

Katarzyna M. JAROMIN-GLEŃ<sup>1</sup> i Grzegorz ŁAGÓD<sup>1</sup>

## SPRAWNOŚĆ USUWANIA WYBRANYCH ZANIECZYSZCZEŃ ZE ŚCIEKÓW MIEJSKICH W LABORATORYJNYM BIOREAKTORZE TYPU SBR

### EFFICIENCY OF SELECTED POLLUTION REMOVING FROM MUNICIPAL WASTEWATER IN THE LABORATORY BIOREACTOR SBR TYPE

**Abstrakt:** W pracy zamieszczone zostały informacje dotyczące technologii sekwencyjnych reaktorów porcjowych SBR wraz z opisem procesów zachodzących w komorach reaktorów tego typu oraz charakterystyką faz cyklu ich pracy. Opracowanie zawiera opis harmonogramu pracy reaktora laboratoryjnego w poszczególnych fazach cyklu, a także wyniki badań wartości wybranych wskaźników zanieczyszczeń: chemicznego zapotrzebowania na tlen (ChZT), zawiesiny ogólnej oraz ogólnego węgla organicznego (OWO), które były analizowane podczas trwania eksperymentu. Niniejsze opracowanie porusza również problem wpływu wielkości ładunku wprowadzanego do komory reaktora SBR (każdego z analizowanych wskaźników) na sprawność procesu oczyszczania ścieków. Z prowadzonych badań wynika, iż stopień oczyszczenia ścieków w reaktorze typu SBR jest na zadowalającym poziomie, o czym świadczą uzyskane wartości stężeń i ładunków zanieczyszczeń w odpływie z komory. Średnie wartości sprawności usuwania zanieczyszczeń kształtowały się na następujących poziomach: ChZT - 94%, OWO - 95%, podobnie zawiesina ogólna - 95%.

**Słowa kluczowe:** reaktor typu SBR, ścieki komunalne, sprawność procesu oczyszczania ścieków, ChZT, OWO, zawiesina ogólna

### Wprowadzenie

Oczyszczanie ścieków metodą biologiczną można prowadzić, używając technologii wykorzystującej do tego celu sekwencyjne reaktory porcjowe (ang. *SBR - Sequential Batch Reactor*). Układ biologicznego oczyszczania ścieków w reaktorach SBR jako pierwszy bazował na procesach realizowanych przez zgrupowania organizmów osadu czynnego. Reaktory porcjowe typu SBR stosowane były w Anglii, począwszy od 1914 roku, gdzie technologię tę wprowadzili Ardern i Lockett, zaś większą popularność zyskały w świecie około 1920 roku [1]. Jednak ze względu na pojawienie się konkurencyjnej technologii - układów przepływowych, na dość długi okres czasu reaktory typu SBR zostały wyparte z szerszego użycia w skali technicznej.

System SBR wywodzi się od udoskonalonego układu oczyszczania ścieków z wykorzystaniem rowów cyrkulacyjnych z pracą okresową. W reaktorach tego typu możliwe jest oczyszczanie ścieków zarówno komunalnych, jak i przemysłowych. Sposób prowadzenia procesów zależy od harmonogramu cyklu pracy reaktora, czyli czasu trwania poszczególnych faz cyklu, oraz rodzaju proponowanych faz pracy reaktora. Jest to sposób oczyszczania ścieków szczególnie polecany w przypadku oczyszczalni o małym natężeniu dopływu ścieków ze względu na szerokie możliwości sterowania warunkami tlenowo/beztlenowymi. Harmonogram pracy poprawnie dobrany do rodzaju i charakterystyki ścieków przyczynia się do uzyskiwania wysokich efektów zintegrowanego usuwania związków węgla, azotu i fosforu [2-5].

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, tel. 81 538 43 22, email: k.m.jaromin@gmail.com

Charakterystyczną cechą oczyszczania ścieków w reaktorach typu SBR są następujące po sobie cyklicznie fazy pracy. Cykl pracy reaktora może trwać 12, 10, 8 lub 6 godzin w zależności od specyfiki składu ścieków oraz od wymaganych czasów trwania poszczególnych faz oczyszczania. Wyróżnia się następujące fazy pracy reaktorów SBR: napełnianie, mieszanie, natlenianie, sedymentację, dekantację oraz opcjonalnie fazę martwą [6-8].

Zwykle na początku pracy reaktora w komorze znajduje się osad czynny oraz woda nadosadowa z poprzedniego cyklu. Jeśli taka sytuacja nie występuje (zawsze podczas rozruchu reaktora), wówczas do komory SBR-a wprowadza się osad czynny oraz ścieki, które przy użyciu odpowiedniego układu poddawane są mieszaniu podobnie jak w przypadku pracy w warunkach standardowych [7, 9].

W związku ze specyfiką pracy reaktorów typu SBR w systemie oczyszczania nie występuje osadnik wtórny, zaś jego funkcję spełnia komora reaktora w czasie trwania faz sedymentacji i dekantacji. Ważny w tej technologii jest fakt, iż w układzie nie występuje rozróżnienie na system recyrkulacji zewnętrznej i wewnętrznej, gdyż problem recyrkulacji rozwiązany został za pomocą pozostawiania w komorze po fazie dekantacji właściwej ilości osadu czynnego [10].

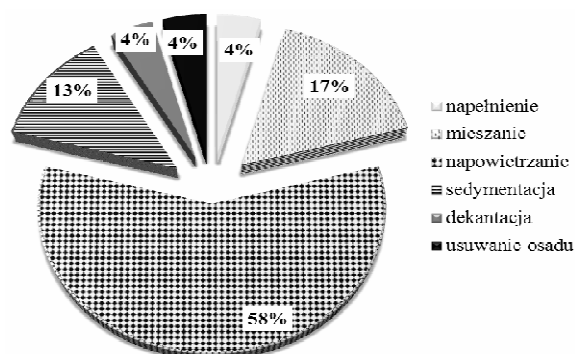
## **Materiał i metody**

Badania prowadzono na ściekach i osadzie czynnym pochodzących z oczyszczalni ścieków „Hajdów” w Lublinie. Proces oczyszczania prowadzono w sekwencyjnym reaktorze porcjowym typu SBR w skali laboratoryjnej. Laboratoryjna instalacja tworząca reaktor typu SBR składa się z następujących elementów: komora reaktora, system mieszania, system napowietrzania, system stabilizacji temperatury.

Komorę reaktora stanowi szklany pojemnik z wylewem o objętości 10 dm<sup>3</sup> oraz z oznaczoną skalą do 8 dm<sup>3</sup> o całkowitej wysokości  $h = 0,35$  m oraz średnicy zewnętrznej  $d = 0,217$  m. Na układ mieszający składają się silniki mechaniczne oraz mieszadła mechaniczne. System napowietrzający zbudowany jest z dyfuzorów, przewodów rozprowadzających oraz dmuchaw membranowych. Z kolei stabilizację temperatury zapewnia urządzenie ogrzewająco-chłodzące wraz z blokiem wymiennikowym zanurzonym w łaźni wodnej. Łaźnia jest termicznie izolowana za pomocą wełny mineralnej w celu łatwiejszego i energooszczędnego utrzymania zadanej wartości temperatury.

We wstępnej fazie eksperymentu mieszanię wprowadzaną do komory bioreakcji stanowił osad czynny w ilości 3 dm<sup>3</sup>, 2,5 dm<sup>3</sup> ścieków po oczyszczaniu biologicznym pobranych na wylocie z osadnika wtórnego oraz 2,5 dm<sup>3</sup> ścieków surowych pobranych z osadnika wstępnego. W kolejnych cyklach w fazie dekantacji odprowadzano 2,5 dm<sup>3</sup> ścieków oczyszczonych, a komorę reaktora uzupełniano w fazie napełniania kolejną porcją ścieków surowych o objętości 2,5 dm<sup>3</sup>. Eksperyment prowadzono w ciągu 17 cykli pracy reaktora.

Cykl badań tożsamy z cyklem pracy bioreaktora trwał 12 godzin (rys. 1), składały się na niego kolejno fazy: napełniania (0,5 h), mieszania (2 h), natleniania (7 h), sedymentacji (1,5 h), dekantacji (0,5 h) oraz faza martwa (0,5 h). Podczas fazy martwej pobierane były próbki osadu i oczyszczonych ścieków do analizy, zaś sam bioreaktor przygotowywany był do kolejnego cyklu pracy.



Rys. 1. Harmonogram pracy reaktora typu SBR

Fig. 1. The agenda of SBR reactor cycle work

Ze względu na fakt, iż w bioreaktorze następował proces zintegrowanego usuwania węgla, azotu i fosforu, za najistotniejszą fazę uznano napowietzanie, pozwalające na uzyskanie warunków optymalnych do prowadzenia procesów nityfikacji oraz defosfatacji. Stąd też faza napowietzania stanowi 58% całego czasu pracy reaktora. Wyboru cyklu 12-godzinnego dokonano na podstawie pozycji literaturowych [6, 11, 12].

Prezentowane w pracy badania obejmowały wyznaczanie podstawowych charakterystyk jakościowych ścieków zarówno przed, jak i po procesie oczyszczania w laboratoryjnym reaktorze typu SBR. Były to następujące wskaźniki zanieczyszczeń: zawiesina ogólna, chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT), ogólny węgiel organiczny (OWO) stężenie i saturacja  $O_2$ , pH oraz zawartość suchej masy w osadzie.

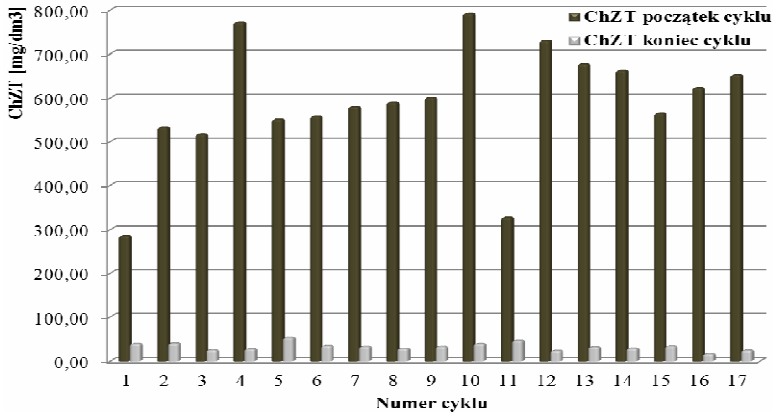
Pomiary zawiesiny ogólnej oraz ChZT w ściekach przeprowadzono za pomocą spektrofotometru HACH DR2800 firmy HACH-Lange. Spektrofotometr ten jest urządzeniem stosowanym do pomiaru absorpcji, emisji lub odbicia światła. Urządzenia tego typu są szeroko wykorzystywane w analityce chemicznej i umożliwiają pomiar zawartości badanych substancji w cieczach (ścieki, woda) w zależności od długości fali oraz użytych reagentów [13, 14]. Analiza przeprowadzona została na podstawie metodyki opracowanej przez firmę HACH-Lange, zamieszczonej wraz z testami kuwetowymi.

Analizy OWO wykonywane były z wykorzystaniem automatycznego analizatora węgla TOC-5050A firmy SHIMADZU współpracującego z dedykowanymi modułami wspomagającymi, takimi jak: SSM 5000A Solid Sample Module oraz ASI 5000A Autosampler. Zasada działania urządzenia TOC-5050A oparta jest na spalaniu związków organicznych w wysokich temperaturach (650-1200°C), prowadzącym do uzyskania  $CO_2$ , którego ilość jest oznaczana i podawana jako wynik pomiarów.

Na podstawie uzyskanych wartości stężeń wykonano obliczenia ładunków wskaźników zanieczyszczeń jako iloczyn stężenia i objętości ścieków surowych. Dodatkowo wyznaczono sprawność kolejnych cykli oczyszczania jako iloczyn różnicy wartości stężeń na dopływie i odpływie reaktora w stosunku do stężenia zanieczyszczeń w dopływie do komory reaktora.

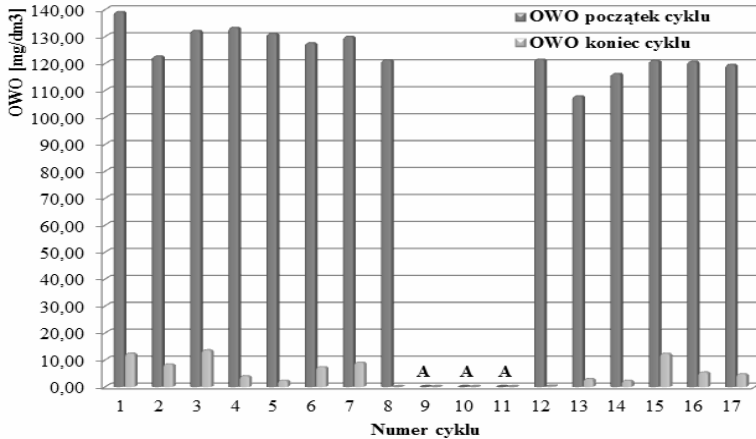
## Wyniki i dyskusja

Na rysunkach 2 i 3 przedstawione zostały analizowane wskaźniki zanieczyszczeń - ChZT i OWO. Opracowane zostało także zestawienie wartości ładunków zanieczyszczeń do obliczonych sprawności ich oczyszczania w kolejnych cyklach (rys. 4).



Rys. 2. Wartości ChZT na początku i końcu każdego cyklu pracy reaktora SBR

Fig. 2. Concentration of COD measured on the beginning and end every cycle of SBR reactor

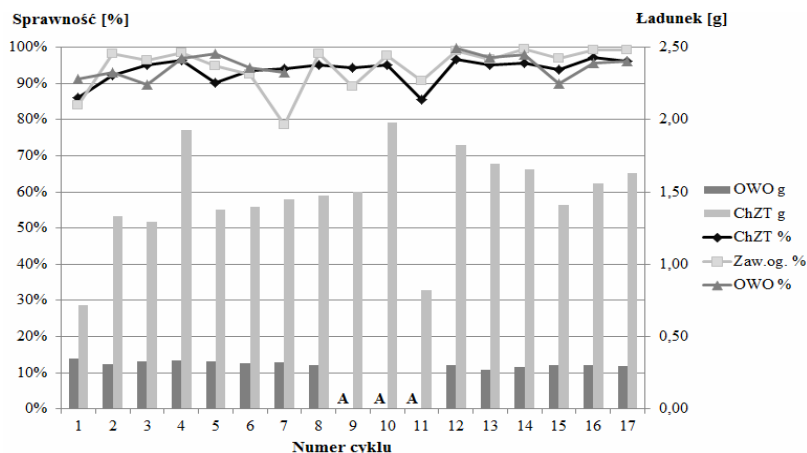


Rys. 3. Wartości OWO na początku i końcu każdego cyklu pracy reaktora SBR, A - awaria urządzenia pomiarowego

Fig. 3. Concentration of TOC measured on the beginning and end every cycle of SBR reactor, A - damage of the measuring device

Analiza przedstawionego na rysunkach 2 i 3 zestawienia wykresów wartości stężenia zanieczyszczeń ścieków miejskich pokazuje wyraźnie, iż proces oczyszczania w komorze reaktora SBR jest wysokosprawny.

Zauważono, iż badany bioreaktor laboratoryjny oczyszcza ścieki z substancji zanieczyszczających wyrażanych jako ChZT w sposób efektywny, gdyż średnia sprawność wynosiła 94%, maksymalna 97%, natomiast minimalna 85%. W przypadku OWO sprawność usuwania była na poziomie średnio 95%. Świadczyć to może o bardzo dobrej pracy osadu czynnego w zakresie usuwania związków węgla ze ścieków miejskich.



Rys. 4. Sprawność usuwania ChZT, zaw. og. i OWO na tle ładunku ChZT i OWO doprowadzanego do reaktora, A - awaria urządzenia pomiarowego

Fig. 4. Purification efficiency COD, TSS and TOC on the load background of COD and TOC, A - damage of the measuring device

Analizę wpływu obciążenia osadu ładunkami zanieczyszczeń na sprawność procesu oczyszczania przeprowadzono na podstawie danych przedstawionych powyżej (rys. 4), dodatkowo wykonano obliczenia współczynnika korelacji analizowanych wartości. Odnotowano współczynnik korelacji wprowadzanego ładunku ChZT do sprawności jego usunięcia na poziomie 0,86, do sprawności usuwania OWO 0,68 oraz do sprawności usuwania zawiesiny ogólnej 0,55. Nie odnotowano współczynników wskazujących na korelację silną dodatnią/ujemną w przypadku rozpatrywania ładunku OWO.

## Podsumowanie

Reaktory typu SBR dają możliwość wysokosprawnego, biologicznego oczyszczania ścieków przy wykorzystaniu mikroorganizmów osadu czynnego jako czynnika procesowego. Zaplanowany harmonogram pracy reaktora, uwzględniający 12-godzinny cykl eksperymentu, pozwala usunąć zanieczyszczenia na zadowalającym poziomie, jednak należy sprawdzić inne harmonogramy w celu osiągnięcia najlepszej jakości ścieków oczyszczonych. Podczas procesu oczyszczania wartość wskaźnika ChZT zmniejszała się ze średnio  $790 \text{ mg/dm}^3$  (w dopływie) do zaledwie około  $35 \text{ mg/dm}^3$  (w odpływie) przy dopuszczalnej wartości dla 100 000 RLM wynoszącej  $125 \text{ mg/dm}^3$  [15]. Poziom oczyszczania wyrażony jako zawiesina ogólna podobnie jak ChZT cechował się wysoką sprawnością, gdyż ze średnio  $175 \text{ mg/dm}^3$  następowało obniżenie wartości tego wskaźnika

do poziomu  $7,5 \text{ mg/dm}^3$  przy wymaganych  $35 \text{ mg/dm}^3$  [15]. Ponadto zauważono wpływ wielkości wprowadzanego ładunku zanieczyszczenia wyrażanego jako ChZT na sprawność usuwania ChZT i OWO (współczynnik korelacji odpowiednio na poziomie 0,86 i 0,68), oraz wpływ ładunku zawiesiny ogólnej na sprawność jej usuwania - korelacja słaba 0,49.

### Podziękowania

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2012-2014 jako projekt badawczy w ramach programu pod nazwą „Diamentowy Grant”.

### Literatura

- [1] Dymaczewski Z, Oleszkiewicz JA, Sozański M. Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. Poznań: Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych; 1997.
- [2] EPA 625/R-00/008. On site Wastewater Treatment Systems Manual: Sequencing Batch Reactor Systems, 238-242.
- [3] Ibrahim G, Abasaed AE. Modeling of sequencing batch reactors. *Water Res.* 1995;29(7):1761-1766. DOI: 10.1016/0043-1354(94)00317-Z.
- [4] Piaskowski K. The influence of operating parameters on biogenic compounds removal in the laboratory sequencing batch reactors. *Ann Set Environ Protect.* 2003;5:221-237.
- [5] Tavares de Sousa J, Gomes Miná V., Silva Lopes W., Duarte Leite V, Ferreira de Oliveira M. Treatment of wastewater using a sequencing batch reactor. *Environ Technol.* 2013;34(8):1035-1042. DOI: 10.1080/09593330.2012.733419.
- [6] Belia E, Smith PG. The bioaugmentation of sequencing batch reactor sludges for biological phosphorus removal. *Wat Sci Technol.* 1997;35(1):19-26.
- [7] Fernandes H, Jungles MK, Hoffmann H, Antonio RV, Costa RHR. Full-scale sequencing batch reactor (SBR) for domestic wastewater: Performance and diversity of microbial communities. *Biores Technol.* 2013;132:262-268. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.01.027.
- [8] Rim YT, Yang HJ, Yoon CH, Seo JB, Ryu JR, Shin EB. A full-scale test of a biological nutrients removal system using the SBR activated sludge process. *Wat Sci Technol.* 1997;35(1):241-247. DOI: 10.1016/S0273-1223(96)00902-X.
- [9] Kauser J, Shamia H, Tariq A. Activated sludge and other suspended culture processes. *Wat Environ Res.* 2012;84(10):1029-1080. DOI: 10.2175/106143012X13407275694798.
- [10] Heidrich Z. Zastosowanie reaktorów sekwencyjnych w oczyszczaniu ścieków. *Przegl Komunalny.* 2004;35(7)35-38.
- [11] Franta JR., Wilderer PA. Biological treatment of papermill wastewater by sequencing batch reactor technology to reduce residual organics. *Wat Sci Technol.* 1997;35(1):129-136. DOI: 10.1016/S0273-1223(96)00888-8.
- [12] Umble AK, Ketchum LH. A strategy for coupling municipal wastewater treatment using the Sequencing Batch Reactor with effluent nutrient recovery through aquaculture. *Wat Sci Technol.* 1997;35(1):177-184. DOI: 10.1016/S0273-1223(96)00894-3.
- [13] Marczenko Z, Balcerzak M. Spektrofotometryczne metody w analizie nieorganicznej. Warszawa: Wyd Nauk PWN; 1998.
- [14] Namieśnik J, Jamrógiewicz Z, red. Fizykochemiczne metody kontroli zanieczyszczeń środowiska, Warszawa: Wyd Naukowo-Techniczne; 1998.
- [15] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (DzU 2006.137.984 z późn. zm.).

## **EFFICIENCY OF MUNICIPAL SEWAGE PURIFICATION WITH SELECTED POLLUTION INDICATORS IN THE LABORATORY SBR REACTOR**

Faculty of Environmental Engineering, Lublin University of Technology

**Abstract:** In the subsequent section of the proposed paper, the technology of sequencing batch reactors (SBR) is discussed, including based processes which take places in SBR reactor and characteristics of the SBR operation cycle. This elaboration contains also the result, of sewage quality measurements such as: chemical oxygen demand (COD), the total suspended solid (TSS) and total organic carbon (TOC) which were analyzed during the experiment. Elaboration also addresses the issues of load variation in influent to chamber of SBR reactor on purification efficiency and contains calculations of activated sludge load and the relation between it and purification efficiency.

**Keywords:** SBR reactors, municipal sewage, purification efficiency, COD, TOC, TSS