMAN TAS D.: *Respirometric assessment of aerobic sludge stabilization*. *Bioresource Technology* No. 101, 2010
7. SCHLEGEL H. G.: *Mikrobiologia ogólna*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2005
8. GIROUX, É. Y.; SPANJERS, H.; PATRY, G. G.; TAKÁCS, I.: *Dynamic modelling for operational design of a respirometer*. *Water Science and Technology*, Volume 33, Issue 1, 1996
9. SPANJERS, H.; VANROLLEGHEM, P.: *Respirometry as a tool for rapid characterization of wastewater and activated sludge*. *Water Science and Technology*, Volume 31, Issue 2, 1995

10. BEŃKO P.: *Metodyka wykonywania testów aktywności osadu czynnego, Seminarium fizykochemiczne metody monitoringu wód, ścieków i osadów ściekowych*, Politechnika Krakowska, 2009

## **BIOLOGICAL CONTROL OF INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT USING IN-SITU RESPIROMETRIC MEASURING OF ACTIVATED SLUDGE**

### *S u m m a r y*

*This article describes the results of the analysis carried out in an industrial wastewater treatment plant. Analysis was performed using equipment purchased under the grant "MOWITEGRAC". Measurements of respiratory activity of activated sludge were made by portable respirometer Bioscope. Analyses were carried out directly in the chambers of activated sludge. The results of the analysis indicated a high load of pollution in sewage and possible toxic influent.*

Key words: respirometry, activated sludge, oxygen