

Tomasz KAMIZELA

Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa

Współoczyszczanie ścieków z produkcji płyt pilśniowych w reaktorach SBR

Przedstawiono wyniki badań dotyczące zastosowania reaktora SBR do oczyszczania ścieków z produkcji płyt pilśniowych. Negatywne oddziaływanie ścieków z tej gałęzi przemysłu na środowisko związane jest z ich wysokim obciążeniem ładunkiem organicznym, a także obecnością toksycznych oraz odpornych na rozkład biologiczny substancji. Własności tych ścieków narzucają konieczność ich współoczyszczania ze ściekami bytowo-gospodarczymi. Na potrzeby badań zastosowano mieszaninę ścieków przemysłowych oraz ścieków syntetycznych. Celem doświadczeń było określenie zależności pomiędzy parametrami dopływu, parametrami technologicznymi reaktorów, a efektywnością oczyszczania. W zakresie prowadzonych badań stwierdzono, że udział ścieków przemysłowych w ogólnej mieszance może wynosić powyżej 9% wkładu objętościowego. Stwierdzono, że reaktory działające w cyklu dobowym przy HRT w zakresie 4-8 d spełniają rolę efektywnych systemów oczyszczania ścieków.

Słowa kluczowe: ścieki, płyty pilśniowe, SBR, hydrauliczny czas retencji HRT

Wprowadzenie

Za zastosowaniem sekwencyjnych reaktorów w procesach oczyszczania różnych rodzajów ścieków przemawia ich duża elastyczność pracy oraz łatwość dostosowania parametrów operacyjnych. Mikroorganizmy tworzące osad czynny w reaktorze porcjowym w porównaniu do drobnoustrojów w klasycznej metodzie osadu czynnego szybciej się aklimatyzują oraz charakteryzują się większą odpornością na niekorzystne warunki środowiskowe. Właściwości i charakterystyka reaktorów SBR pozwalają na ich skuteczne zastosowanie w procesach oczyszczania ścieków przemysłowych, co zostało poruszone w niniejszym artykule w odniesieniu do wód podprocesowych z produkcji płyt pilśniowych. Negatywne oddziaływanie ścieków z tej gałęzi gospodarki na środowisko związane jest z ich wysokim obciążeniem ładunkiem organicznym, a także obecnością toksycznych oraz odpornych na rozkład biologiczny substancji. Wszystkie te czynniki plus nierównomierny skład jakościowy i ilościowy ścieków przemawiają za zastosowaniem w oczyszczaniu reaktorów SBR [1-4]. W zależności od metody ilość generowanych ścieków z produkcji płyt pilśniowych waha się od 3 do 15 m³ na tonę. Własności ścieków w dużej mierze zależą od wewnętrznej recyrkulacji wody stosowanej w procesie wytwórczym. Prócz wysokiej zawartości związków organicznych, będących efektem ich rozkładu w jednym z etapów procesu wy-

twórczego, ścieki te zawierają zarówno odporne na rozkład, jak i toksyczne dla mikroorganizmów substancje, np. fenole, tanię. Ogólnie określa się je jako ścieki ligno-celulozowe. Poza tym ścieki charakteryzują się wysoką zawartością zawieszin oraz intensywną barwą i dużą mętnością. Spośród licznych metod fizykochemicznych najbardziej powszechnym sposobem oczyszczania tego typu ścieków są metody wykorzystujące osad czynny. Jednak ich własności sprawiają, że do oczyszczania konieczne staje się współoczyszczanie ze ściekami bytowo-gospodarczymi. Zazwyczaj są to układy wykorzystujące warunki tlenowe i konwencjonalną metodę osadu czynnego. Celem badawczym doświadczenia było określenie możliwości zastosowania reaktora SBR do oczyszczania mieszaniny ścieków bytowo-gospodarczych (ścieki syntetyczne) i przemysłowych pochodzących z produkcji płyt pilśniowych. Priorytetowym zagadnieniem było rozpoznanie zależności pomiędzy parametrami dopływu i parametrami technologicznymi reaktorów a efektywnością oczyszczania [5-10].

1. Metodyka badań

Substratem badań była mieszanina, na którą składały się ścieki syntetyczne wykonane według normy PN72/C-0455009 [11]. Ścieki przemysłowe były to wody zużyte, pochodzące z procesu produkcyjnego płyt pilśniowych (Konieczpolskie Zakłady Płyt Pilśniowych). Pobór próbek ścieków przemysłowych następował na terenie przyzakładowej oczyszczalni ścieków, bezpośrednio ze zbiornika wyrównawczego, w którym magazynowane są wody poprocesowe. Ze zbiornika wyrównawczego ścieki poprodukcyjne dawkiowane są do komory mieszania, do której dopływają ścieki z miasta Konieczpola oraz ścieki dowożone taborem asenizacyjnym. Metoda oczyszczania oparta jest na podawaniu do tlenowego reaktora biologicznego mieszaniny ścieków przemysłowych oraz bytowo-gospodarczych przy wzajemnym udziale wynoszącym 1:10. Wstępnie oznaczono poziomy stężenie parametrów jakościowych dla badanych substratów, co przedstawiono w tabeli 1.

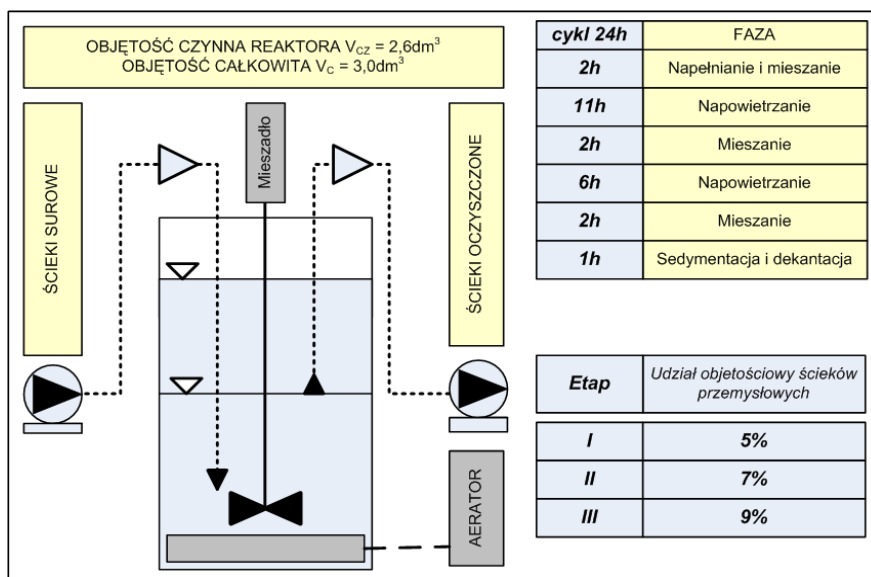
Tabela 1

Podstawowa analiza ścieków przemysłowych

Wskaźnik	Jednostka	Ścieki przemysłowe	Ścieki syntetyczne
Odczyn	-	4,3	7,4
ChZT	mgO ₂ /dm ³	14245,0	380,0
BZT ₅	mgO ₂ /dm ³	1280,0	320,0
Azot ogólny	mg/dm ³	62,8	39,8
Fosfor ogólny	mg/dm ³	11,4	9,98

W badaniach wykorzystano reaktor biologiczny typu SBR. Wypełnienie reaktora stanowiła biocenoza osadu czynnego pobrana z komory napowietrzania z oczyszczalni w Konieczpolu, a następnie adaptowana do warunków laboratoryj-

nych. Schemat stanowiska badawczego wraz z parametrami technologicznymi reaktorów przedstawiono na rysunku 1. Widać na nim, że prowadzono 3 etapy badań różniące się między sobą udziałem objętościowym ścieków przemysłowych w dozowanej mieszance. Dla poszczególnych etapów oznaczono wartości BZT₅ oraz ChZT oraz obliczono ich wzajemny stosunek, wyrażający podatność na biodegradację (tab. 2).



Rys. 1. Stanowisko badawcze i parametry technologiczne reaktorów SBR

Tabela 2

Parametry jakościowe mieszaniny ścieków

ETAP	BZT ₅	ChZT	BZT ₅ /ChZT
	mgO ₂ /dm ³	mgO ₂ /dm ³	
I	310	1000	0,32
II	350	1312	0,27
III	395	1584	0,25

Zmiennymi procesu były hydrauliczny czas zatrzymania ścieków w reaktorze, a zatem i obciążenie reaktora ładunkiem zanieczyszczeń oraz procentowy udział ścieków przemysłowych w mieszance. W badaniach zastosowano 3 reaktory o hydraulicznym czasie zatrzymania (HRT - hydraulic retention time), odpowiednio: HRT = 4 d, HRT = 6 d oraz HRT = 8 d (tab. 3). W celu kontroli procesu osadu czynnego przyjęto wiek osadu WO = 12 d. Parametr ten odniesiono do faz, w których zachodzą reakcje biologiczne (napowietrzanie, mieszanie). Kontrola wieku osadu polegała na usuwaniu z reaktora raz na dobę pod koniec fazy napowietrzania mieszaniny ścieków i osadu czynnego w ilościach określonych według wzoru zawartego w tabeli 3.

Tabela 3

Hydrauliczny czas retencji i obliczenia wymaganej objętości osadu nadmiernego

$HRT = \frac{V}{Q}d$			
V - hydrauliczna (czynna) objętość reaktora, dm ³ , Q - intensywność dopływu (odpływu) ścieków, dm ³ /d			
HRT	HRT = 4 d	HRT = 6 d	HRT = 8 d
Ilość ścieków	0,65 dm ³	0,43 dm ³	0,32 dm ³
$Q_N = \frac{V}{WO} \cdot \frac{TR}{TZ} \text{ dm}^3/d$		$Q_N = \frac{2,6}{12} \cdot \frac{23}{24} \approx 0,21 \text{ dm}^3/d$	
V - objętość czynna reaktora, dm ³ TR - czas trwania fazy biologicznej (napowietrzanie, mieszanie), h TZ - czas trwania cyklu (napowietrzanie, mieszanie, dekantacja, sedymentacja), h			

W trakcie badań ścieki surowe oraz ścieki oczyszczone były badane poprzez oznaczenie chemicznego zapotrzebowania na tlen, stężenia węgla całkowitego i organicznego oraz azotu ogólnego. Wykonano również pomiary stężeń suchej masy osadu czynnego, na podstawie których obliczono obciążenia osadu (tab. 4). Wszystkie oznaczone parametry zostały przedstawione w formie średnich arytmetycznych odpowiednio dla poszczególnych testowanych reaktorów SBR i etapów badań.

Tabela 4

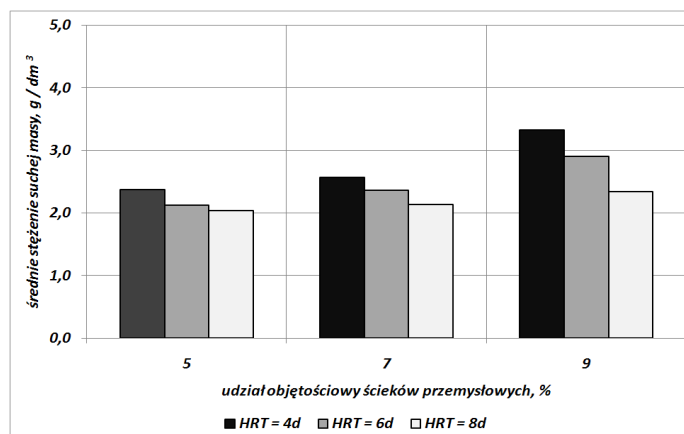
Zastosowane metodyki badawcze

Oznaczenie	Analizator	Przygotowanie próbki
ChZT _{Cr}	HACH Dr 4000	Filtracja przez sączek
Węgiel całkowity, węgiel organiczny, azot całkowity	Analizator węgla i azotu Analytik Jena Multi N/C	Wirowanie, 12 100 rcf, 10 000 obr/min
Sucha masa	Charakterystyka osadów ściekowych. Oznaczenie suchej pozostałości i zawartości wody. PN-EN 12880.	
Indeks objętościowy	Charakterystyka osadów ściekowych. Własności sedymentacyjne. Część 1. Oznaczenie zdolności opadania (Oznaczenie stosunku objętości osadu do indeksu objętościowego osadu). PN-EN 14702-1.	

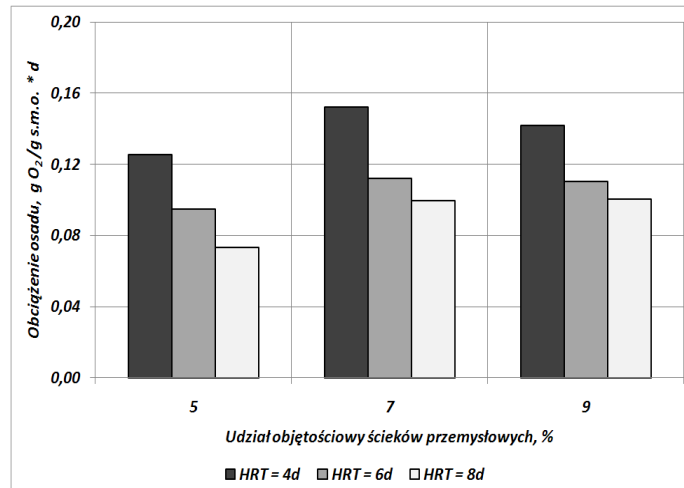
2. Wyniki badań

Początkowy etap badań obejmował proces adaptacji mikroorganizmów osadu czynnego do oczyszczania mieszaniny ścieków. Serię doświadczeń rozpoczęto od dozowania objętości ścieków przemysłowych wynoszącej 5%. Po czasie adaptacji, wynoszącym 4 tygodnie, przystąpiono do analiz zgodnie z założoną metodyką. W każdym etapie badań monitorowano stężenie suchej masy osadu czynnego. Na podstawie założeń i obliczeń zawartych w metodyce badań, a odnoszących się do ilości odbieranego osadu nadmiernego należało wprowadzić odpowiednie mo-

dyfikacje. Wstępnie zakładano, że każdego dnia procesu odprowadzana będzie ilość osadu nadmiernego w objętości 210 ml. W czasie etapu adaptacji okazało się, że odprowadzanie każdego dnia osadu nadmiernego powoduje znaczący ubytek suchej masy w układzie, a więc niebezpieczeństwo załamania procesu biologicznego oczyszczania ścieków. Dla etapów I i II przyjęto harmonogram odprowadzania osadu nadmiernego oparty na dwukrotnym w ciągu tygodnia, a dla III etapu - trzykrotnym odprowadzaniu ilości osadu nadmiernego. Był to odpowiedni sposób utrzymania stabilnej masy osadu czynnego, którego średnie stężenia przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Uśrednione stężenia suchej masy osadu czynnego w etapach badawczych



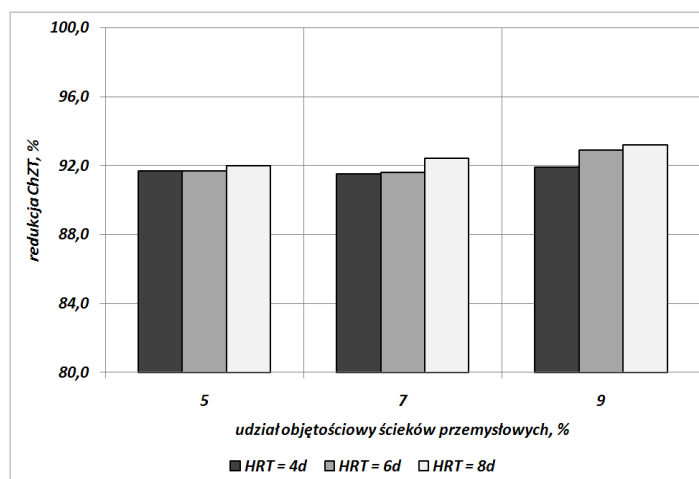
Rys. 3. Obserwowane podczas badań obciążenie osadu czynnego ładunkiem zanieczyszczeń organicznych

Wielkość suchej masy wraz z ładunkiem zanieczyszczeń i parametrami hydraulicznymi pozwala na wyliczenie obciążenia osadu czynnego (rys. 3). Wartość-

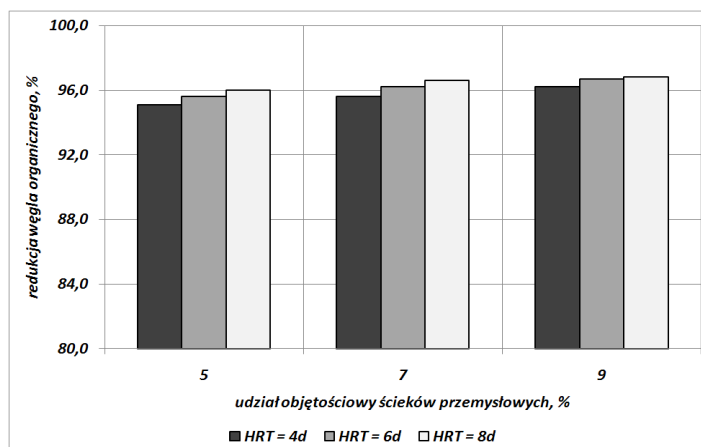
ci obciążenia substratowego stanowią o przyporządkowaniu systemu biologicznego do odpowiedniej grupy osadów nisko- czy wysokoobciążonych i tym samym możliwej efektywności usuwania związków węgla oraz niezbędnych warunków sprzyjających nityfikacji czy stabilizacji tlenowej.

Wartości obciążenia osadu wyliczono, opierając się na wielkości ChZT, natomiast wartość BZT_5 jest 3-4-krotnie niższa dla ścieków surowych, co powodowało, że wartość obciążenia była odpowiednio niższa. Nie zmienia to jednak klasyfikacji reaktorów SBR do systemów niskoobciążonych, dla których graniczna maksymalna wartość obciążenia wynosi $0,2 \text{ gO}_2/\text{g s.m.}\cdot\text{d}$. Warunki takie są odpowiednie do pełnego utleniania związków węgla, nityfikacji i tlenowej stabilizacji osadu. Oczywiście z uwagi na ładunek zanieczyszczeń i parametry hydrauliczne reaktora wydaje się spadek obciążenia wraz ze zwiększaniem HRT i zmniejszaniem objętości udziału ścieków przemysłowych w mieszaninie. Przekłada się to na wartości chemicznego zapotrzebowania na tlen i procentową wartość redukcji (rys. 4). Zarówno wartości ChZT w ściekach oczyszczonych, jak i tym bardziej wyliczony stopień redukcji mieszczą się w zakresie dopuszczającym ścieki do odprowadzenia do odbiornika. Dla wszystkich reaktorów SBR i w całym zakresie udziału ścieków przemysłowych w mieszaninie redukcja ChZT utrzymuje się na stałym poziomie rzędu 93%.

Potwierdzeniem sprawności działania reaktorów sekwencyjnych są wartości redukcji węgla organicznego (rys. 5). Można stwierdzić, że wszystkie reaktory SBR wykazały wysoką skuteczność i przydatność do współoczyszczania ścieków przemysłowych. Zaznacza się nieznaczna tendencja, odnosząca się do rosnącego stopnia redukcji węgla organicznego wraz ze wzrostem hydraulicznego czasu zatrzymania. Jednak należy stwierdzić, że zmiany tych wartości są znikome, a redukcja węgla organicznego utrzymuje się na poziomie 96%.

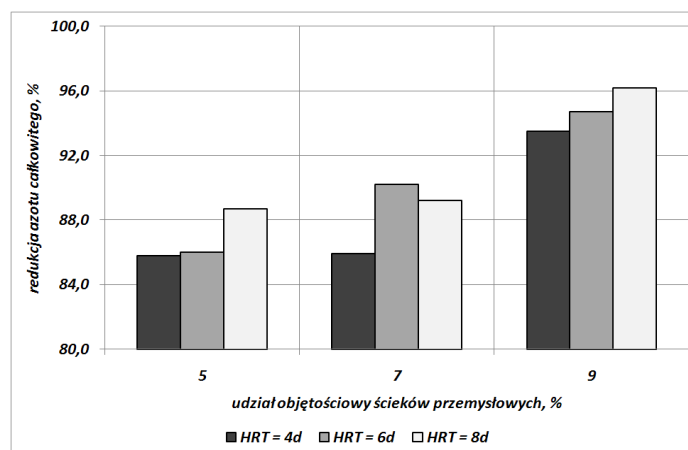


Rys. 4. Zmiany redukcji związków organicznych oznaczonych jako ChZT

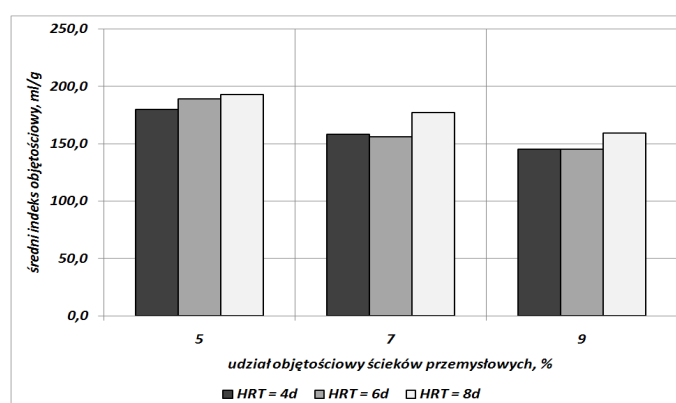


Rys. 5. Średnia redukcja węgla organicznego w ściekach oczyszczonych w poszczególnych reaktorach i etapach badawczych

Zdecydowanie odmienną charakterystykę efektywności oczyszczania posiadają reaktory względem redukcji azotu całkowitego (rys. 6). Uwidacznia się tendencja podwyższenia sprawności oczyszczania uzależniona od rosnącego udziału ścieków przemysłowych oraz zwiększania czasu zatrzymania ścieków w reaktorze. Osiągnięty poziom redukcji azotu całkowitego należy uznać za wystarczający względem wymogów jakości ścieków oczyszczonych. Niemniej jednak przy 5 i 7% udziale ścieków przemysłowych w dozowanej mieszance zachodzą warunki powodujące ograniczenia w efektywności usuwania związków azotu. Na redukcję azotu składają się przede wszystkim zjawiska nityfikacji i denityfikacji, które uzależnione są od wielu parametrów określających zarówno warunki pracy reaktorów SBR, jak i charakterystykę ścieków surowych. W tych wzajemnych zależnościach upatruje się przyczyny obniżonej redukcji związków azotu.



Rys. 6. Średni stopień redukcji azotu całkowitego w zależności od udziału ścieków przemysłowych oraz hydraulicznego czasu zatrzymania



Rys. 7. Zmiany indeksu objętościowego osadu czynnego w zakresie realizowanych badań

Podczas badań monitorowano również charakterystykę kłaczków osadu czynnego względem zdolności sedymentacyjnych, co realizowano za pomocą oznaczeń indeksu objętościowego (rys. 7). W całym zakresie badawczym obserwuje się dość niekorzystną charakterystykę kłaczków, ponieważ wartości indeksu odbiegają od poziomu charakterystycznego dla systemu biologicznego o sprawnej sedymentacji. Szczególnie można to zaobserwować dla SBR-ów oczyszczających ścieki z 5% udziałem ścieków poprocesowych.

Wnioski

Biorąc pod uwagę otrzymane w badaniach stopnie redukcji zanieczyszczeń i porównując je do wartości dopuszczalnych zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska (DzU 2006, Nr 137, poz. 984), uznać należy postawione warunki za spełnione. Redukcja azotu ogólnego oraz ChZT_{Cr} mieści się zarówno w minimalnych procentach redukcji zanieczyszczeń, jak i najwyższych dopuszczalnych wartościach wskaźników w ściekach oczyszczonych. Przystępując do badań, spodziewano się, że charakterystyka ścieków z produkcji płyt pilśniowych może spowodować trudności w uzyskaniu wymaganej efektywności oczyszczania. Dlatego też założono odpowiednio długi czas cyklu i wysokie wartości czasu hydraulicznej retencji (HRT). Okazuje się, że obawy takie są jednak nieuzasadnione. Założone parametry technologiczne reaktorów SBR, charakterystyka zanieczyszczeń w mieszaninie ścieków dopływających oraz sposób prowadzenia procesu spowodowały, że uzyskane obciążenie osadu czynnego utrzymuje się na niskim poziomie. Biorąc pod uwagę wartości ChZT , maksymalne obciążenie to $0,15 \text{ gO}_2/\text{g s.m.}\cdot\text{d}$, natomiast biorąc pod uwagę wartości stosunku BZT_5/ChZT przedstawione w metodyce badań, nie przekroczono $0,05 \text{ gO}_2/\text{g s.m.}\cdot\text{d}$. Wartość taka nie jest typowa dla reaktorów SBR, które zazwyczaj posiadają wyższe wartości obciążenia substratowego. Podczas badań obserwowano ponadto niewielki przyrost biomasy osadu, a stężenia osadu czynnego w poszczególnych reaktorach SBR nie przekraczały $3,0 \text{ g/dm}^3$. Choć nie dokonano odpowiednich obliczeń, to

częstotliwość odprowadzania osadu nadmiernego, przyrost i stężenia osadu czynnego świadczą, że wiek osadu będzie kształtował się na wysokim poziomie. Przesłanki te wraz z wartością obciążenia zdecydowanie klasyfikują wszystkie z reaktorów sekwencyjnych do grupy układów niskoobciążonych lub wręcz zanizonego obciążenia. Spodziewany efekt trudności w przebiegu biodegradacji i pewnego stopnia toksyczności ścieków z produkcji płyt pilśniowych okazał się przeszacowany. Powoduje to, że w reaktorach dochodzi z pewnością do pełnego utleniania związków węgla, nityfikacji i jak najbardziej możliwa staje się stabilizacja osadu. Stwierdzenie takie może w pewnym stopniu uzasadniać zmiany w wartościach redukcji azotu ogólnego i niższe wskazania parametru. Z uwagi na wnioskowaną wcześniej, zachodzącą w reaktorach stabilizację tlenową w wyniku przedłużonego napowietrzania można się spodziewać, że w odpływie wystąpią pewne stężenia azotu azotanowego pochodzącego z rozkładu biomasy i hydrolizy oraz amonifikacji organicznych związków azotu. Poglądy te należałoby dodatkowo sprawdzić, poszerzając zakres badań, ponieważ z uwagi na pilotażowy charakter przedstawionego problemu, nie prowadzono pełnej analizy form azotu. Z zagadnieniem obciążenia osadu powiązane są również jego właściwości sedymentacyjne określane za pomocą indeksu objętościowego. W każdej z serii badań wyniki indeksu objętościowego przekraczały zakres podawany w literaturze specjalistycznej. Kłaczki osadu czynnego charakteryzowały się dużą porowatością, a niskie obciążenie substratowe jest właśnie czynnikiem powodującym puchnięcie osadu.

W zakresie prowadzonych badań zmiana udziału objętościowego ścieków przemysłowych w ogólnej mieszaninie podawanej do reaktorów nie wpływa zasadniczo na efekty redukcji stężenia związków węgla i azotu. Przedstawione wyniki dowodzą wysokiej sprawności pracy reaktorów SBR i to w sposób praktycznie niezależny od zadanych wartości hydraulicznego czasu zatrzymania. Wydaje się możliwe efektywne oczyszczanie ścieków z produkcji płyt pilśniowych nawet przy znacznie wyższym niż 9% udziale w mieszaninie ścieków surowych. Należy jednak pamiętać, że proces realizowano z udziałem ścieków syntetycznych, które w pełni nie odzwierciedlają charakterystyki ścieków bytowo-gospodarczych i wówczas należy spodziewać się odchyżeń od przedstawionych wyników. Biorąc pod uwagę realizowany zakres badań, należy wskazać na konieczność znacznej optymalizacji procesu oczyszczania. Mogą one obejmować zmianę HRT oraz zdecydowane skrócenie długości całego cyklu i poszczególnych jego faz oraz ewentualną modyfikację kolejności etapów technologicznych. Ponadto nie stwierdza się możliwego wpływu czynników inhibitujących rozkład biologiczny, a wynikających z charakterystyki ścieków przemysłowych. Przedstawione wyniki, ich analiza i wnioski będą uwzględnione w kolejnej serii badań, których celem nadal pozostanie określenie przydatności zastosowania reaktorów SBR do oczyszczania ścieków z produkcji płyt pilśniowych.

Podziękowanie

Praca finansowana ze środków BS 401/301/00.

Literatura

- [1] Bartoszewski K., Kurbiel J., *Oczyszczanie ścieków komunalnych i przemysłowych w wielkich miastach*, [w:] *Gospodarka komunalna w miastach*, praca zbiorowa pod redakcją R. Zarzyckiego, Polska Akademia Nauk, Oddział w Łodzi, Komisja Ochrony Środowiska, Łódź 2001.
- [2] Sperling M., *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors*, Biological Wastewater Treatment Series, IWA Publishing, 2007, vol. 5.
- [3] Mańczak M., *Podział reaktorów okresowego działania - SBR*, Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej pt. *Badania, projektowanie i eksploatacja reaktorów o działaniu sekwencyjnym*, Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa 2004.
- [4] *Komentarz ATV-DVWK do A131P i do A210P, wymiarowanie jednostopniowych oczyszczalni ścieków z osadem czynnym oraz sekwencyjnych reaktorów porcjowych SBR*, Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa 2002.
- [5] Fernandez J.M., Omil F., Mendez R., Lema J.M., *Anaerobic treatment of fibreboard manufacturing wastewaters in a pilot scale hybrid USBF reactor*, *Water Resource* 2001, 35, 17, 4150-4158.
- [6] Gan Q., Allen S.J., Matthews R., *Activation of waste MDF sawdust charcoal and its reactive dye adsorption characteristics*, *Waste Management* 2004, 24, 841-848.
- [7] Pokhrel D., Viraraghavan T., *Treatment of pulp and paper mill wastewater - a review*, *Science of the Total Environment* 2004, 333, 37-58.
- [8] Karade S.R., *Cement-bonded composites from lignocellulosic wastes*, *Construction and Building Materials* 2010, 24, 1323-1330.
- [9] Thompson G., Swain J., Kay M., Forster C.F., *The treatment of pulp and paper mill effluent: a review*, *Bioresource Technology* 2001, 77, 275-286.
- [10] *Kronospan LTD's MDF, Feature article, Zero discharge, cost effective MDF effluent treatment plant*, *Filtration and Separation* 2002, 39, 10, 30-31.
- [11] PN-72/C-04550/09 - *Oznaczanie efektywności biochemicznego utleniania anionowych i niejonowych syntetycznych substancji powierzchniowo czynnych metodą osadu czynnego w warunkach kinetycznych*.

Co-treatment of Wastewater from Fibreboard Production in the SBR Reactors

The article presents the results of studies concerning the application of the SBR reactors for treatment of wastewater from the fiberboards production. The negative impact of fiberboard wastewater on the environment is connected with high organic load of pollutions, presence of toxic and resistant to biodegradation substances. Properties of fiberboard wastewater requires their co-treatment with domestic wastewater. For the investigation used a mixture of industrial and synthetic wastewater. The aim of experiments was to determine the correlation between flow parameters, technological parameters of reactors, and the effectiveness of treatment. It was found that the proportion of industrial wastewater in the total mixture can be more than 9% of the volume contribution. Classified that the reactors operating in the daily cycle at hydraulic retention time 4÷8 d meet the roles of effective wastewater treatment systems.

Keywords: wastewater, fiberboard, SBR, hydraulic retention time HRT