

## Wykorzystanie analiz respirometrycznych i mikroskopowych do kontroli stanu fizjologicznego osadu czynnego

*The use of respirometric and microscopic analysis to control the physiological state of activated sludge*

### **Streszczenie:**

*W niniejszym artykule zaprezentowano możliwości wykorzystania analiz aktywności oddechowej (respirometrii) i obserwacji mikroskopowych mikroorganizmów osadu czynnego do oceny ich stanu fizjologicznego. Przedstawiono zasadność prowadzenia wspomnianych analiz w kontekście bezpieczeństwa ekologicznego wód powierzchniowych, jakie zapewnia prawidłowa praca biologicznej części oczyszczalni ścieków. Poruszony w artykule problem zobrazowano na przykładzie pomiarów przeprowadzonych w oczyszczalni ścieków komunalnych Radocha II w Sosnowcu.*

### **Abstract:**

*This paper describes the possibility of using respiratory activity analysis (respirometry) and microscopic observations of activated sludge microorganisms to assess their physiological states. The necessity of these analyzes was presented in the context of environmental safety of surface water that provides the correct operation of the biological aspect of wastewater treatment plant. The issue raised in the paper is illustrated by the sample measurements carried out at the sewage treatment plant Radocha II in Sosnowiec.*

**Słowa kluczowe:** osad czynny, respirometria, oczyszczanie ścieków

**Keywords:** activated sludge, respirometry, waste water treatment

### **Wprowadzenie do problemu**

Ochrona wód jest jednym z priorytetowych działań Unii Europejskiej. Na zanieczyszczenie i zły stan wód powierzchniowych istotny wpływ ma ilość i jakość odprowadzanych ścieków. Przykładowo w województwie śląskim ze względu na przemysłowy charakter oraz wysoką gęstość zaludnienia region zajmuje pierwsze miejsce w kraju pod względem ilości wytwarzanych ścieków przemysłowych i komunalnych [10]. Głównymi przyczynami zanieczyszczenia wód powierzchniowych są: nieoczyszczone i niedostatecznie oczyszczone ścieki komunalne oraz ścieki z zakładów przemysłowych.

Współcześnie najpowszechniej stosowanym sposobem zapewniania norm jakości wód powierzchniowych jest oczyszczanie i odprowadzanie ścieków, które spełniają narzucone parametry jakościowe. W Polsce obecnie funkcjonuje ok. 2300 komunalnych oczyszczalni ścieków wykorzystujących technologię osadu czynnego [9]. Oczyszczalnie są głównymi obiektami, w których prowadzi się procesy oczyszczania wód odpadowych. Znajdują się one pod coraz większą presją związaną z normami odprowadzanych ścieków oczyszczonych zarówno w zakresie

związków biogenych jak i innych substancji priorytetowych, skutkuje to poszukiwaniem coraz doskonalszych i optymalnych rozwiązań technologicznych. Rosnące wymagania formalno-prawne w zakresie bezpieczeństwa ekologicznego i oddziaływania przemysłu na środowisko wodne narzucają konieczność modyfikacji technologii oczyszczania ścieków oraz perspektywiczne założenie zmian obecnie obowiązujących przepisów. Zaostrzające się normy i rozporządzenia obligują przygotowanie technologii oczyszczania ścieków do uwzględniania tych tendencji przy modernizacji obiektów oczyszczalni ścieków. Za skuteczność usuwania związków biodegradowalnych zawartych w ściekach oraz zmniejszanie ładunku azotu i fosforu odprowadzanego do wód powierzchniowych odpowiada biologiczna część oczyszczalni ścieków. Osad czynny w komorach biologicznych jest pod wpływem ciągłych zmian wynikających ze zmieniającego się w czasie składu ścieków oraz ich ilości.

Miejskie oczyszczalnie ścieków, które przekroczyły wartość progową 100 tysięcy równoważnej liczby mieszkańców (RLM), zobligowane są do dotrzymywania parametrów ścieków oczyszczonych na poziomie do 10 mg dla azotu i do 1 mg dla fosforu na dm<sup>3</sup>. Nadmiar tych

substancji lub ich związków w wodach powierzchniowych powoduje nadmierną eutrofizację. Istnieje zatem silna potrzeba zwiększenia nacisku na stały i cykliczny monitoring stanu osadu czynnego wykorzystywanego w oczyszczalniach.

Pomimo istnienia wielu metod analizy stanu fizjologicznego i kondycji osadu czynnego, nie stały się one przedmiotem rutynowych działań. W niniejszym artykule przedstawiono jedną z możliwości kontroli stanu osadu czynnego, jaką daje zastosowanie respirometrii *in situ*. Jest to prosta i szybka metoda umożliwiająca wykonanie pomiarów w dowolnym punkcie oczyszczalni ścieków w trakcie trwania procesów oczyszczania. Do prowadzenia analiz w ciągu technologicznym oczyszczalni niezbędna jest odpowiednia aparatura (przenośny respirometr). Brak odpowiedniego sprzętu nie wyklucza jednak prowadzenia analiz – test respirometryczny szybkości poboru tlenu przez osad czynny można wykonać metodą tzw. butelkową, przy pomocy sondy tlenowej i szklanej butelki laboratoryjnej. Prowadzenie tego typu analiz jest również istotne ze względu na bezpieczeństwo środowiska wodnego, ponieważ źle funkcjonująca część biologiczna oczyszczalni to zwiększona ilość zanieczyszczeń przedostających się do wód powierzchniowych [4]. Zaprezentowane w niniejszym artykule analizy mają na celu zwrócić uwagę na istotę problemu oraz zaproponować połączenie respirometrii i analiz mikroskopowych jako dobrą praktykę cyklicznej kontroli osadu czynnego w oczyszczalni ścieków.

## Materiały i metody

Do pomiaru aktywności oddechowej osadu czynnego w oczyszczalni ścieków wykorzystano techniki respirometryczne (pomiar aktywności oddechowej mikroorganizmów osadu czynnego). Aktywność oddechowa jest to jednostkowa prędkość poboru tlenu wyrażana w miligramach tlenu na liter (lub na gram suchej masy) osadu czynnego w jednostce czasu, w której jest on zużywany przez mikroorganizmy [8]. Zasadność wykorzystania respirometrii w oczyszczalni ścieków wynika z faktu, że aktywność oddechowa mikroorganizmów osadu czynnego jest bezpośrednio związana z dwoma ważnymi procesami biochemicznymi [4,7], które powinny być kontrolowane, tj.:

- zużycie substancji odżywczych,
- przyrost biomasy.

Cykliczne wykonywanie badań aktywności oddechowej (mikroorganizmów) w osadzie czynnym pozwala na szybkie podjęcie działań operatora w celu ochrony osadu czynnego przed działaniem substancji toksycznych [5], a tym samym długotrwałego zaburzenia pracy oczyszczalni (czas niezbędny do odbudowania mikrofauny osadu czynnego wynosi kilka tygodni). Zmniejszenie się

aktywności oddechowej osadu czynnego może być stwierdzone szybciej niż pogarszanie się jakości odpływu ścieków oczyszczonych.

Uzyskiwanie informacji dotyczących fizjologicznego stanu osadu czynnego oraz procesów biochemicznych zachodzących w komorach biologicznych umożliwia dokładniejsze ich zrozumienie. Dlatego tak ważne jest utrzymywanie prawidłowej pracy oczyszczalni, przy jednoczesnym spełnieniu norm dotyczących oczyszczonych ścieków.

Analizy respirometryczne w ciągu technologicznym oczyszczalni Radocha II były wykonywane przy pomocy respirometru Bioscope. Urządzenie to służy do pomiaru aktywności oddechowej osadu czynnego, 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 mieszałko i sonda tlenowa. Zaletą respirometru Bioscope jest możliwość wykonywania pomiarów w dowolnym punkcie komór biologicznych.



Rys. 1. Respirometr Bioscope w trakcie pomiaru

Podczas prowadzenia analizy otwarta komora pomiarowa jest umieszczana w wybranym miejscu ciągu technologicznego, a następnie zamykana na czas trwania pomiaru. Po spadnięciu stężenia tlenu do zera, wyniki pomiaru są wyświetlane na ekranie urządzenia: temperatura ścieków, stężenie tlenu rozpuszczonego w ściekach oraz stopień zużycia tlenu przez osad. Wyniki pomiarów przedstawiane są za pomocą wykresów i wartości tabelarycznych. Specjalistyczne oprogramowanie analizatora umożliwia opracowywanie wyników badań i wyznaczanie parametrów, takich jak szybkość poboru tlenu – ogólną i specyficzną oraz krytyczny punkt tlenowy (metodyka własna w oparciu o materiały producenta). Dodatkowo w celu uzupełnienia pomiarów respirometrycznych przeprowadzono analizy mikroskopowe osadu

czynnego. Próbkę osadu do analiz mikroskopowych pobrano w miejscach prowadzenia pomiarów respirometrycznych.

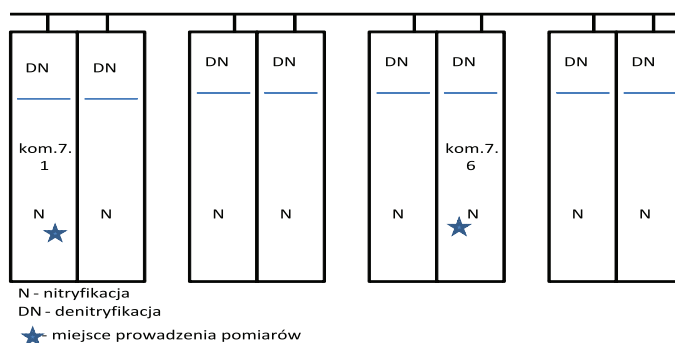
W oczyszczalni Radocha II przeprowadzono cztery serie pomiarowe po dwie w każdej z wybranych komór osadu czynnego. Zmierzono następujące parametry podstawowe: temperatura i stężenie tlenu rozpuszczonego w komorze oraz specyficzne: OUR, NOUR i krytyczny punkt tlenowy, gdzie:

- OUR – (oxygen uptake rate) to szybkość poboru tlenu przez mikroorganizmy w jednym litrze osadu czynnego;
- NOUR – szybkość poboru tlenu przez mikroorganizmy w przeliczeniu na gram suchej masy osadu czynnego;
- Krytyczny punkt tlenowy – pojęcie to odnosi się do minimalnego stężenia tlenu, przy którym w osadzie czynnym w danej instalacji przebiegają jeszcze procesy oddychania tlenowego [3].

### Miejsce analiz

Analizy prowadzono w komorach biologicznych oczyszczalni Radocha II w Sosnowcu. Zgodnie z opisem technologicznym zamieszczonym na witrynie RPWiK Sosnowiec, ścieki do oczyszczalni "Radocha II" dopływają trzema kolektorami  $\varnothing$  1500 mm (kolektorem brynicznym, prawobrzeżnym i lewobrzeżnym) oraz kolektorem przyłączeniowym Bobrek 1200 mm). Następnie kierowane są do budynku krat przykrytym korytem. Ścieki z budynku krat dopływają do pompowni I<sup>o</sup>, przed którą zlokalizowana jest stacja zlewca, umożliwiająca odbiór ścieków dowożonych od mieszkańców pozbawionych kanalizacji. Następnie ścieki są tłoczone do wyniesionych piaskowników. Ścieki z piaskowników płyną przez komorę rozdzielczą do dwóch osadników wstępnych. Dalej ścieki zostają poddane oczyszczaniu biologicznemu w trzech równoległych komorach beztlenowych. Do komór beztlenowych doprowadzany jest również osad recykulowany. Z komór beztlenowych mieszanina ścieków i osadu czynnego dopływa do pompowni II<sup>o</sup>, skąd może być tłoczona do ośmiu równoległych reaktorów osadu czynnego (rys. 2). Każdy reaktor składa się z dwóch stref: anoksydacyjnej, w której zachodzą procesy denitryfikacji oraz tlenowej, gdzie zachodzi jednocześnie redukcja związków organicznych i nityfikacja oraz pobór fosforanów. Natlenianie ścieków w reaktorach biologicznych realizowane jest poprzez ruszty napowietrzające z dyskami membranowymi, dodatkowo w celu utrzymania osadu czynnego w zawieszeniu zabudowane są mieszadła wolnoobrotowe. Poprzez odpowiednie sterowanie pracą rusztów napowietrzających można uzyskać w części strefy tlenowej strefę tzw. przemiennej działalności. Ścieki po procesie denitryfikacji z komory tlenowej są recykulowane do komory ano-

ksycznej z użyciem mieszadeł pompujących, zainstalowanych w komorach nityfikacji – recyrkulacja wewnętrzna, dodatkowo istnieje możliwość zawrócenia osadu recyrkulacją zewnętrzną z osadników wtórnych na początek reaktorów biologicznych [11]. Przedmiotem analiz był osad czynny poddawany natlenianiu w części komór biologicznych, w których zachodzi proces nityfikacji. Jest to o tyle istotne, że szybkość poboru tlenu przez mikroorganizmy można stwierdzić jedynie w dobrze natlenionym osadzie czynnym.



Rys. 2. Schemat komór osadu czynnego wraz z miejscem prowadzenia analiz

Na rysunku 2 zaznaczono wybrane punkty w komorach osadu czynnego, w których prowadzono serie pomiarowe. Osad w wybranych punktach był napowietrzany, część komór, w których prowadzono analizy, przeznaczona jest na proces nityfikacji. Stężenie osadu w dniu pomiarów wynosiło 5,3 kg na m<sup>3</sup> osadu. Wizualnie osad w komorach wyglądał prawidłowo, nie zauważono kożucha, który wskazywałby na nadmierną ilość bakterii nitkowanych, pęcznienie i złą pracę osadu. Nad komorami unosił się typowy dla komór biologicznych „ziemisty” zapach – w taki sposób można organoleptycznie stwierdzić prawidłowość zachodzących procesów. Oczywiście ze względu na znaczną ilość bioaerozoli unoszących się nad komorami biologicznymi nie jest wskazane długotrwałe przebywanie w ich zasięgu.

### Wyniki analiz

#### Analizy respirometryczne

Zebrane w trakcie analiz wyniki wskazują na niewielkie odchylenia pod względem temperatury w analizowanych punktach. Zauważono nieznaczne różnice wartości stężenia tlenu rozpuszczonego w komorze 7.7. Różnica wynosiła 0,2 mg tlenu, i mogła być spowodowana nierównomiernością ładunku zanieczyszczeń zawartą w dopływających do komory ściekach. Wartości tlenu w komorach były stosunkowo niskie w porównaniu do zalecanych wartości książkowych, jak podaje Sadecka [6], przeciętne stężenie tlenu rozpuszczonego w komorze nityfikacji powinno wynosić 2mg O<sub>2</sub>/l. W oczyszczalni

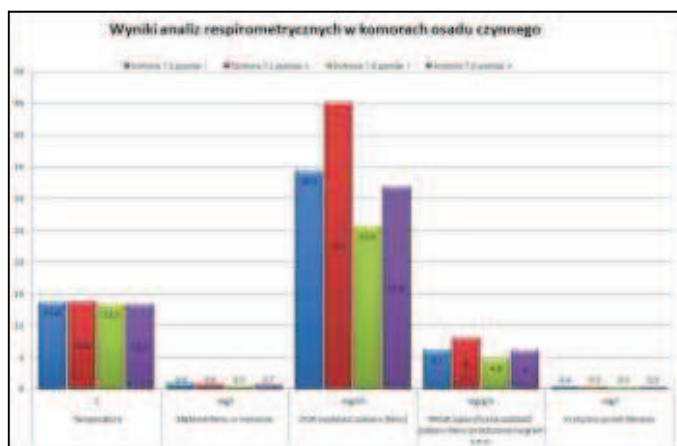


Radocha II pomimo utrzymującego się niskiego stężenia tlenu w części biologicznej, proces usuwania azotu i fosforu przebiega prawidłowo i zapewnia dotrzymanie norm na wylocie ścieków oczyszczonych.

Tab. 1. Wyniki pomiarów respirometrycznych w komorach osadu czynnego

Parametr	Jednostka	Wartość			
		7.1	7.1	7.6	7.6
Komorę		7.1	7.1	7.6	7.6
Temperatura	C	13,6	13,8	13,3	13,3
Stężenie tlenu w komorze	mg/l	0,9	0,8	0,5	0,7
OUR (szybkość poboru tlenu)	mg/l/h	34,3	45,1	25,6	31,8
NOUR (specyficzna szybkość poboru tlenu przeliczona na gram s.m.o.)	mg/g/h	6,1	8	4,8	6
Krytyczny punkt tlenowy	mg/l	0,4	0,3	0,3	0,3

Analizując graficzne zestawione wyniki pomiarów nie odnotowano odchyłek pomiędzy otrzymanymi wartościami z danych miejsc pomiarowych. Jedyne odchylenie, jakie zauważono, to różnica w aktywności oddechowej mikroorganizmów pomiędzy dwoma pomiarami w komorze 7.1. Różnica może wynikać z przesunięcia pomiarów w czasie i dopływu ścieków o zwiększonym ładunku substancji łatwo rozkładalnych biologicznie.

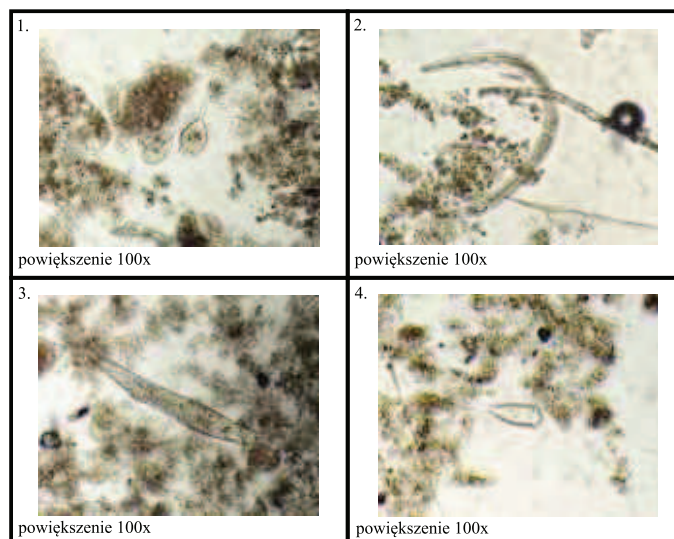


Rys. 3. Wykres zbiorczy dla otrzymanych wyników pomiarów respirometrycznych

#### Analizy mikroskopowe

Osad pobrany w miejscach, w których prowadzono pomiar respirometryczny, analizowano pod mikroskopem w celu oceny struktury kłaczków występowania bakterii nitkowatych oraz składu mikrofauny pierwotniaków. Osad analizowano na mikroskopie świetlnym sprzężonym z cyfrowym aparatem fotograficznym, umożliwiającym udokumentowanie obserwowanych próbek. Analizowany osad był w średniej kondycji. Osad tworzy zwarte małe i średnie kłaczkę. Zaobserwowano wiciowce i orzęski – zarówno pełzające, jaki i osiadłe w dobrym

oraz średnim stanie fizjologicznym (prawidłowe kształty mikroorganizmów i organelli). Nie zaobserwowano nadmiernych ilości bakterii nitkowatych powodujących puchnięcie osadu. W analizowanej próbce występowały mikroorganizmy wielokomórkowe – co świadczy o wyższym wieku osadu.



Rys. 4. Fotografie osadu czynnego

Opis fotografii:

1. Kłaczki osadu z kolonią *Opercularia sp.*
2. Nicień *Nematoda sp.*
3. Kłaczki osadu czynnego, wrotek *Rotaria sp.*
4. Kłaczki osadu czynnego nieliczne nitki, orzęsek *Vorticella sp.*

W każdym z czterech obserwowanych preparatów skład gatunkowy mikrofauny był zbliżony, dotyczy to przede wszystkim pierwotniaków i wielokomórkowców.

#### Dyskusja otrzymanych wyników

Analizę przeprowadzono w dwóch punktach pomiarowych, po dwie próby w każdym z punktów. Osad czynny w oczyszczalni Radocha II pracuje na bardzo niskich stężeniach tlenu, maksymalna odnotowana wartość wynosiła 0,9 mg/l. W trakcie prowadzenia analiz okresowo następowało włączanie napowietrzania, co miało wpływ na pomiar (destabilizacja początkowych wartości tlenu rozpuszczonego). Pomimo tych przeszkód wartość krytycznego punktu tlenowego została wyznaczona – była ona niska i wahała się w okolicach 0,3-0,4 mg O<sub>2</sub>/l. Szybkość poboru tlenu wskazuje na prawidłowo zachodzące procesy biologicznego utleniania zanieczyszczeń zawartych w dopływających do oczyszczalni ściekach. Specyficzna wartość szybkości poboru tlenu jest niska i waha się w okolicach 4,8-8 mg/g/h, co może wskazywać na niewystarczającą ilość mikroorganizmów odpowiedzialnych za procesy usuwania biogenów, pomimo utrzymywania wysokich stężeń osadu (ponad 5 g/l).

Analiza mikroskopowa stanu osadu czynnego wykazała, że osad jest w średniej kondycji. Ma strukturę kłaczkową, a kłaczkę są wyraźnie zawiązane, udział bakterii nitkowatych w granicach optymalnych. Obecność wielokomórkowców (*Nematoda sp*, *Rotaria sp*) wskazuje na wyższy wiek osadu. Mikroorganizmy wyższe wykazywały żywotność, mikrofauna bioindykatorów kondycji osadu czynnego nie była zbyt bogata, jednakże te mikroorganizmy, które udało się zidentyfikować, były w dobrej kondycji fizjologicznej (*Opercularia sp*, *Vorticella sp*).

Odnosząc pozyskane wyniki do dostępnej literatury z zakresu technologii oczyszczania ścieków i osadu czynnego, można stwierdzić prawidłowe funkcjonowanie biologicznej części oczyszczalni. Niepokojący może być jedynie fakt funkcjonowania osadu czynnego na niskich stężeniach tlenu rozpuszczonego. Prawidłowe działanie może wiązać się ze specyfiką danego składu mikroorganizmów, którą należałoby sprawdzić przy pomocy specjalistycznych testów mikrobiologicznych. Oczywiście, tak specjalistyczne analizy nie są wymagane do kontroli technologii, mają charakter poznawczy i naukowy. Do zapewnienia ciągłości prawidłowego przebiegu procesu oczyszczania ścieków wystarczą rutynowe analizy, poparte analizą respirometryczną i mikroskopową.

## Podsumowanie

W dniu prowadzenia analiz nie stwierdzono większych nieprawidłowości pracy osadu czynnego – niepokojący był jedynie fakt niskiego parametru NOUR przy wysokim stężeniu suchej masy osadu. Może to wskazywać na niską aktywność mikrofauny, brak łatwo przyswajalnego źródła węgla organicznego lub inne czynniki mogące zaburzać proces. Przeprowadzone analizy miały charakter wstępny i poglądowy, i można stwierdzić, że osad czynny Oczyszczalni Radocha II w chwili badań pracował prawidłowo. Należy mieć jednak na uwadze, że wskazanie przyczyn w oparciu o jeden pomiar jest trudne i obarczone błędem.

Celem analiz respirometrycznych oprócz określenia stanu fizjologicznego osadu czynnego jest, w oparciu o opracowane wyniki, przedstawienie rekomendacji odnośnie pracy biologicznej części oczyszczalni ścieków. Aby móc wyciągnąć prawidłowe wnioski, należy wykonać cykl pomiarów umożliwiających poznanie charakterystyki danego osadu czynnego. Punktowe analizy umożliwiają jedynie określenie stanu osadu w danym przekroju czasu. Nie można jednak jednoznacznie określić trendu i charakteru pracy osadu czynnego, a także wskazać kierunków potencjalnych modyfikacji technologii oczyszczania. Podczas przeprowadzonych w oczyszczalni Radocha II analiz stwierdzono pozytywną korelację pomiędzy wynikami analiz respirometrycznych a składem mikrofauny. Potwierdza to dobry stan fizjologiczny ziden-

tyfikowanych bioindykatorów, czyli organizmów wzorcowych dla określonych warunków środowiska, w którym bytują.

Badania respirometryczne umożliwiają również nieselektywną kontrolę toksyczności osadu czynnego (wpływu ścieków na stan osadu). Pomiary *in situ* wykonywane jednocześnie z analizą mikroskopową dają w dalszej perspektywie czasu pełną wiedzę na temat danego osadu czynnego, usprawniając proces podejmowania decyzji w zakresie prowadzenia procesu technologicznego. W praktyce tego typu badania powinno prowadzić się regularnie we wszystkich przedziałach cyklu technologicznego. **Respirometria stanowi dobre uzupełnienie klasycznego monitoringu nieuwzględniającego procesów biochemicznych zachodzących w biologicznej części oczyszczalni.**

## LITERATURA

- [1] Aspraya T.J., Carvalho 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.
- [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] Henze M., Oczyszczanie ścieków. Procesy biologiczne i chemiczne. Wydawnictwo PŚk, Kielce 2000.
- [5] Okutman Tas D., Respirometric assessment of aerobic sludge stabilization, „Bioresource Technology” No. 101, 2010.
- [6] Sadecka Z., Podstawy biologicznego oczyszczania ścieków, Seidel-Przywecki 2010.
- [7] Schlegel H.G., Mikrobiologia ogólna, Wydawnictwo Naukowe PWN 2005.
- [8] Spanjers H., Respirometry in control of the activated sludge process, „Water Science Technology” vol. 34, 1999.
- [9] Ochrona środowiska, GUS, Warszawa 2010.
- [10] Strategia rozwoju województwa śląskiego „Śląskie 2020” Katowice 2010.
- [11] <http://rpwik.sosnowiec.pl/>.