

Marcin Głodniok, Dariusz Zdebik*, Krzysztof Korczak**

WYKORZYSTANIE ANALIZ RESPIROMETRYCZNYCH DO KONTROLI PROCESU OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW PRZEMYSŁOWYCH

Streszczenie

W niniejszym artykule opisano wyniki analiz przeprowadzonych w przemysłowej oczyszczalni ścieków i w laboratorium. W analizach wykorzystano sprzęt zakupiony w ramach grantu: „Modernizacja zaplecza badawczego w ramach programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka priorytet 2 działanie 2.1 nr 08055923”, a mianowicie przenośny respirometr Bioscope i laboratoryjny respirometr Strathtox. Analizy przeprowadzono w lipcu i sierpniu 2010 roku. Wyniki otrzymane z pomiarów prowadzonych bezpośrednio w komorach osadu czynnego oraz w laboratorium zestawiono w celu porównania. Na ich podstawie zaproponowano model kontroli procesów oczyszczania ścieków, którego podstawę stanowiły badania respirometryczne.

Respirometric analyses use in process control of industrial sewage treatment

Abstract

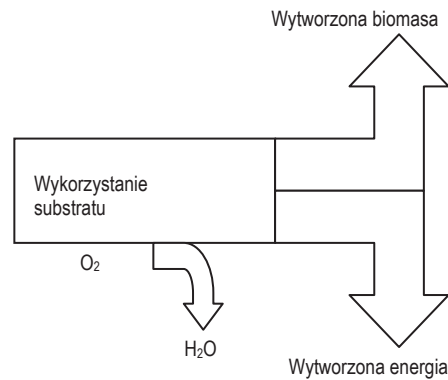
It the paper, analyses results were described conducted in industrial sewage-treatment plant and in laboratory. In the analyses, an equipment was used purchased within grant: "The Modernisation of research support equipment within the frames of Innovative Economy Operating Programme, Priority 2, Action 2.1, No. 08055923", including the mobile respirometer Bioscope and the laboratory respirometer Strathtox. The analyses were conducted in July and August 2010. The results obtained from measurements were compiled for comparison. Conducted directly in chambers of activated sludge, as well as in laboratory. On their basis, the model of control of sewage-treatment process was proposed, based on respirometry tests.

1. WPROWADZENIE

Do pomiaru aktywności oddechowej osadu czynnego w oczyszczalni ścieków przemysłowych może być stosowana respirometria. Aktywność oddechowa jest to jednostkowa prędkość poboru tlenu wyrażana w miligramach tlenu na litr (lub suchą masę) osadu czynnego na jednostkę objętości osadu czynnego i jednostkę czasu, w której jest on zużywany przez mikroorganizmy (Spanjers 1999). Możliwość zastosowania respirometrii wynika z faktu, że aktywność oddechowa mikroorganizmów jest bezpośrednio związana z dwoma ważnymi procesami biochemicznymi, które powinny być kontrolowane w oczyszczalni ścieków (rys. 1), a mianowicie:

- zużyciem substancji odżywczych,
- przyrostem biomasy.

* Główny Instytut Górnictwa



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

Przebieg tych procesów ściśle zależy od pobierania tlenu przez mikroorganizmy. Zarówno dopływ substratu, jak i wzrost stężenia biomasy w osadzie czynnym mają wpływ na zwiększenie aktywności respiracji. Jeśli dopływający do komór substrat nie będzie zawierał substancji toksycznych, tylko frakcje łatwo przyswajalne, aktywność oddechowa osadu będzie wzrastać i będzie następował przyrost biomasy. Jeśli w ściekach pojawią się substancje toksyczne, aktywność oddechowa zmniejszy się, ponieważ mikroorganizmy powodujące biologiczne procesy oczyszczania ścieków będą obumierać na skutek zatrucia substancjami toksycznymi (Giroux i in. 1996).

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. Stanowi to wyzwanie dla operatora, jak i utrzymywanie ruchu oczyszczalni pomimo zakłóceń, spowodowanych zmianami w dopływie (natężenie dopływu, stężenie substancji zawartych w ściekach), z wykorzystaniem informacji z pomiarów. Jest to skomplikowane, ponieważ zależność między dopływem i ładunkiem ścieków jest bardzo trudna do określenia. Kontrolę przebiegu oczyszczania dodatkowo komplikują wewnętrzne procesy zachodzące w oczyszczalni oraz w sieci kanalizacyjnej. Ponadto, istnieje zależność między stężeniem związków biogenych zawartych w wodach nadosadowych oraz w wodach po przeróbce osadów, które są zwracane do komór osadu czynnego. Wiele problemów wynika także z podstawowych biochemicznych lub mikrobiologicznych procesów zachodzących w komorach osadu czynnego. Podstawę do kontroli przebiegu biologicznego oczyszczania ścieków stanowią wyniki prowadzonych pomiarów, niestety często dane pomiarowe, jakimi dysponuje operator oczyszczalni, są niewystarczające.

Zapewnienie właściwych parametrów ścieków oczyszczonych wymaga między innymi:

- utrzymywania prawidłowego przyrostu biomasy osadu,
- utrzymywania prawidłowego mieszania w komorach,

- zachowywania odpowiedniego stężenia tlenu rozpuszczonego,
- unikania przeciążenia osadników wstępnych i wtórnych.

Wykonanie badań aktywności oddechowej (mikroorganizmów) w osadzie czynnym pozwala na szybką reakcję operatora w celu ochrony osadu czynnego przed działaniem substancji toksycznych, a tym samym długotrwałego zaburzenia pracy oczyszczalni (czas niezbędny do odbudowania mikrofauny osadu czynnego wynosi kilka tygodni). Zmniejszenie się aktywności oddechowej osadu czynnego jest stwierdzone szybciej niż pogarszanie się jakości odpływu ścieków oczyszczonych.

Regularna i systematyczna kontrola aktywności oddechowej mikrofauny osadu czynnego pozwala na:

- wyznaczenie optymalnej dawki tlenu,
- kontrolę stanu fizjologicznego osadu czynnego,
- zapobieganie zakłóceniom powodowanym przez toksyczne dopływy,
- identyfikację potencjalnych źródeł „zatrucia” osadu,
- płynną regulację biomasy osadu,
- podejmowanie decyzji odnośnie do dozowania pożywek,
- kontrolę wzrostu niepożądanych mikroorganizmów (np. bakterii nitkowatych).

Najważniejszych informacji dotyczących kontroli procesów biochemicznych zachodzących w oczyszczalni może dostarczyć respirometria. Parametry biologiczne, na przykład aktywność oddechowa, enzymatyczna są dokładniejsze i lepiej opisują stan osadu czynnego niż właściwości fizykochemiczne, ponieważ są one bezpośrednio związane z mikroorganizmami powodującymi te procesy (Spanjers 1999).

2. MONITORING OSADU CZYNNEGO

Większość zakłóceń w pracy oczyszczalni jest wynikiem składu ścieków dopływających oraz zmian natężenia ich przepływu i stężenia. Inne zaburzenia mogą być spowodowane przez procesy jednostkowe, takie jak: płukanie filtrów, fermentacja lub zagniwanie recykulatu. Zwykle nie ma możliwości bezpośredniego zmierzenia czynników wpływających na zaburzenie procesów biologicznego oczyszczania ścieków. Zamiast bezpośredniego pomiaru czynników zaburzających proces, nieprawidłowości w procesach oddechowych biomasy osadu czynnego można określać z wykorzystaniem respirometrii. Może to stanowić pierwszy krok w identyfikowaniu zaburzeń przebiegu procesu oczyszczania ścieków. Celem operatora jest utrzymanie mierzonych zmiennych jak najbardziej zbliżonych z ustalonymi parametrami technologicznymi, pomimo ciągłych zakłóceń (Gray 2004; Davies 2004).

W tradycyjnej kontroli stężenie tlenu rozpuszczonego mierzy się w komorach osadu czynnego (efektywność natleniania komór i stężenie tlenu rozpuszczonego). Kontrola aktywności oddechowej jest natomiast uważana za uzupełnienie systemu monitoringu oczyszczalni. Zaburzenia w aktywności oddechowej osadu czynnego często nie są związane ze zmianą stężenia tlenu w komorach osadu czynnego. Operator, mając jedynie do dyspozycji sondy tlenowe, może stwierdzić, że stężenie tlenu w komorach jest prawidłowe, pomimo zmniejszenia napowietrzania osadu przy użyciu

aeratorów. Sytuacja taka może świadczyć o nieefektywnym wykorzystaniu tlenu przez mikrofaunę osadu czynnego. Za pomocą respirometru można natomiast wykazać, że mikroorganizmy nie pobierają tlenu w dostatecznej ilości.

Może zaistnieć sytuacja, kiedy substancja toksyczna wpływa do oczyszczalni. Operator zauważa wtedy, że mniej powietrza jest potrzebne do osiągnięcia ustalonego stężenia tlenu w komorze, a jakość odpływu pogarsza się – może to być informacja o zaburzeniu aktywności oddechowej osadu czynnego, a tym samym o wstrzymaniu lub zmniejszeniu efektywności biologicznego oczyszczania ścieków (Spanjers 1999).

Prowadzenie ciągłego monitoringu aktywności oddechowej osadu czynnego według nawet najprostszej metody (Beńko 2009) umożliwi uzupełnienie informacji związanych z pracą osadu czynnego w oczyszczalni. Przykładowo, można przeprowadzić analizy na standardowym sprzęcie laboratoryjnym, przy użyciu sondy tlenowej. Prowadzenie tego typu analiz umożliwi określenie endogennej aktywności oddechowej osadu czynnego. Poznanie tej aktywności stanowi pierwszy istotny krok w opracowaniu systemu monitoringu osadu czynnego. Na podstawie wyników analiz respirometrycznych z dłuższego czasu oraz obliczonej ich średniej wartości można określić, tzw. punkt zerowy, który będzie stanowić odniesienie do wyników otrzymywanych z analiz prowadzonych *in situ* (drugi krok w monitoringu jakości osadu czynnego). Rozbudowa systemu monitoringu o kontrolę aktywności osadu czynnego *on line* umożliwi lepszą jego ochronę przed nadmiernym zatruciem ściekami toksycznymi, na przykład przez ewentualne retencjonowanie i rozcieńczanie ścieków lub dozowanie ich w mniejszych ilościach.

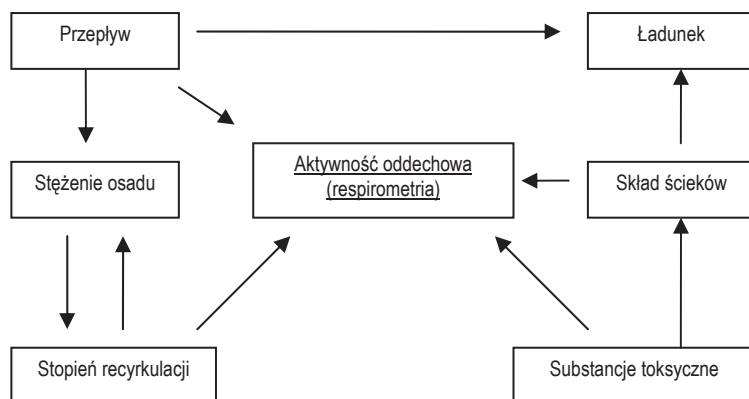
Znajdujące się w Mobilnym Laboratorium Badawczym Zakładu Ochrony Wód GIG (MBL GIG) urządzenia Strathtox i Bioscope umożliwiają prowadzenie analiz respirometrycznych mikrofauny osadu czynnego. Pomiaru wykonywane bezpośrednio w komorach i w warunkach laboratoryjnych umożliwiają wyznaczenie optymalnej dawki tlenu dla konkretnego osadu czynnego, wykorzystywanego w oczyszczalni.

Na zmiany aktywności osadu czynnego mogą mieć wpływ również czynniki zewnętrzne. Ważne jest więc określenie, które z nich mogą zaburzać proces biologicznego oczyszczania ścieków, a które powodować jedynie nieznaczne fluktuacje, niemające istotnego wpływu na przebieg procesu. Identyfikacja potencjalnych zaburzeń aktywności oddechowej umożliwia prawidłowe interpretowanie otrzymanych wyników pomiarowych. Na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy czynników mogących zaburzać aktywność oddechową osadu czynnego.

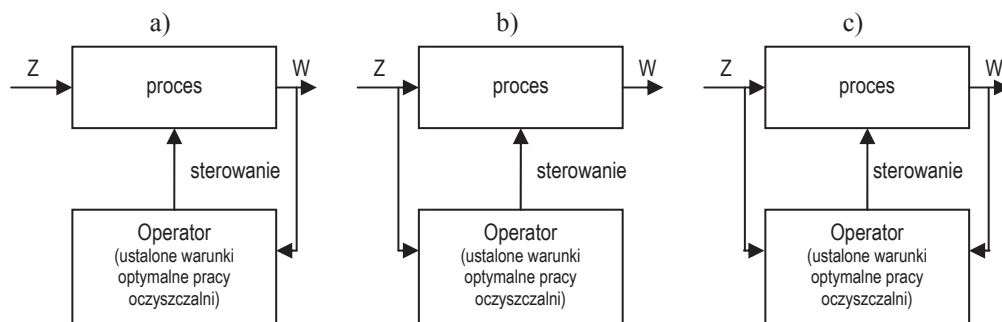
Systematyczne prowadzenie analiz respirometrycznych umożliwia stworzenie systemu monitoringu stanu osadu czynnego. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy schemat systemu monitoringu biologicznej części oczyszczalni, opracowany na podstawie analiz aktywności oddechowej osadu czynnego.

Operator, kontrolując proces biologicznego oczyszczania ścieków, dąży do utrzymania ustalonych warunków optymalnych pracy osadu czynnego. Sterując napowietrzaniem stara się utrzymać odpowiednią dawkę tlenu niezbędną do prawidłowego przebiegu procesów biochemicznych (dawka ustalona na podstawie analiz respirometrycznych). Obserwując zmniejszenie aktywności oddechowej (a) operator jest w stanie zorientować się, czy nastąpił dopływ ścieków toksycznych do komory lub

zwiększenie ładunku (b). Odpowiednio sterując dawką tlenu oraz strumieniem ścieków operator oczyszczalni ma możliwość zapobiec zatruciu lub zdegradowaniu osadu czynnego (c) zanim będzie to widoczne na wylocie (przez pogorszenie parametrów oczyszczonego ścieku). Kluczowe w tego typu kontroli jest to, że można zidentyfikować problem zanim powstanie i mieć czas na zminimalizowanie możliwych negatywnych skutków (Spanjers 1999).



Rys. 2. Schemat przedstawiający potencjalne czynniki zaburzające aktywność oddechową osadu czynnego
Fig. 2. Schematics presenting the potential factors interfering with the respiratory activity of activated sludge



Rys. 3. Schemat systemu kontroli procesów biologicznego oczyszczania ścieków zachodzących w komorach osadu czynnego, polegający na pomiarach aktywności oddechowej mikroorganizmów: Z – zaburzenie (rozumiane jako dopływ ścieku, na przykład toksycznego), W – poziom aktywności oddechowej

Fig. 3. Layout of 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

3. MIEJSCE PROWADZENIA POMIARÓW

Analizy respirometryczne wykonywano w przemysłowej mechaniczno biologicznej oczyszczalni ścieków z dwoma stopniami biologicznego oczyszczania. Największy udział w ściekach dopływających do oczyszczalni stanowiły związki organiczne

z instalacji przemysłowych branży chemicznej i przetwórstwa substancji ropopochodnych.

Wiodącymi produktami w tych instalacjach są: benzen, toluen, solwentnafta oraz frakcja heksanowa. Na podstawie przeprowadzonej analizy procesowo-technologicznej stwierdzono, że w ściekach mogą znajdować się następujące zanieczyszczenia: benzol (mieszanka benzenu, toluenu i ksylenu oraz, w mniejszych ilościach, tiofen, pirydyna i fenol), benzen, toluen, ksylen, kumaron, inden, węglowodory z grupy C6 (frakcja heksanowa), węglowodory z grupy C7-C10 (solwentnafta K). Ponadto, stwierdzono występujące okresowo zanieczyszczenia, którymi były:

- nieprzereagowane substraty: fenol, propylen,
- produkty syntezy: nonylofenol, dodecylofenol, trimer i tetramer propylenu, bisfenol, propoksylaty,
- produkty uboczne: alifatyczne węglowodory nasycone, fenolan sodu, koncentrat poliglikoli propylenowych.

Oprócz wymienionych ścieków przemysłowych do oczyszczalni dopływają ścieki komunalne stanowiące niezbędne źródło łatwo przyswajalnego węgla organicznego (łatwo rozkładalna frakcja ChZT), bez którego utrzymanie dobrych parametrów pracy osadu czynnego mogłoby być trudne do osiągnięcia.

4. WYNIKI ANALIZ

Wyniki pomiarów respirometrycznych wykonywanych w biologicznej oczyszczalni ścieków, do której dopływają również ścieki pochodzenia organicznego (TZW – trudno rozkładalne związki organiczne, np. fenole, benzen) przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Analizy osadu przeprowadzono bezpośrednio w komorach osadu i w laboratorium, gdzie modelowano pracę oczyszczalni w respirometrze Strathtox.

Tabela 1. Wyniki analiz respirometrycznych *in situ* (pomiar z użyciem respirometru Bioscope)

Nr stanowiska pomiarowego	Stężenie tlenu, mg/l	OUR mgO ₂ /l·h	Stężenie tlenu, mg/l	OUR mgO ₂ /l·h	Stężenie tlenu, mg/l	OUR mgO ₂ /l·h
	data pomiaru 23.06.2010 r.		data pomiaru 7.07.2010 r.		data pomiaru 14.07.2010 r.	
1	0,2	19,2	0,2	35,9	6,2	16,3
2	0,2	19,2	0,1	23,8	5,1	17,5
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
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.

Stanowiska pomiarowe wyznaczano za kolejnymi aeratorami w komorze osadu czynnego; stanowisko nr 1 znajdowało się bezpośrednio przy wlocie ścieków do komory, a ostatnie stanowisko nr 11 przy wylocie ścieków oczyszczonych.

Tabela 2. Wyniki analiz respirometrycznych (pomiar z użyciem respirometru Strathtox)

Nr próbek	Opis próby	Wartość aktywności oddechowej, mgO ₂ /l·h	
data pomiaru 7.07.2010 r.			
		pomiar 1	pomiar 2
1	kontrola	167,5	167,3
2	kontrola	180,7	184,3
3	ścieki nieoczyszczone	86,3	57,9
4	ścieki nieoczyszczone	47,9	28,9
5	ścieki oczyszczone	149,4	158,2
6	ścieki oczyszczone	140,7	129,2
data pomiaru 8.07.2010 r.			
1	kontrola	207,5	111,0
2	kontrola	213,6	76,0
3	ścieki nieoczyszczone	27,0	3,9
4	ścieki nieoczyszczone	22,1	3,8
5	ścieki oczyszczone	178,2	39,8
6	ścieki oczyszczone	172,3	15,0
data pomiaru 14.07.2010 r.			
1	kontrola	61,4	50,1
2	kontrola	49,3	49,5
3	ścieki nieoczyszczone	2,6	5,5
4	ścieki nieoczyszczone	2,7	17,9
5	ścieki oczyszczone	63,9	51,2
6	ścieki oczyszczone	68,7	64,0
data pomiaru 21.07.2010 r.			
1	kontrola	156,0	113,0
2	kontrola	113,8	76,4
3	ścieki nieoczyszczone	3,6	1,3
4	ścieki nieoczyszczone	3,7	27,8
5	ścieki oczyszczone	132,8	25,6
6	ścieki oczyszczone	127,1	17,2
data pomiaru 30.07.2010 r.			
1	kontrola	133,7	128,8
2	kontrola	131,1	124,4
3	ścieki nieoczyszczone	17,6	28,4
4	ścieki nieoczyszczone	12,3	14,8
5	ścieki oczyszczone	116,2	115,1
6	ścieki oczyszczone	116,3	109,4
data pomiaru 11.08.2010 r.			
1	kontrola	70,0	n.b.
2	kontrola	82,4	n.b.
3	ścieki nieoczyszczone	119,0	n.b.
4	ścieki nieoczyszczone	117,5	n.b.
5	ścieki oczyszczone	73,6	n.b.
6	ścieki oczyszczone	77,1	n.b.

n.b. – nie badano. Wyjaśnienie: analizy były prowadzone w warunkach naturalnych, przy temperaturze mieszaniny 18°C; kontrola – osad czynny z dodatkiem łatwo przyswajalnej pożywki organicznej; ścieki nieoczyszczone – osad czynny zmieszany ze ściekami dopływającymi do oczyszczalni; ścieki oczyszczone – osad czynny zmieszany ze ściekami oczyszczonymi.

Źródło: Analizy własne.

Zwiększoną aktywność oddechową w dniu pomiaru 11.08.2010 r. w stosunku do pomiarów wcześniejszych można tłumaczyć zmniejszeniem się stężenia substancji toksycznych w dopływie i zwiększeniem ilości ścieków zawierających łatwo przyswajalne ChZT, które nie wpłynęło hamująco na procesy oddechowe mikroorganizmów osadu czynnego.

Tabela. 3. Analizy Strathtox modelujące pracę oczyszczalni

Nr próbki	Opis próby	Wartość aktywności oddechowej, mgO ₂ /l·h
data pomiaru 14.07.2010 r.		
1	kontrola	14,9
2	kontrola	14,4
3	ścieki nieoczyszczone	1,1
4	ścieki nieoczyszczone	1,2
5	ścieki oczyszczone	10,4
6	ścieki oczyszczone	12,8
data pomiaru 21.07.2010 r.		
1	kontrola	21,8
2	kontrola	14,3
3	ścieki nieoczyszczone	40,8
4	ścieki nieoczyszczone	31,4
5	ścieki oczyszczone	14,7
6	ścieki oczyszczone	14,2
data pomiaru 30.07.2010 r.		
1	kontrola	24,7
2	kontrola	25,4
3	ścieki nieoczyszczone	2,2
4	ścieki nieoczyszczone	2,8
5	ścieki oczyszczone	13,7
6	ścieki oczyszczone	13,2

Zródło: Analizy własne.

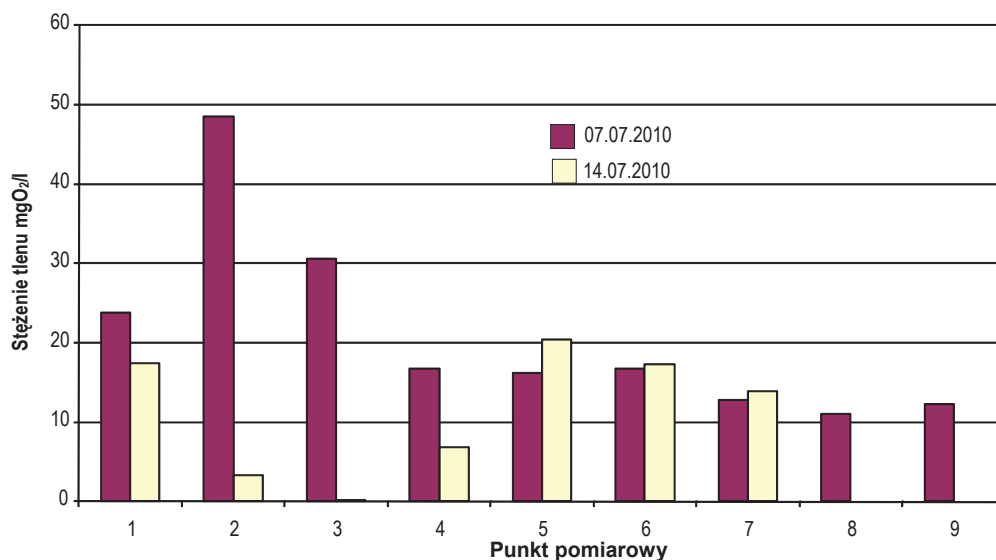
Wyniki aktywności oddechowej z dnia 21.07.2010 r. w analizach modelujących pracę oczyszczalni różniły się od wyników analiz otrzymanych tego samego dnia, prowadzonych z dodatkiem łatwo przyswajalnej pożywki. Pozostałe wyniki zestawione w tabeli 3 są zbieżne z wynikami analiz zawartymi w tabeli 2. Rozbieżność między wynikami z 21.07.2010 r. można wytłumaczyć prawdopodobnym dodaniem zbyt gęstego nierównomiernie rozmieszanego osadu czynnego – większa koncentracja suchej masy osadu w próbce testowej skutkowała większymi wartościami aktywności oddechowej.

5. DYSKUSJA WYNIKÓW

W tabelach 1, 2 i 3 zestawiono wyniki pomiarów respirometrycznych wykonanych w przemysłowej oczyszczalni ścieków, w której analizy prowadzono bezpośrednio w komorach osadu czynnego (respirometrem Bioscope) (tab. 1) oraz wyniki badań laboratoryjnych (respirometrem Strathtox). W analizach laboratoryjnych wykorzystano substraty łatwo przyswajalne przez mikroorganizmy (pożywkę sporządzoną z mocznika i peptonu), które dodawano do próbek. Wyniki analiz przedstawiono w tabeli 2. W tabeli 3 zamieszczono wyniki uzyskane z laboratoryjnego modelu pracy

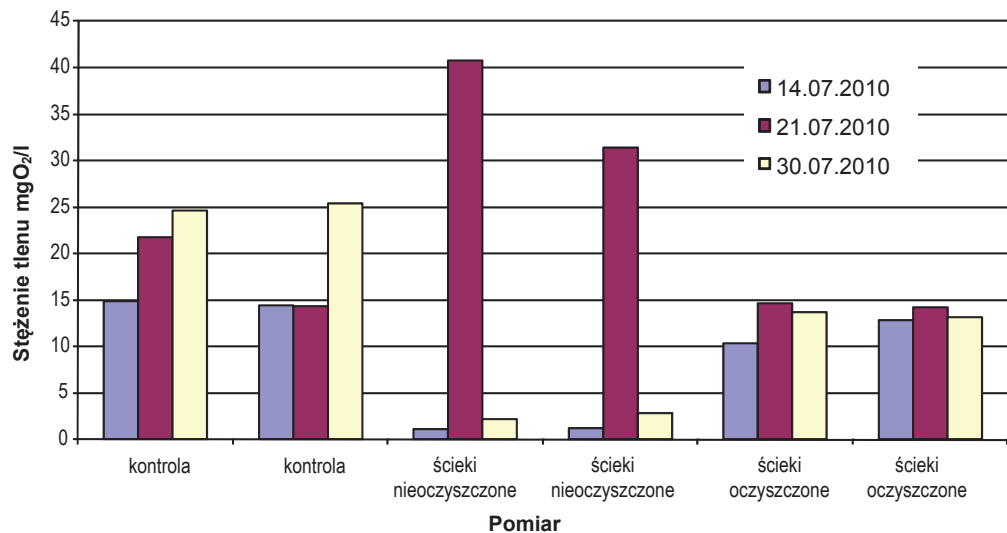
komór biologicznych oczyszczalni, który uzyskano przez mieszanie osadu czynnego ze ściekami, w proporcjach odpowiadających rzeczywistym warunkom technologicznym pracy oczyszczalni. Na podstawie porównania wyników laboratoryjnych z wynikami uzyskanymi w warunkach rzeczywistych stwierdzono, że wyniki analiz wykonanych w skali laboratoryjnej były spójne z pomiarami prowadzonymi *in situ*.

Informacja taka jest przydatna ze względu na możliwość przeprowadzenia testów na ściekach dowożonych beczkowozami, przed zlaniem ich do komór osadu czynnego. Sprawdzenie, jaki wpływ na aktywność oddechową osadu mają ścieki dowożone, ułatwi podjęcie decyzji odnośnie do zrzutu z retencją (dozowanie ścieków) lub bezpośredniego zrzutu do komór bez obawy o zaburzenie prawidłowej pracy osadu czynnego.



Rys. 4. Wyniki respirometrycznych analiz prowadzonych bezpośrednio w komorach oczyszczalni (Bioscope)

Fig. 4. Results of respirometry analyses conducted directly in chambers of sewage-treatment plant (Bioscope)



Rys. 5. Wyniki respirometrycznych analiz laboratoryjnych (Strathox)

Fig. 5. Results of respirometry laboratory analyses (Strathox)

Porównując wykresy, tj. rysunek 4 i 5, można zaobserwować, jak kształtowała się aktywność oddechowa osadu czynnego w warunkach laboratoryjnych oraz bezpośrednio w oczyszczalni w warunkach rzeczywistych. Kolorami zaznaczono poszczególne dni pomiarowe. Stwierdzono zbieżność wyników między pomiarami *in situ* w dniu 14.07.2010 r. w punkcie pomiarowym 2 i 3, czyli w momencie optymalnego przemieszania ścieków z osadem czynnym (rys. 4), a wynikami analiz ścieków nieoczyszczonych w warunkach laboratoryjnych (rys. 5). Na podstawie tego typu zestawień i porównań można dobrać metody badawcze oraz lokalizację punktów pomiarowych w zależności od potrzeb – monitoring ciągły lub laboratoryjny. W przemysłowej oczyszczalni ścieków zaleca się monitoring ciągły jako wiodący i pomocniczo laboratoryjny jako uzupełnienie.

6. PODSUMOWANIE

Analizując uzyskane wyniki stwierdzono, że zapotrzebowanie osadu czynnego na tlen w przypadku próbek kontrolnych było bardzo duże, co było spowodowane wysoką przyswajalnością pożywki i szybkim generowaniem się nowej biomasy. W osadzie zmieszonym z dopływającymi toksycznymi ściekami (pobranymi zgodnie z procesem technologicznym prowadzonym w oczyszczalni) obserwowano gwałtowne zmniejszenie się aktywności oddechowej oraz pogorszenie stanu fizjologicznego osadu (określone na podstawie pomocniczych obserwacji mikroskopowych).

Analizując wyniki pomiarów zestawionych w tabeli 2, stwierdzono że w oczyszczalni nastąpiły zakłócenia związane z dopływem ścieków toksycznych, gdyż aktywność oddechowa próbki kontrolnej zmniejszyła się w wyniku częściowego zatrucia osadu. Kolejne dwa dni pomiarowe wykazały poprawę i stabilizację parametrów oddechowych osadu czynnego.

Szybka reakcja operatora, którą umożliwiła kontrola aktywności oddechowej osadu czynnego, pozwoliła na jego ochronę przed działaniem substancji toksycznych i tym samym nie spowodowała długotrwałego zaburzenia w pracy oczyszczalni (czas niezbędny na odbudowanie mikrofauny osadu czynnego to około jeden miesiąc).

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. Beńko P. (2009): Metodyka wykonywania testów aktywności osadu czynnego. Seminarium nt. Fizykochemiczne metody monitoringu wód, ścieków i osadów ściekowych. Kraków, Politechnika Krakowska.
3. Davies P.S. (2004): *The Biological Basis of Wastewater Treatment* Strathkelvin Instruments Ltd.
4. Giroux É.Y., Spanjers H., Patry G.G., Takács I. (1996): Dynamic modelling for operational design of a respirometer. *Water Science and Technology* Vol. 33, Issue 1.
5. Gray N.F. (2004): *Biology of Wastewater Treatment*. Imperial College Press, Scotland.
6. Kunicki-Goldfinger W.J.H. (2008): *Życie bakterii*. Warszawa, Wydaw. Naukowe PWN.
7. Okutman Tas D. (2010): Respirometric assessment of aerobic sludge stabilization. *Biore-source Technology* No. 101.
8. Schlegel H.G. (2005): *Mikrobiologia ogólna*. Warszawa, Wydaw. Naukowe PWN.
9. Spanjers H. (1999): Respirometry in control of the activated sludge process. *Water Science Technology* Vol. 34.
10. Spanjers H., Vanrolleghem P. (1995): Respirometry as a tool for rapid characterization of wastewater and activated sludge. *Water Science and Technology* Vol. 31, Issue 2.

Recenzent: dr hab. inż. Stanisław Chałupnik, prof. GIG.