

Adam MASŁOŃ
Janusz A. TOMASZEK
Politechnika Rzeszowska

ZASTOSOWANIE SEKWENCYJNYCH REAKTORÓW PORCJOWYCH DO OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW PRZEMYSŁOWYCH

Do oczyszczania wybranych ścieków przemysłowych szczególnie celowe jest zastosowanie metody osadu czynnego w sekwencyjnych reaktorach porcjowych (SBR). Celem pracy było zebranie możliwie jak najwięcej informacji na temat oczyszczania ścieków przemysłowych w sekwencyjnych reaktorach porcjowych. Dokonano obszernego przeglądu piśmiennictwa dotyczącego oczyszczania ścieków przemysłowych zarówno w klasycznych SBR, jak również w jego niekonwencjonalnych, innowacyjnych rozwiązaniach.

1. Wprowadzenie

W wyniku wszelkiej działalności produkcyjnej wytwarzane są specyficzne ścieki przemysłowe, dla których wybór technologii oczyszczania uzależniony jest nie tylko od ich składu i właściwości, lecz również od wymagań jakościowych stawianych ściekom oczyszczonym. W przeciwieństwie do ścieków komunalnych objętość i skład ścieków poprodukcyjnych ulega dużym wahaniom, w zależności od rodzaju i wielkości produkcji, sposobu prowadzenia gospodarki wodno-ściekowej itp. Ich ilość i charakterystyka w dużym stopniu uwarunkowane są również sezonowością produkcji (np. kampanie owocowo-warzywne). Z tego względu poszukiwanie wysoko efektywnych metod oczyszczania ścieków przemysłowych z uwzględnieniem ich specyficzności składu stanowi ogromną trudność i staje się często sporym wyzwaniem.

Do oczyszczania wybranych ścieków przemysłowych szczególnie celowe jest zastosowanie metody osadu czynnego w sekwencyjnych reaktorach porcjowych (SBR). W reaktorach tych można oczyszczać nie tylko ścieki łatwo biodegradowalne, ale również niektóre grupy związków trudno rozkładalnych.

Celem pracy było przedstawienie możliwie jak najwięcej informacji na temat oczyszczania ścieków przemysłowych w sekwencyjnych reaktorach porcjowych. Dokonano obszernego przeglądu piśmiennictwa w zakresie badań laboratoryjnych oraz doświadczeń eksploatacyjnych oczyszczania ścieków przemysłowych, zarówno w klasycznych SBR-ach, jak również w jego niekonwencjonalnych, innowacyjnych rozwiązaniach.

2. Charakterystyka systemów porcjowych

Koncepcja pracy sekwencyjnego reaktora porcjowego, opierająca się na cyklicznym powtarzaniu po sobie kilku faz, czyli na wprowadzaniu sekwencji etapów procesu w miejscu kilku różnych reaktorów, pozwala na zastosowanie w jednym urządzeniu wszystkich podstawowych procesów oczyszczania ścieków, tj. napowietrzania, reakcji, sedymentacji i dekantacji. Umożliwia to prowadzenie biologicznego utlenienia związków węgla oraz usunięcia związków azotu i fosforu. Zależnie od sposobu działania systemy SBR mogą wykazywać pewne zalety nad klasycznymi systemami przepływowymi (m.in. prostota obsługi, elastyczność pracy, odporność na zmienne ładunki zanieczyszczeń) [193, 214]. W porównaniu z systemami przepływowymi zastosowanie reaktorów SBR pozwala w niektórych przypadkach w znaczny sposób zintensyfikować poszczególne procesy oczyszczania ścieków oraz wyeliminować mankamenty systemów konwencjonalnych. Z tego względu systemy porcjowe stają się wobec nich konkurencyjne. Problematyka oczyszczania ścieków komunalnych metodą osadu czynnego w reaktorach SBR była przedmiotem wieloletnich badań i została opisana w wielu pracach, np. [7, 193, 187, 214]. Niektóre rozwiązania, nazywane często innowacyjnymi, zostały szerzej zaprezentowane w innych publikacjach [115-117].

3. Przegląd stosowania reaktorów SBR do oczyszczania ścieków przemysłowych

Obserwowane w ostatniej dekadzie coraz powszechniejsze stosowanie reaktorów porcjowych w oczyszczaniu ścieków przemysłowych sprowadza się przede wszystkim do wykorzystania ich elastyczności w odniesieniu do zmienności przepływu ścieków (obciążenia hydraulicznego). Zastosowanie systemów porcjowych doskonale umożliwia dostosowanie cyklu pracy oczyszczalni do okresowego wytwarzania ścieków w przemysłowych instalacjach technologicznych. Dotyczy to w szczególności zakładów produkcyjnych, w których znacząca ilość ścieków odpływa podczas codziennego płukania instalacji (np. przemysł spożywczy). Zbyt duże obciążenie hydrauliczne może być zmniejszone także

poprzez zbiornik retencyjny współpracujący z reaktorami SBR. Kolejnym aspektem przemawiającym za wykorzystaniem systemów porcjowych do oczyszczania ścieków przemysłowych jest prosta obsługa takiego układu technologicznego, jak również ich mniejsza wymagana pojemność, co przekłada się z kolei na mniejsze zapotrzebowanie terenu.

Sekwencyjne reaktory porcjowe mogą być wykorzystywane do prowadzenia biologicznego oczyszczania metodą osadu czynnego ścieków, zarówno przemysłowych biologicznie rozkładalnych, jak też trudno rozkładalnych specyficznych. Źródłem tego rodzaju ścieków jest przede wszystkim sektor produkcji żywności (mleczarnie, rzeźnie, ubojnie, przetwórstwo ryb), a także przemysł garbarski, celulozowo-papierniczy, utylizacyjny itp. Systemy SBR mogą być również stosowane do oczyszczania lub podczyszczania ścieków z ferm hodowlanych (kurzych, trzody chlewnej), gorzelni, winiarni itp. W tabeli 1. zestawiono dane literaturowe z ostatnich lat dotyczące badań nad oczyszczaniem ścieków przemysłowych w systemach SBR.

Tabela 1. Przegląd literatury w zakresie badań nad oczyszczaniem ścieków przemysłowych w systemach SBR

Źródło ścieków przemysłowych/ rodzaj usuwanych zanieczyszczeń	Układ	Literatura
1	2	3
Mleczarnia	SBR	[68, 69, 72, 73, 79, 101, 133, 165, 197]
	AnSBR	[44, 57, 131, 161]
	SBR-CMBR	[101]
	AF-SBR	[20, 64]
	MBSBBR	[183]
	AnSBBR	[33, 61]
	SBMBR	[9, 81]
	GSBR	[6, 169, 213]
Rafinacja oleju palmowego	SBR	[25, 59]
Rafinacja oliwy	AnSBR	[4]
Przetwórstwo owocowo-warzywne	SBR	[90, 150]
	AnSBR	[15]
Browar	SBR	[103, 160]
	GSBR	[209]
Słodownia (browar)	GSBR	[170]
Winiarnia	SBR	[196]
	AnSBR	[162]
	GSBR	[107]
Gorzelnia	AnSBR	[49]

Tabela 1. (cd.)

1	2	3
Rzeźnia	SBR	[84, 97, 99, 100, 143, 155, 227]
	A ₂ SBR	[127]
	AnSBR	[119]
	MBSBBR	[180]
	GSBR	[23, 220]
	GAC-SBR	[176]
	SBMBR	[172]
Masarnia	SBR-RO	[12, 13, 186]
Zakład drobiarski	SBR	[38]
Ścieki z palarni kawy	SBR	[5]
Przetwórstwo ryb	SBR	[34]
	GSBR	[53, 167]
Przetwórstwo owoców morza	SBR	[135]
Fermy hodowlane trzody chlewnej	SBR	[35, 36, 52, 93, 105, 108, 144, 145, 188, 191, 192, 228]
	AnSBR	[120-122, 141, 209]
	TSSBR	[11, 85, 157]
	IC-SBR	[39]
	BFSBR	[198, 206]
	GSBR	[87]
Hodowla krewetek	SBR	[14, 55, 110]
Zakład celulozowo-papierniczy	SBR	[56, 63, 89, 130, 189, 200, 226]
	AnSBR	[199]
	GSBR	[71]
	GAC-SBR	[174]
	GAC-SBBR	[132]
Garbarnia	SBR	[8, 21, 48, 50, 62, 96, 138-140]
	BFSBR	[40]
	SBMBR	[65]
Zakład tekstylny	SBR	[2, 32, 76, 82, 83, 106, 152, 166, 171, 204, 208]
	TSSBR	[58, 212]
	UASB-SBR	[149]
	GAC-SBR	[177-179]
	PAC-SBR	[46]
	SBMBR	[153]
	SBR + str. Chem	[45]
	SBR + Fenton	[54]
	SBBR	[75]
Ścieki z produkcji wełny	SBR	[66]
Ścieki z produkcji kosmetyków	AnSBBR	[37]
Ścieki z krochmalni	SBR	[207]
Ścieki pralnicze	SBR	[156]
Szpital	SBR	[91]

Tabela 1. (cd.)

1	2	3
Zakład farmaceutyczny	SBR	[42, 51, 86, 96]
	UASB-SBR-Fenton	[217]
	UASB-SBR-BAC	[43]
	BFSBR	[16]
	SBBR-Fenton	[67]
	GSBR	[77]
Produkcja tworzyw sztucznych	SBR	[201]
	MBSBBR	[29]
Produkcja lateksu	SBR	[190]
Ścieki zawierające fenol	SBR	[3, 10, 17, 27, 28, 80, 114, 134, 136, 151, 163, 164, 194, 195, 221-223]
	AnSBR	[159]
	BFSBR	[18, 126]
	SBMBR	[202]
	GSBR	[22, 137, 168, 210, 219]
	PAC-SBR	[24, 93]
	GAC-SBR	[70, 158]
	GAC-SBBR	[88]
Galwanizernia	SBR	[181]
Ścieki koksownicze	SBR	[113, 223]
	AnSBR	[98]
	PAC-SBR	[224]
Ścieki z myjni samochodowej i wody opadowe z parkingów	PAC-SBR	[229]
Przemysł samochodowy	AnSBBR	[146]
Ścieki z przemysłu chemicznego	SBR	[26]
Ścieki z produkcji nitrogliceryny	SBR	[1]
Ścieki petrochemiczne i rafineryjne	SBR	[41, 60, 94, 109, 173]
Ścieki zawierające węglowodory aromatyczne typu BTX	SBR	[111]
Ścieki zawierające organiczne chlorowce AOX	GAC-SBBR	[132]
Ścieki zawierające cyjanki	SBR	[182]
Ścieki zawierające toluen	GAC-SBBR	[30]
Ścieki zawierające benzen	GAC-SBBR	[88]
Ścieki zawierające alkaloidy	SBR	[19]
Ścieki zawierające eter dichloro-dietylenowy (DCDE)	SBR	[31]
Ścieki zawierające tetrachloroetylen i trichloroetylen	AnSBBR	[74]
Biodegradacja formaldehydu	AnSBBR	[154]
Biodegradacja pestycydów	BFSBR	[203]

Tabela 1. (cd.)

1	2	3
Biodegradacja herbicydów (kwas 2,4-dichlorofenoksyoctowy)	SBR	[112]
Biodegradacja kwasu pikrynowego (2,4,6-trinitrofenol)	SBR	[211]
Biodegradacja polimeru polihydrok- somaślanu (PHB)	SBBR	[142]
Biodegradacja ftalanu dimetylu	GSBR	[225]
Ścieki zasolone	SBR	[78, 215]
Biosorpcja metali ciężkich	SBR	[175]
	GSBR	[104, 218]
	GAC-SBR	[179]
	PAC-SBR	[102, 147, 148]

W przypadku podatności ścieków na rozkład biochemiczny możliwe jest zarówno ich tlenowo-beztlenowe oczyszczanie, podczas którego substancje organiczne są utleniane, jak i usunięcie związków azotu i fosforu w procesie nityfikacji/denitryfikacji, tlenowej deamonifikacji (procesu *Anammox*) i biologicznej defosfatacji. Przy niskich obciążeniach substratowych reaktora SBR usuwanie zanieczyszczeń ze ścieków przemysłowych jest zbliżone do uzyskiwanego podczas oczyszczania ścieków komunalnych. Niemniej jednak oczyszczanie trudno biodegradowalnych ścieków przemysłowych wymaga odpowiednio długiego czasu zatrzymania (HRT), wieku osadu (WO), wyższego stężenia osadu czynnego itp. Na przykład Goncalvez i inni [66] oczyszczali ścieki z produkcji wełny w warunkach wydłużonego wieku osadu $WO = 218\text{--}320$ d oraz wysokiego stężenia osadu $8,6\text{--}13,5$ g s.m./dm³. Najwyższą sprawność układu autorzy uzyskali przy maksymalnych parametrach osadu czynnego oraz zastosowaniu 20 h fazy reakcji (8 h warunków beztlenowych i 12 h tlenowych).

Możliwe jest również mieszanie ścieków przemysłowych z komunalnymi celem uzyskania odpowiedniego ilorazu C:N:P do prowadzenia denitryfikacji bądź biologicznej defosfatacji. Dodanie ścieków komunalnych do ścieków przemysłowych wpływa na zmniejszenie ich toksyczności oraz zwiększa możliwość usunięcia zanieczyszczeń trudno rozkładanych biologicznie w procesach biochemicznych. Solecka i Ledakowicz [185] wykazali, że dodanie do ścieków włókienniczych pożywki w postaci ścieków komunalnych prowadzi do zwiększenia przyrostu osadu czynnego oraz szybkości usuwania zanieczyszczeń ze ścieków, co świadczy o bardziej efektywnej biodegradacji substancji trudno rozkładalnych. Aby zmniejszyć niekorzystne proporcje C, N i P, możliwe jest również doprowadzanie do komory reaktora porcjowego zewnętrznego źródła węgla, np. lotnych kwasów tłuszczowych. Takim źródłem mogą być np. ścieki z produkcji twarogu lub serwatka poddane wcześniej fermentacji. Przykładowo

w ściekach mleczarskich występuje nadmiar związków węgla w odniesieniu do wymaganej ilości do efektywnego usuwania związków biogenych [79].

Odpowiednia strategia pracy reaktora porcjowego umożliwia efektywne usunięcie substancji organicznych oraz związków biogenych ze ścieków przemysłowych (tab. 2.). Wydajność biologicznego oczyszczania ścieków przemysłowych w systemach porcjowych uzależniona jest od wielkości ładunku zanieczyszczeń w ściekach, czasu zatrzymania oraz parametrów technologicznych osadu czynnego. Właściwa długość cyklu oraz przebieg poszczególnych faz pracy reaktora w obrębie jego trwania będą determinować uzyskanie wysokiej efektywności usunięcia zanieczyszczeń. W przypadku tym istotną staje się optymalizacja czasu trwania zmiennych warunków anaerobowych, anoksyicznych i aerobowych.

Oczyszczanie wysoko stężonych ścieków przemysłowych może być realizowane w warunkach beztlenowych w reaktorach AnSBR (*Anaerobic Sequencing Batch Reactor*). Przy odpowiednich parametrach pracy reaktora AnSBR (temperatura, zasadowość, pH itp.) możliwe jest również prowadzenie fermentacji metanowej z odzyskiem energii w postaci biogazu [98, 161, 216]. Ze względu na znany szlak biochemicznych przemian w procesie beztlenowego oczyszczania ścieków usuwanie związków azotu i fosforu zachodzi w sposób ograniczony i jest związane jedynie z przyrostem biomasy komórek bakteryjnych [129]. W beztlenowych reaktorach AnSBR możliwe jest wykorzystanie klasycznego osadu czynnego w postaci kłaczkowatej [57, 119], jak również beztlenowego osadu granulowanego [131]. Wielkość produkcji biogazu w reaktorze AnSBR determinuje m.in. obciążenie ładunkiem zanieczyszczeń reaktora [206], pH i temperatura [206, 216]. Badania wykazują, że w reaktorach AnSBR można uzyskać produkcję gazu fermentacyjnego na poziomie do $0,45 \text{ m}^3/\text{kg ChZT}$ [15]. W zależności od rodzaju i składu ścieków przemysłowych gaz fermentacyjny może zawierać do 70% metanu [15]. Ruiz i inni [161] określili zakres i wytyczne dla systemów AnSBR w oczyszczaniu ścieków z mleczarni. Autorzy określili maksymalne obciążenie ładunkiem zanieczyszczeń dla reaktora AnSBR na poziomie $6,0 \text{ kg ChZT}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$, powyżej którego następują zakłócenia w oczyszczaniu ścieków, jak np. wypływanie kłaczków osadu czynnego. Massé i Droste [118] opracowali model matematyczny fermentacji w systemie AnSBR pozwalający określić wpływ zmiennych na prowadzenie procesu. Oprócz klasycznej mezofilowej fermentacji w temperaturze $30\text{--}42^\circ\text{C}$ możliwe jest prowadzenie w reaktorach AnSBR fermentacji w warunkach psychrofilowych do 20°C [120–122]. Wybór odpowiedniego kierunku oczyszczania ścieków, również w systemach SBR, ostatecznie determinuje skład ścieków. Metcalf & Eddy [128] sugerują stosowanie tlenowego oczyszczania ścieków w przypadku ilorazu $\text{C:N:P} < 100:5:1$ oraz beztlenowego oczyszczania przy $\text{C:N:P} > 250:5:1$.

W zależności od rodzaju i składu ścieków przemysłowych oraz ładunku zanieczyszczeń reaktory porcjowe mogą spełniać zróżnicowaną funkcję. W zakresie oczyszczania ścieków przemysłowych stosowane są one najczęściej po wstępnym oczyszczeniu mechanicznym (m.in. flotacji), stanowiąc klasyczny jednostopniowy system biologicznego oczyszczania ścieków. Niemniej jednak reaktory porcjowe mogą być stosowane w wielostopniowych systemach biologicznego oczyszczania ścieków. Analiza piśmiennictwa wskazuje na możliwość ich wykorzystania jako pierwszego [101, 127] bądź kolejnego, np. po wstępnym beztlenowym oczyszczaniu [39, 64], biologicznego etapu oczyszczania ścieków. Li i Zhang [101] zaproponowali oczyszczanie ścieków mleczarskich w układzie SBR-CMBR (*Sequencing Batch Reactor – Complete-Mix Biofilm Reactor*), w którym podstawowym elementem systemu jest reaktor porcjowy. Drugi stopień w układzie stanowi nitryfikacyjny reaktor ze złożem ruchomym CMBR. Zastosowanie reaktora z błoną biologiczną pozwala uzyskać porównywalne bądź wyższe, w odniesieniu do klasycznego jednostopniowego systemu SBR, efektywności usunięcia ChZT i azotu ogólnego przy zmniejszonym czasie zatrzymania nawet do 1/3 HRT [101].

Nieco inne rozwiązanie opracowali Merzouki i inni [127]. W głównym ciągu technologicznym oczyszczania ścieków rzeźnianych zastosowali oni reaktor porcjowy A_2 SBR (*Anaerobic-Anoxic SBR*), natomiast w bocznym ciągu wprowadzili nitryfikacyjne złożo biologiczne z wypełnieniem w postaci puzzolany. Istotą technologii jest zasilanie reaktora A_2 SBR azotanami ze złoża biologicznego. W reaktorze porcjowym prowadzono biologiczne usuwanie fosforu oraz denitryfikację azotanów pochodzących ze złoża nitryfikacyjnego [127]. Możliwe jest również zastosowanie kaskadowego układu dwóch klasycznych reaktorów porcjowych, czego przykładem jest technologia TSSBR (*Two-Stage Sequencing Batch Reactor*) [11, 157]. Kim i inni [85] do kaskadowego układu TSSBR wprowadzili tlenową komorę osadu czynnego, aby prowadzić niezależną nitryfikację azotu amonowego. Garrido i inni [64] do oczyszczania ścieków mleczarskich zastosowali układ AF-SBR (*Anaerobic Filter – Sequencing Batch Reactor*), w skład którego wchodził beztlenowy biofiltr oraz sekwencyjny reaktor porcjowy pracujący w warunkach tlenowo-beztlenowych.

Do oczyszczania wysoko stężonych ścieków organicznych (ścieki z fermy trzody chlewnej) Deng, Zheng i Chen [39] zaproponowali układ IC-SBR (*Internal Circulation-Sequencing Batch Reactor*). Pierwszy stopień oczyszczania ścieków stanowił beztlenowy reaktor z wewnętrzną recyrkulacją osadu czynnego z pozyskiwaniem biogazu w procesie fermentacji metanowej. Z kolei reaktor SBR pełnił stopień tlenowego oczyszczania ścieków. Podobne rozwiązanie opracowali Ong i inni [149], wykorzystując układ UASB-SBR (*Upflow Anaerobic Sludge Bed – SBR*) do usunięcia trudno rozkładalnych barwników ze ścieków syntetycznych. Innowacyjne rozwiązanie zastosował Duan [43], oczyszczając ścieki farmaceutyczne z produkcji cefalosporyny. System UASB-SBR-BAC składał się z beztlenowego reaktora z biomasą granulowaną (*Upflow Anaerobic*

Sludge Bed), z reaktora porcjowego i przepływowej komory osadu czynnego, do której wprowadzono pylisty węgiel aktywny (*Biological Activated Carbon Process*). Bernet i inni [11] oczyszczali ścieki hodowlane w dwustopniowym układzie reaktorów porcjowych SBR. W pierwszym reaktorze AnSBR następowało beztlenowe oczyszczanie ścieków podczas fermentacji metanowej, w drugim reaktorze – nityfikacja azotu amonowego. Zastosowanie recyrkulacji osadu czynnego z reaktora tlenowego do beztlenowego pozwoliło na uzyskanie denitryfikacji w reaktorze AnSBR. Dwustopniowe oczyszczanie ścieków w układzie z fermentacją metanową i tlenowym reaktorem porcjowym pozwala na odrębne sterowanie długością czasu zatrzymania ścieków, zarówno w reaktorze pierwszego, jak i drugiego stopnia. Możliwe jest to również poprzez zastosowanie zbiornika retencyjnego przed reaktorem porcjowym.

Technologię SBR można również zastosować do oczyszczania wybranych strumieni ścieków przemysłowych. Są to często innowacyjne rozwiązania, np. sekwencyjne reaktory porcjowe z błoną biologiczną SBBR (*Sequencing Batch Biofilm Reactor*) [115, 116]. Wprowadzenie do reaktora porcjowego dodatkowej biomasy w postaci błony biologicznej pozwala zwiększyć jej stężenie w układzie. Dzięki temu zwiększa się odporność systemu oczyszczania na zmiany ilości i składu ścieków, co skutkuje poprawą efektywności poszczególnych procesów biochemicznych oraz usunięciem substancji trudno biodegradowalnych.

W zależności od rodzaju i formy podłoża w systemach SBBR można wyróżnić reaktory ze złożem ruchomym i stałym (np. biofiltry sekwencyjne) [116]. Analiza tematu wskazuje na możliwość wykorzystania beztlenowych reaktorów porcjowych z błoną biologiczną – tzw. AnSBBR (*Anaerobic Sequencing Batch Biofilm Reactor*) [33, 37, 61]. Wyodrębnione w grupie systemów SBBR tzw. reaktory MBSBBR (*Moving Bed Sequencing Batch Biofilm Reactor*) mogą być wykorzystane do usuwania związków organicznych i biogennych ze ścieków mleczarskich [183], rzeźnianych [180] oraz do oczyszczania specyficznych trudno rozkładalnych ścieków przemysłowych, np. z produkcji tworzyw sztucznych [29]. Analiza piśmiennictwa wskazuje również na możliwość wykorzystania sekwencyjnych biofiltrów porcjowych BFSBR (*Biofilm Filter Sequencing Batch Reactor*) do oczyszczania ścieków fenolowych [18, 126], hodowlanych [198, 205] czy farmaceutycznych [16]. Jako podłoże błony biologicznej w reaktorach SBBR możliwe jest zastosowanie biernych wypełnień, jak np. włókien i kształtek z tworzyw sztucznych [198, 205], skały naturalnej [203] lub substancji aktywnych i sorpcyjnych (węgla aktywnego [18], puzzolany [16, 126] itp.). Rodzaj zastosowanego wypełnienia systemów SBBR determinuje efektywność usunięcia substancji nierozkładalnych biologicznie. Buitrón i inni [18], oczyszczając ścieki fenolowe w sekwencyjnym biofiltrze SBB-AC (*Sequencing Batch Biofilter Activated Carbon*) z wypełnieniem w postaci granulowanego węgla aktywnego, uzyskali całkowite usunięcie fenolu.

Oczyszczanie ścieków przemysłowych może być również realizowane w sekwencyjnych membranowych reaktorach porcjowych SBMBR (*Sequencing*

Batch Membrane Bioreactor), stanowiących połączenie technologii osadu czynnego i technik membranowych. Wysokie stężenie i długi wiek osadu, często ponad 60 d, w systemach membranowych zapewnia rozwój wolno rosnących mikroorganizmów, które rozkładają słabo biodegradowalne substancje. Ma to istotne znaczenie w przypadku oczyszczania ścieków przemysłowych [117]. W reaktorach porcjowych SBMBR możliwe jest oczyszczanie ścieków garbarskich [65], mleczarskich [9, 81], rzeźnianych [172], tekstylnych [153] oraz fenolowych [202]. Doniesienia literatury wskazują na możliwości wspomagania biologicznego oczyszczania ścieków z przemysłu mięsnego procesem odwróconej osmozy w technologii SBR-RO (*Sequencing Batch Reactor – Reverse Osmosis*) [12, 13, 186].

Ze względu na odporność tlenowej biomasy granulowanej na substancje toksyczne zawarte w ściekach oraz możliwość przyjęcia wysokich ładunków zanieczyszczeń prowadzone w ostatnim czasie badania laboratoryjne sugerują możliwość oczyszczania wybranych strumieni ścieków przemysłowych w reaktorach porcjowych z biomasą granulowaną GSBR (*Granular Sequencing Batch Reactor*). Przegląd literatury donosi o badaniach nad zastosowaniem technologii GSBR do oczyszczania ścieków mleczarskich [6, 169, 213], browarnianych [209], rzeźnianych [23, 220], hodowlanych [87], winiarskich [107], z przetwórstwa ryb [53], farmaceutycznych [77] i fenolowych [22, 168, 210, 219] oraz o możliwości prowadzenia biosorpcji metali ciężkich na granulach osadu [104, 218].

W systemach SBR i jego modyfikacjach możliwe jest uzyskanie biodegradacji ksenobiotyków ze ścieków przemysłowych w procesie mikrobiologicznej biodegradacji lub w wyniku sorpcji. Możliwe staje się usunięcie m.in. farmaceutyków, metali ciężkich, fenolu i jego pochodnych, trudno rozkładalnych związków chemicznych (np. benzenu, toluenu, alkaloidów, BTX-ów, AOX-ów, pestycydów, herbicydów, tab. 1.). Z kolei Tripathi i Allen [199] zastosowali sekwencyjny reaktor porcjowy do termofilnego tlenowego oczyszczania ścieków poprodukcyjnych z wybielania papieru. Termofilne tlenowe biologiczne oczyszczanie ścieków cechuje się większymi, niż inne procesy, szybkościami rozkładu substratu, szybką inaktywacją mikroorganizmów patogennych i małym przyrostem osadu [92]. Umożliwiło to uzyskanie w temperaturze 60°C, oprócz utlenienia związków organicznych, 75% zmniejszenie stężenia organicznych halogenów AOX [199].

Przegląd literatury wskazuje również na możliwość wykorzystania technologii SBR do oczyszczania wysoko zasolonych ścieków przemysłowych (np. z przemysłu koksowniczego) [78, 215]. Jako sorbent ksenobiotyków ze ścieków przemysłowych zastosowanie znalazł węgiel aktywny. W zależności od postaci, w jakiej węgiel aktywny jest aplikowany do komory reaktora porcjowego można wyróżnić reaktory: z granulowanym węglem GAC-SBR (*Granular Activated Carbon Sequencing Batch Reactor*) oraz z pylistym PAC-SBR (*Powdered Ac-*

tivated Carbon Sequencing Batch Reactor). Technologie te znalazły zastosowanie do oczyszczania ścieków rzeźniczych [175], celulozowo-papierniczych [204], tekstylnych [184] i fenolowych [24, 93]. Według literatury istnieje również możliwość zastosowania węgla aktywnego do oczyszczania ścieków z wód opadowych [229]. Węgiel aktywny stosowany jest również symultanicznie do usuwania toksycznych substancji ze ścieków, w tym metali ciężkich [102, 147, 148, 179].

Sekwencyjne reaktory porcjowe i jego zmodyfikowane rozwiązania mogą być wykorzystane w aspekcie odbarwiania ścieków, np. tekstylnych [2, 32, 47, 106, 171, 177, 178]. W systemach SBR w warunkach beztlenowo-tlenowych możliwy jest biologiczny rozkład barwników azotowych [47]. Możliwa jest całkowita mineralizacja barwników syntetycznych zawartych w ściekach. Szybkość i efektywność dekoloryzacji uzależniona jest od czasu zatrzymania, czasu trwania cyklu pracy reaktora SBR oraz wieku osadu [32, 106]. W celu intensyfikacji odbarwiania ścieków Albuquerque i inni [2] wykazali zasadność wzbogacenia osadu czynnego mikroorganizmami, takimi jak *Desulfovibrio alaskensis*, zdolnymi do rozkładu tego rodzaju zanieczyszczeń. Oczyszczanie ścieków metodą osadu czynnego nie zawsze jednak zapewnia wystarczającą efektywność usunięcia barwy. Autorzy prac [177, 178], aby dokonać sorpcji ksenobiotyków odpowiadających za barwę, zaaplikowali do reaktora porcjowego ziarna granulowanego węgla aktywnego w ilości 1g/m^3 . Z kolei El-Gohary i Tawfik [45] dokonali odbarwiania ścieków z zastosowaniem wstępnej koagulacji nieorganicznymi reagentami i końcowym oczyszczaniem biologicznym w reaktorze SBR. Najlepszy wynik otrzymali po zastosowaniu siarczanu glinu jako koagulantu, uzyskując całkowite odbarwienie ścieków oraz 86,9% zmniejszenie ChZT. Wadą tego układu była jednak duża produkcja osadów pokoagulacyjnych. Inne rozwiązanie przedstawili Fongsatikul i inni [54], którzy zastosowali m.in. układ 2-stopniowy, gdzie pierwszym stopniem było utlenianie odczynnikiem Fentona, drugim zaś oczyszczanie biologiczne w reaktorze SBR.

4. Podsumowanie

Zaprezentowana w pracy analiza piśmiennictwa wskazuje na ogromne możliwości wykorzystania systemów porcjowych SBR do oczyszczania ścieków przemysłowych. Zastosowanie znalazły zarówno klasyczne reaktory SBR, jak również innowacyjne jego rozwiązania (SBBR, TSSBR, MBSBBR itd.). Zakres przemysłowych zastosowań sekwencyjnych reaktorów rozciąga się przede wszystkim od sektora produkcji żywności (mleczarnie, rzeźnie, ubojnie, przetwórstwo ryb, gorzelnie, winiarnie), przez przemysł garbarski, celulozowo-papierniczy, utylizacyjny do przemysłu chemicznego i koksowniczego. W sekwencyjnych reaktorach porcjowych możliwe jest usunięcie ksenobiotyków ze ścieków, takich jak: metale ciężkie, farmaceutyki, trudno rozkładalne związki organiczne (np. fenol i jego pochodne, BTX, formaldehyd).

Przegląd literatury wykazuje, że dobór odpowiedniego algorytmu pracy reaktora porcjowego pozwala efektywnie usunąć substancje organiczne oraz związki biogenne ze ścieków przemysłowych w procesach mineralizacji, nitryfikacji, denitryfikacji oraz biologicznej defosfatacji. Wydajność biologicznego oczyszczania ścieków przemysłowych w systemach porcjowych uzależniona jest od wielkości ładunku zanieczyszczeń w ściekach, czasu zatrzymania oraz parametrów technologicznych osadu czynnego. Właściwa długość cyklu oraz przebieg poszczególnych faz pracy reaktora w obrębie jego trwania będą determinować uzyskanie założonego celu oczyszczania bądź podczyszczania ścieków.

Doświadczenia laboratoryjne nad wykorzystaniem technologii SBR do oczyszczania ścieków przemysłowych pozwoliły na jej wdrożenie w pełnej skali technicznej tylko w zakresie wybranych ścieków przemysłowych. Potwierdzeniem zasadności stosowania systemów SBR do oczyszczania ścieków przemysłowych są instalacje techniczne, m.in. w Rzeszowie czy Chrzanowie (tab. 3.). Obecnie istnieje wiele ofert systemów porcjowych SBR do oczyszczania ścieków poprodukcyjnych, m.in. z przetwórstwa owocowo-warzywnego, rzeźni, gastronomii, w zakresie przepustowości od kilku do kilkuset m³/d [123-125]. Niemniej jednak wiele obiecujących rozwiązań technologii SBR w zakresie oczyszczania ścieków przemysłowych pozostaje nadal w sferze badań laboratoryjnych.

Tabela 3. Wybrane oczyszczalnie ścieków przemysłowych wykorzystujące reaktory SBR

Zakład produkcyjny	Miasto	Uwagi
Przetwórstwo owoców	Białobrzegi	-
	Ostrołęka	$Q_{\text{śrd}} = 600 \text{ m}^3/\text{d}$
Przetwórstwo owoców i warzyw	Skołyszyn	$Q_{\text{śrd}} = 278 \text{ m}^3/\text{d}$
Przetwórstwo owoców	Rzeszów	-
Przetwórstwo spożywcze	Żory	-
Mleczarnia	Jasienica Rosielna	-
	Lidzbark Welski	$Q_{\text{śrd}} = 50 \text{ m}^3/\text{d}$
	Gościno	$Q_{\text{śrd}} = 250 \text{ m}^3/\text{d}$
	Lipsko	$Q_{\text{śrd}} = 300 \text{ m}^3/\text{d}$
Cukiernia/piekarnia	Płońsk	$Q_{\text{śrd}} = 500 \text{ m}^3/\text{d}$
Browar	Sierpc	-
Masarnia	Chrzanów	$Q_{\text{śrd}} = 400 \text{ m}^3/\text{d}$
	Stanisławów	$Q_{\text{śrd}} = 260 \text{ m}^3/\text{d}$
Ubojnia drobiu	Mosina k. Poznania	-
Zakład chemiczny (produkcja plastifikatorów)	Sochaczów	$Q_{\text{śrd}} = 2000 \text{ m}^3/\text{d}$
Browar	Rothaus (Niemcy)	$Q_{\text{śrd}} = 10000 \text{ m}^3/\text{d}$
	Kulmbach (Niemcy)	-
Zakład tekstylny	Humenne (Czechy)	-
Drożdżownia	Damaszek (Syria)	-

Wykaz skrótów i oznaczeń

- A₂SBR (*Anaerobic-Anoxic SBR*) – anaerobowo-anoksyczny sekwencyjny reaktor porcjowy,
- AF (*Anaerobic Filter*) – filtr beztlenowy,
- AF-SBR (*Anaerobic Filter-Sequencing Batch Reactor*) – 2-stopniowy układ oczyszczania ścieków (I^o – beztlenowy filtr, II^o – reaktor SBR),
- AnSBBR (*Anaerobic Sequencing Batch Biofilm Reactor*) – beztlenowy sekwencyjny reaktor porcjowy z błoną biologiczną,
- AnSBR (*Anaerobic Sequencing Batch Reactor*) – beztlenowy sekwencyjny reaktor porcjowy,
- AOX (*Adsorbable Organic Halogens*) – adsorbowalne organicznie związane chlorowce,
- BAC (*Biological Activated Carbon*) – biologiczne oczyszczanie ścieków z aplikacją węgla aktywnego do komory osadu czynnego,
- BFSBR (*Biofilm Filter Sequencing Batch Reactor*) – sekwencyjny biofiltr porcjowy,
- BTX (*Aromatic Hydrocarbons*) – jednopierścieniowe węglowodory aromatyczne pochodne benzenu,
- ChZT – chemiczne zapotrzebowanie na tlen,
- GAC (*Granular Activated Carbon*) – granulowany węgiel aktywny,
- GAC-SBR (*Granular Activated Carbon-Sequencing Batch Reactor*) – sekwencyjny reaktor porcjowy z dawkowaniem granulowanego węgla aktywnego,
- GSBR (*Granular Sequencing Batch Reactor*) – sekwencyjny reaktor porcjowy z tlenowym osadem granulowanym,
- HRT (*Hydraulic Retention Time*) – hydrauliczny czas zatrzymania,
- IC (*Internal Circulation*) – reaktor z wewnętrzną cyrkulacją,
- IC-SBR - *Internal Circulation-Sequencing Batch Reactor* – 2-stopniowy układ oczyszczania ścieków (I^o – reaktor IC, II^o – reaktor SBR),
- MBSBBR (*Moving Bed Sequencing Batch Biofilm Reactor*) – sekwencyjny reaktor porcjowy z ruchomym złożem biologicznym,
- N_{Kj} – azot Kjeldahla,
- PAC (*Powdered Activated Carbon*) – pylisty węgiel aktywny,
- PAC-SBR (*Powdered Activated Carbon Sequencing Batch Reactor*) – sekwencyjny reaktor porcjowy z dawkowaniem pylistego węgla aktywnego,
- SBB-AC (*Sequencing Batch Biofilter Activated Carbon*) – sekwencyjny biofiltr porcjowy z węglem aktywnym,
- SBBR (*Sequencing Batch Biofilm Reactor*) – sekwencyjny reaktor porcjowy z błoną biologiczną,
- SBMBR (*Sequencing Batch Membrane Bioreactor*) – sekwencyjny membranowy reaktor porcjowy,
- SBR (*Sequencing Batch Reactor*) – sekwencyjny reaktor porcjowy,

SBR-CMBR (*Sequencing Batch Reactor-Complete-Mix Biofilm Reactor*) – 2-stopniowy układ oczyszczania ścieków (I^o – reaktor SBR, II^o – reaktor ze złożem ruchomym),
SBR-RO (*Sequencing Batch Reactor – Reverse Osmosis*) – sekwencyjny reaktor porcjowy z modulem odwróconej osmozy,
TOC (*Total Organic Carbon*) – całkowity/ogólny węgiel organiczny (OWO),
TSSBR (*Two-Stage Sequencing Batch Reactor*) – dwustopniowy sekwencyjny reaktor porcjowy,
UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) – reaktor z warstwą zawieszonego anaerobowego osadu granulowanego,
UASB-SBR (*Upflow Anaerobic Sludge Bed-SBR*) – 2-stopniowy układ oczyszczania ścieków (I^o – reaktor UASB, II^o – reaktor SBR),
WO – wiek osadu.

Literatura

1. Accashian J.V., Smets B.F., Kim B.J.: Aerobic biodegradation of nitroglycerin in a sequencing batch reactor, *Water Environ. Res.*, no 72(4), 2000, s. 499-506.
2. Albuquerque M.G.E., Lopes A.T., Serralheiro M.L., Novais J.M., Pinheiro H.M.: Biological sulphate reduction and redox mediator effects on azo dye decolourisation in anaerobic-aerobic sequencing batch reactors, *Enzym. Microb. Tech.* no 36, 2005, s. 790-799.
3. Al-Hazarin I.M., Nakhla G.F., Farooq S.: Start-up of sequencing batch reactors for toxic wastewater treatment, *J. Environ. Sci. Health*, no A 26, 1991, s. 673-687.
4. Ammary B.Y.: Treatment of olive mill wastewater using an anaerobic sequencing batch reactor, *Desalination*, no 177, 2005, s. 157-165.
5. An Y.-L., Zhang L.-Y., Zhang L., Liu N., An Y.-K., Song Y.: Study on caffeine wastewater treatment by combined process of micro-electrolysis and SBR, 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (ICBBE), Chengdu, 18-20 June 2010.
6. Arrojo B., Mosquera-Corral A., Garrido J.M., Méndez R.: Aerobic granulation with industrial wastewater in sequencing batch reactors, *Wat. Res.*, no 38, 2004, s. 3389-3399.
7. Artan N., Orhon D.: Mechanism and design of Sequencing Batch Reactors for nutrient removal, *Scientific and Technical Report*, no 19, IWA Publishing, London 2005.
8. Artan N., Yagci N.O., Artan S.R., Orhon D.: Design of sequencing batch reactors for biological nitrogen removal from strength wastewaters, *J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.*, no 38(10), 2003, s. 2125-2134.
9. Bae T.-H., Han S.-S., Tak T.-M.: Membrane sequencing batch reactor system for the treatment of dairy industry wastewater, *Process Biochem.*, no 39, 2003, s. 221-231.
10. Basu S.K., Oleszkiewicz J.A.: Factors affecting biodegradation of 2-chlorophenol in sequencing batch reactors, *Environ. Technol.*, no 16(12), 1995, s. 1135-1143.

11. Bernet N., Delgenes N., Akunna J.C., Delgenes J.P., Moletta R.: Combined anaerobic-aerobic SBR for the treatment of piggery wastewater, *Wat. Res.*, no 34(2), 2000, s. 611-619.
12. Bohdziewicz J., Sroka E.: Application of membrane bioreactors to the treatment of the meat industry wastewater, *Environmental Engineering*, Pawłowski, Dudzińska & Pawłowski (eds), Taylor & Francis Group, London 2007, s. 85-91.
13. Bohdziewicz J., Sroka E.: Integrated system of activated sludge-reverse osmosis in the treatment of the wastewater from the meat industry, *Process. Biochem.*, no 40, 2005, s. 1517-1523.
14. Boopathy R., Bonvillain C., Fontenot Q., Kilgen M.: Biological treatment of low-salinity shrimp aquaculture wastewater using sequencing batch reactor, *Int. Biodeter. Biodegrad.*, no 59, 2007, s. 16-19.
15. Bouallagui H., Torrijos M., Godon J.J., Moletta R., Ben Cheikh R., Touhami Y., Delgenes J.P., Hamdi M.: Two-phases anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: bioreactors performance, *Biochem. Eng. J.*, no 21, 2004, s. 193-197.
16. Buitrón G., Melgoza R.M., Jiménez L.: Pharmaceutical wastewater treatment using an anaerobic/anaerobic sequencing batch biofilter, *J. Environ. Sci. Health Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.*, no 38(10), 2003, s. 2077-2088.
17. Buitrón G., Schoeb M.E., Moreno-Andrade I., Moreno J.A.: Evaluation of two control strategies for a sequencing batch reactor degrading high concentration peaks of 4-chlorophenol, *Wat. Res.*, no 39(6), 2005, s. 1015-1024.
18. Buitrón G., Soto G., Vite G., Moreno J.: Strategies to enhance the biodegradation of toxic compounds using discontinuous processes, *Wat. Sci. Tech.*, no 43(3), 283-290.
19. Bural C.B., Demirer G.N., Kantoglu O., Dilek F.B.: Treatment of opium alkaloid containing wastewater in sequencing batch reactor (SBR) – Effect of gamma irradiation, *Rad. Phys. Chem.*, no 79(4), 2010, s. 519-526.
20. Carrasco E.F., Omil F., Garrido J.M., Arrojo B., Méndez R.: Advanced monitoring and supervision of biological treatment of complex dairy effluents in a full-scale plant, *Biotechnol. Prog.*, no 20, 2004, s. 992-997.
21. Carucci A., Chiavola A., Majone M., Rolle E.: Treatment of tannery wastewater in a sequencing batch reactor, *Wat. Sci. Tech.*, no 40(1), 1999, s. 253-259.
22. Carucci A., Milia S., Cappai G., Muntoni A.: A direct comparison amongst different technologies (aerobic granular sludge, SBR and MBR) for the treatment of wastewater contaminated by 4-chlorophenol, *J. Hazard. Materials.*, no 177, 1-3, 2010, s. 1119-1125.
23. Cassidy D.P., Belia E.: Nitrogen and phosphorus removal from an abattoir wastewater in a SBR with aerobic granular sludge, *Wat. Res.*, no 39(19), 2005, s. 4817-4823.
24. Chan C.H., Lim P.E.: Evaluation of sequencing batch reactor performance with aerated and unaerated fill periods in treating phenol-containing wastewater, *Biores. Technol.*, no 98(7), 2007, s. 1333-1338.
25. Chan Y.J., Chong M.F., Law C.L.: Biological treatment of anaerobically digested palm oil mill effluent (POME) using a Lab-Scale Sequencing Batch Reactor (SBR), *J. Environ. Manage.*, no 91(8), 2010, s. 1738-1746.

26. Chen C.-H., Horng R.Y., Juang S.S., Tzou W.Y., You H.S., Cheng S.S.: A successful case study of fine chemical plant wastewater treatment, *Wat. Sci. Tech.*, no 35(1), 1997, s. 87-94.
27. Chiavola A., Baciocchi R., Irvine R.L., Gavasci R., Sirini P.: Aerobic biodegradation of 3-chlorophenol in a sequencing batch reactor: effect of cometabolism, *Wat. Sci. Tech.*, no 50(10), 2004, s. 235-242.
28. Chiavola A., McSwain B.S., Irvine R.L., Boni M.R., Baciocchi R.: Biodegradation of 3-chlorophenol in a sequencing batch reactor, *J. Environ. Sci. Health Tox. Hazard Subst. Environ. Eng.*, no 38(10), 2003, s. 2113-23.
29. Cho B.-C., Chang C.-N., Liaw S.-L., Huang P.-T.: The feasible sequential control strategy of treating high strength organic nitrogen wastewater with sequencing batch biofilm reactor, *Wat. Sci. Tech.*, no 43(3), 2001, s. 115-122.
30. Chozick R., Irvine R.L.: Preliminary studies on the granular activated carbon-sequencing batch biofilm reactor, *Environ. Prog.*, no 10(4), 1991, s. 282-289.
31. Christensen A., Gurol M.D., Garoma T.: Treatment of persistent organic compounds by integrated advanced oxidation processes and sequential batch reactor, *Wat. Res.*, no 43(16), 3910-3921.
32. Çınar Ö., Yaşar S., Kertman M., Demiröz K., Özgü N., Kitis M.: Effect of cycle time on biodegradation of azo dye in sequencing batch reactor, *Process Saf. Environ. Prot.*, no 86, 2008, s. 455-460.
33. Damasceno L.H., Rodrigues J.A., Ratusznei S.M., Zaiat M., Foresti E.: Effects of feeding time and organic loading in an anaerobic sequencing batch biofilm reactor (ASBBR) treating diluted whey, *J. Environ. Manage.*, no 85 (4), 2007, s. 927-935.
34. Dapena-Mora A., Campos J.L., Mosquera-Corral A., Méndez R.: Treatment of an effluent from a fish canning anaerobic digester by the Anammox process, IWA Specialized Conference „Nutrient management in wastewater treatment processes and recycle streams”, Kraków, Poland 19-21 September 2005, s. 855-864.
35. Daumer M.L., Béline F., Guiziou F., Sperandio M.: Effect of nitrification on phosphorus dissolving in a piggery effluent treated by a sequencing batch reactor, *Biosystems Eng.*, no 96(4), 2007, s. 551-557.
36. Daumer M.L., Béline F., Guiziou F., Sperandio M.: Influence of pH and biological metabolism on dissolved phosphorus during biological treatment of piggery wastewater, *Biosystems Eng.*, no 96(3), 2007, s. 379-386.
37. De Oliveira D.S., Prinholato A.C., Ratusznei S.M., Rodrigues J.A.D., Zaiat M., Foresti E.: AnSBBR applied to the treatment of wastewater from a personal care industry: Effect of organic load and fill time, *J. Environ. Manage.*, no 90, 2009, s. 3070-3081.
38. De Paula Moreira M., Yamakawa C.S., Perez V.H., Alegre R.M.: Effect of addition of one carbon source on the operation of sequencing batch reactor in order to remove nitrogen and COD from poultry wastewater, *World. J. Microbiol. Biotechnol.*, no 24, 2008, s. 1937-1942.
39. Deng L.W., Zheng P., Chen Z.A.: Anaerobic digestion and post-treatment of swine wastewater using IC-SBR process with bypass of raw wastewater, *Process. Biochem.*, no 41, 2006, s. 965-969.
40. Di Iaconi C., Lopez A., Ramadori R., Di Pinto A.C., Passino R.: Combined chemical and biological degradation of tannery wastewater by a periodic submerged filter (SBBR), *Wat. Res.*, no 36, 2002, s. 2205-2214.

41. Drillia P., Kornaros M., Lyberatos G.: Wastewater treatment from a motor-oil reforming company using a sequencing batch reactor (SBR), *Wat. Sci. Tech.*, no 47(10), 2003, s. 25-32.
42. Drillia P., Dokianakis S.N., Fountoulakis M.S., Kornaros M., Stamatelatou K., Lyberatos G.: On the occasional biodegradation of pharmaceuticals in the activated sludge process: The example of the antibiotic sulfamethoxazole. *J. Hazard. Materials.*, no 122, 2005, s. 259-265.
43. Duan X.: Study on the treatment process of wastewater from Cephalosporin production, *J. Sustain. Dev.*, no 2(2), 2009, s. 133-136.
44. Dugba P.N., Zhang R.: Treatment of dairy wastewater with two-stage anaerobic sequencing batch reactor systems – thermophilic versus mesophilic operations, *Biores. Technol.*, no 68, 1999, s. 225-233.
45. El-Gohary F., Tawfik A.: Decolorization and COD reduction of disperse and reactive dyes wastewater using chemical-coagulation followed by sequential batch reactor (SBR) process, *Desalination*, no 249, 2009, s. 1159-1164.
46. Er C.C.: Treatment of dye-containing wastewater by sequencing batch reactor with powdered activated carbon addition, *Toxicological & Environmental Chemistry*, no 75(1-2), 2000, s. 75-87.
47. Erkurt H.A.: Biodegradation of azo dyes, *The Handbook of Environmental Chemistry*, vol. 9, 2010.
48. Farabegoli G., Carucci A., Majone M., Rolle E.: Biological treatment of tannery wastewater in the presence of chromium, *J. Environ. Manage.*, no 71(4), 2004, s. 345-349.
49. Farina R., Cellamare C.M., Stante L., Giordano A.: Pilot scale anaerobic sequencing batch reactor for distillery wastewater treatment, 10th World Congress on Anaerobic Digestion, Montreal, Canada, 30 August – 3 September 2004.
50. Felicjaniak B., Przybiński J.: Oczyszczanie ścieków garbarskich w sekwencyjnych reaktorach biologicznych, *GWITS*, nr 5, 2003, s. 180-184.
51. Felis E., Miksch K., Sikora J.: Występowanie i możliwości usuwania farmaceutyków ze ścieków w Polsce, VII Ogólnopolska Sesja Popularnonaukowa „Środowisko a zdrowie 2005”, Częstochowa, 2-3 czerwca 2005.
52. Fernades L., Mckyes E., Warith M., Barrington S.: Treatment of liquid swine manure in the sequencing batch reactor under aerobic and anoxic conditions, *Can. Agric. Eng.*, no 33, 1991, s. 373-379.
53. Figueroa M., Mosquera-Corral A., Campos J.L., Méndez R.: Treatment of saline wastewater in SBR aerobic granular reactors, *Wat. Sci. Tech.*, no 58(2), 2008, s. 479-485.
54. Fongsatikul P., Elefsiniotis P., Yamasmit A., Yamasmit N.: Use of sequencing batch reactors and Fenton's reagent to treat a wastewater from a textile industry, *Biochem. Eng. J.*, no 21, 2004, s. 213-220.
55. Fontenot Q., Bonvillain C., Kilgen M., Boopathy R.: Effects of temperature, salinity, and carbon nitrogen ratio on sequencing batch reactor treating shrimp aquaculture wastewater, *Biores. Technol.*, no 98(9), 2007, s. 1700-1703.
56. Franta J.R., Wilderer P.A.: Biological treatment of papermill wastewater by sequencing batch reactor technology to reduce residual organics, *Wat. Sci. Tech.*, no 35(1), 1997, s. 129-136.

57. Frigon J.-C., Breton J., Bruneau T., Moletta R., Guiot S.R.: The treatment of cheese whey wastewater by sequential anaerobic and aerobic steps in a single digester at pilot scale, *Biores. Technol.*, no 100, 2009, s. 4156-4163.
58. Fu L.Y., Wen X.H., Yi Qian Q.L.L.: Treatment of dyeing wastewater in two SBR systems, *Process Biochem.*, no 36(11), 2001, s. 1111-1118.
59. Fun C.W., Haq M.R.U., Kutty S.R.M.: Treatment of palm oil mill effluent using biological sequencing batch reactor system, *Ecology and the Environment. River Basin Management IV*, no 104, 2007, s. 511-518.
60. Furmańska-Zborowska E.: Zastosowanie komory typu SBR do oczyszczania wybranego strumienia ścieków petrochemicznych, *GWITS*, nr 9, 2006, s. 29-33.
61. Fuzzato M.C., Adorno M.A.T., de Pinho S.C., Ribeiro R., Tommaso G.: Simplified mathematical model for an anaerobic sequencing batch biofilm reactor treating lipid-rich wastewater subject to rising organic loading rates, *Environ. Eng. Sci.*, no 26(7), 2009, s. 1197-1206.
62. Ganesh R., Balaji G., Ramanujam R.A.: Biodegradation of tannery wastewater using sequencing batch reactor – Respirometric assesment, *Biores. Technol.*, no 97, 2006, s. 1815-1821.
63. Ganjidoust H., Ayati B.: Use of sequencing batch reactors (SBRs) in treatment of wood fiber wastewater. *Iran J. Environ. Health. Sci. Eng.*, no 1(2), 2004, s. 91-96.
64. Garrido J.M., Omil F., Arrojo B., Méndez R., Lema J.M.: Carbon and nitrogen removal from a wastewater of an industrial dairy laboratory with a coupled anaerobic filter-sequencing batch reactor system, *Wat. Sci. Tech.*, no 43(3), 2001, s. 249-256.
65. Goltara A., Martinez J., Mendez R.: Carbon and nitrogen removal from tannery wastewater with a membrane bioreactor, *Wat. Sci. Tech.*, no 48(1), 2003, s. 207-214.
66. Gonçalves I.C., Penha S., Matos M., Santos A.R., Franco F., Pinheiro H.M.: Evaluation of an integrated anaerobic/aerobic SBR system for the treatment of wool dyeing effluents, *Biodegradation*, no 16, 2005, s. 81-89.
67. González O., Esplugas M., Sans C., Torres A., Esplugas S.: Performance of a sequencing batch biofilm reactor for the treatment of pre-oxidized sulfamethoxazole solutions, *Wat. Res.*, no 43(8), 2009, s. 2149-2158.
68. Gutiérrez S., Ferrari A., Benítez A., Hermida S., Canetti R.: Carbon and nitrogen removal from dairy wastewater in a laboratory sequential batch reactor system, 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering, 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering, Río de Janeiro, Brasil, 14-18 August 2005.
69. Gutiérrez S., Ferrari A., Benítez A., Travers D., Menes J., Etchebehere C., Canetti R.: Long-term evaluation of a sequential batch reactor (SBR) treating dairy wastewater for carbon removal, *Wat. Sci. Tech.*, no 55(10), 2007, s. 193-199.
70. Ha S.R., Qishan L., Vinitnantharat S.: COD removal of phenolic wastewater by biological activated carbon-sequencing batch reactor in the presence of 2,4-DCP, *Wat. Sci. Tech.*, no 42(5-6), 2000, s. 171-178.
71. Hailei W., Guosheng L., Ping L., Feng P.: The effect of bioaugmentation on the performance of sequencing batch reactor and sludge characteristics in treatment process of papermaking wastewater, *Bioprocess. Biosyst. Eng.*, no 29, 2006, s. 283-289.

72. Hajjibadi H., Alavi Moghaddam M.R., Hashemi S.H.: Effect of sludge retention time on treating high load synthetic wastewater using aerobic sequencing batch reactors, *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, no 6(4), 2009, s. 217-222.
73. Hamoda M.F., Al-Awadi S.M.: Wastewater management in a dairy farm, *Wat. Sci. Tech.*, no 32(11), 1995, s. 1-11.
74. Hirl P.J., Irvine R.L.: Reductive dechlorination of perchloroethylene using anaerobic sequencing batch biofilm reactors (AnSBBR), *Wat. Sci. Tech.*, no 35(1), 1997, s. 49-56.
75. Idris A., Hashim R., Abdul Rahman R., Ahmad W.A., Ibrahim Z., Abdul Razak P.R., Mohd Zin H., Bakar I.: Application of bioremediation process for textile wastewater treatment using pilot plant, *Int. J. Eng. Tech.*, no 4(2), 2007, s. 228-234.
76. Ileri R., Kiratli N., Koseoglu G.: Bioremoval of colour from textile wastewater by sequencing batch reactor and biotechnological methods, *Int. J. Environ. Poll.*, no 38(1-2), 2009, s. 48-55.
77. Inizan M., Freval A., Cigana J., Meinhold J.: Aerobic granulation in a sequencing batch reactor (SBR) for industrial wastewater treatment, *Wat. Sci. Tech.*, no 52(10-11), 2005, s. 335-343.
78. Intrasungkha N., Keller J.I., Blackall L.: Biological nutrient removal efficiency in treatment of saline wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, no 39(6), 1999, s. 183-190.
79. Janczukowicz W., Krzemieniewski M., Pesta J.: Wieloletnie doświadczenia z eksploatacji oczyszczalni ścieków mleczarskich z komorą osadu czynnego typu SBR, *Forum Eksploatatora*, nr 1, 2005, s. 36-39.
80. Kabbalo H.P.: Shock load management with the sequencing batch biofilm reactor technology, *Wat. Sci. Tech.*, no 35(1), 1997, s. 35-40.
81. Kaewsuk J., Thorasampan W., Thanuttamavong M., Seo G.T.: Kinetic development and evaluation of membrane sequencing batch reactor (MSBR) with mixed cultures photosynthetic bacteria for dairy wastewater treatment, *J. Environ. Manage.*, no 91, 2010, s. 1161-1168.
82. Kapdan I.K., Oztekin R.: Effect of operating parameters on color and COD removal performance of SBR: Sludge age and initial dyestuff concentration, *J. Hazard. Materials.*, no B123, 2005, s. 217-222.
83. Kapdan I.K., Oztekin R.: The effect of hydraulic residence time and initial COD concentration on color and COD removal performance of the anaerobic-aerobic SBR system, *J. Hazard. Materials.*, no B136, 2006, s. 896-901.
84. Keller J., Subramaniam K., Gösswein J., Greenfield P.F.: Nutrient removal from industrial wastewater using single tank sequencing batch reactors, *Wat. Sci. Tech.*, no 35(6), 1997, s. 137-144.
85. Kim D., Kim T.S., Ryu H.D., Lee S.I.: Treatment of low carbon-to-nitrogen wastewater using two-stage sequencing batch reactor with independent nitrification, *Process Biochem.*, no 43, 406-413.
86. Kim S., Eichhorn P., Jensen J.N., Weber A.S., Aga D.S.: Removal of antibiotics in wastewater: effect of hydraulic and solid retention times on the fate of tetracycline in the activated sludge process, *Environ. Sci. Technol.*, no 39, 2005, s. 5816-5823.
87. Kishida N., Tsuneda S., Kim J.H., Sudo R.: Simultaneous nitrogen and phosphorus removal from high-strength industrial wastewater using aerobic granular sludge, *J. Envir. Eng.*, no 135(3), 2009, s. 153-158.

88. Kolb F.R., Wilderer P.A.: Activated carbon sequencing batch biofilm reactor to treat industrial wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, no 35(1), 1997, s. 169-176.
89. Kriebitzsch K., Adamietz E., Schiegl C., Helmreich B., Wilderer P.A., Wuertz S.: Assessment of biological activity during temperature changes in a bench-scale sequencing batch reactor fed with synthetic medium containing lignin, *Wat. Sci. Tech.*, no 27(4-5), 1998, s. 251-254.
90. Kucharski B., Tomaszek J.: Use of simplified sequencing batch reactor system for the treatment of wastewater from fruit-and-vegetable processing plant, 2nd International symposium on Sequencing Batch Reactor technology, Poster presentations, t. II, 10-12 July 2000, Narbonne, France, s.113-115.
91. Kungskulniti N., Shumnumsirivath S., Kongmuang U., Pimpetch W.: The SBR system without reaeration in its prolonged idle period for treatment of hospital wastewater, *Thammasat Int. J. Sc. Tech.*, no 5(1), 2000, s. 50-55.
92. Lasik M., Nowak J.: Effect of pollution load and oxygen availability on thermophilic aerobic continuous biodegradation of potato processing wastewater, *Eng. Life Sci.*, no 7(2), 2007, s. 187-191.
93. Lee K.M., Lim P.E.: Treatment of phenolic wastewater using agricultural wastes as an adsorbent in a sequencing batch reactor, *Wat. Sci. Tech.*, no 47(10), 2003, s. 41-47.
94. Lee L.Y., Hu J.Y., Ong S.L., Ng W.J., Ren J.H., Wong S.H.: Two-stage SBR for treatment of oil refinery wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, no 50(10), 2004, s. 243-249.
95. Lee S.I., Park J.H., Ko K.B., Koopman B.: Effect of fermented swine waste on biological nutrient removal in sequencing batch reactors, *Wat. Res.*, no 31(7), 1997, s. 1807-1812.
96. Lefebvre O., Vasudevan N., Torrijos M., Thanasekaran K., Moletta R.: Halophilic biological treatment of tannery soak liquor in a sequencing batch reactor, *Wat. Res.*, no 39, 2005, s. 1471-1480.
97. Lemaire R., Yuan Z., Bernet N., Marcos M., Yilmaz G., Keller J.: A sequencing batch reactor system for high-level biological nitrogen and phosphorus removal from abattoir wastewater, *Biodegradation*, no 20, 2009, s. 339-350.
98. Li B., Sun Y.L., Li Y.Y.: Pretreatment of coking wastewater using anaerobic sequencing batch reactor (ASBR). *J. Zhejiang. Univ.*, no SCI 6B(11), 2005, s. 1115-1123.
99. Li J.P., Healy M.G., Zhan X.M., Rodgers M.: Nutrient removal from slaughterhouse wastewater in an intermittently aerated sequencing batch reactor, *Biores. Technol.*, no 99, 2008, s. 7644-7650.
100. Li J.P., Healy M.G., Zhan X.M., Norton D., Rodgers M.: Effect of aeration rate on nutrient removal from slaughterhouse wastewater in intermittently aerated sequencing batch reactors, *Water, Air Soil Pollut.*, no 192, 2008, s. 251-261.
101. Li X., Zhang R.: Aerobic treatment of dairy wastewater with sequencing batch reactor systems, *Bioprocess. Biosyst. Eng.*, no 25, 2002, s. 103-109.
102. Lim P.E., Ong S.A., Seng C.E.: Simultaneous adsorption and biodegradation processes in sequencing batch reactor (SBR) for treating copper and cadmium-containing wastewater, *Wat. Res.*, no 36(3), 2002, s. 667-675.
103. Ling L., Lo K.W.: The effects of hydraulic retention time and loading rate on brewery wastewater treatment using sequencing batch reactors, *J. Environ. Sci. Health A*, no 36(7), 2001, s. 1227-1236.

104. Liu Y., Xu H., Yang S.-F., Tay J.-H.: A general model for biosorption of Cd^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} by aerobic granules, *J. Biotechnol.*, no 102(3), 2003, s. 233-239.
105. Lo K.V., Liao P.H.: A full-scale sequencing batch reactor system for swine wastewater treatment, *J. Environ. Sci. Health.*, no B 42(2), 2007, s. 237-240.
106. Lourenço N.D., Novais J.M., Pinheiro H.M.: Effect of some operational parameters on textile dye biodegradation in a sequential batch reactor, *J. Biotechnol.*, no 89, 2001, s. 163-174.
107. López-Palau S., Dosta J., Mata-Alvarez J.: Start-up of an aerobic granular sequencing batch reactor for the treatment of winery wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, no 60(4), 2009, s. 1049-1054.
108. Lu L., Zhang S., Li H., Wang Z., Li J., Zhang Z., Zhu J.: A reformed SBR technology integrated with two-step feeding and low-intensity aeration for swine wastewater treatment, *Environ. Technol.*, no 30(3), 2009, 251-260.
109. Lü W.Z., Liu Y., Huang Y.Z.: Treatment of oil manufacturing wastewater by yeast-SBR system, *Huan Jing Ke Xue*, no 29(4), 2008, s. 966-971.
110. Lyles C., Boopathy R., Fontenot Q., Kilgen M.: Biological treatment of shrimp aquaculture wastewater using a sequencing batch reactor, *Appl. Biochem. Biotechnol.*, no 151, 2008, s. 474-479.
111. Ma G., Love N.G.: Creating anoxic and microaerobic conditions in sequencing batch reactors treating volatile BTX compounds, *Wat. Sci. Tech.*, no 43(3), 2001, s. 275-282.
112. Mangat S.S., Elefsiniotis P.: Biodegradation of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) in sequencing batch reactor, *Wat. Res.*, no 33(3), 1999, s. 861-867.
113. Marañón E., Vázquez I., Rodríguez J., Castrillón L., Fernández Y., López H.: Treatment of coke wastewater in a sequencing batch reactor (SBR) at pilot plant scale, *Biores. Technol.*, no 99, 2008, s. 4192-4198.
114. Martín-Hernández M., Carrera J., Pérez J., Eugenia M., Suárez-Ojeda E.: Enrichment of a K-strategist microbial population able to biodegrade *p*-nitrophenol in a sequencing batch reactor, *Wat. Res.*, no 43(15), 2009, s. 3871-3883.
115. Masłoń A., Tomaszek J.A.: Innowacyjne rozwiązania sekwencyjnych reaktorów porcjowych stosowane w oczyszczaniu ścieków, *Inż. Ochrona Środ.*, t. 11, nr 4, 2008, s. 431-453.
116. Masłoń A., Tomaszek J.A.: Przegląd literatury nowych rozwiązań technologicznych reaktorów sekwencyjnych z błoną biologiczną, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej*, nr 268, z. 56, 2009, s. 67-85.
117. Masłoń A., Tomaszek J.A.: Zastosowanie technik membranowych w sekwencyjnych reaktorach porcjowych, *Ekologia i Technika*, vol. XVII, nr 6, 2009, s. 303-310.
118. Massé D.I., Droste R.L.: Comprehensive model of anaerobic digestion of swine manure slurry in a sequencing batch reactor, *Wat. Res.*, no 34(12), 2000, s. 3087-3106.
119. Massé D.I., Massé L.: The effect of temperature on slaughterhouse wastewater treatment in anaerobic sequencing batch reactors, *Biores. Technol.*, no 76, 2001, s. 91-98.

120. Massé D.I., Massé L., Croteau F.: The effect of temperature fluctuations on psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors treating swine manure, *Biores. Technol.*, no 89, 2003, s. 57-62.
121. Massé D. I., Masse L., Xia Y., Gilbert Y.: Potential of low-temperature anaerobic digestion to address current environmental concerns on swine production, *J. Anim. Sci.*, no 88, 2010, s. E112-120E.
122. Massé D.I., Droste R.L., Kennedy K.J., Patni N.K., Munroe J.A.: Potential for the psychrophilic anaerobic treatment of swine manure using a sequencing batch reactor., *Can. Agr. Eng.*, no 39(1), 1997, s. 25-33.
123. Materiały informacyjne firmy Napier-Reid Canada 2010, <http://www.napier-reid.com>.
124. Materiały informacyjne firmy Planotex GmbH 2010, <http://www.planotex.net>.
125. Materiały informacyjne firmy Sanitaire 2010, <http://www.sanitaire.com>.
126. Melgoza R.M., Buitrón G.: Degradation of p-nitrophenol in a batch biofilter under sequential anaerobic/aerobic environments, *Wat. Sci. Tech.*, no 44(4), 2001, s. 151-157.
127. Merzouki M., Bernet N., Delgenés J.P., Benlemlih M.: Effect of prefermentation on denitrifying phosphorus removal in slaughterhouse wastewater, *Biores. Technol.*, no 96, 2005, s. 1317-1322.
128. Metcalf & Eddy Inc.: *Wastewater Engineering*, 3rd ed., 1991.
129. Miksch K., Sikora J.: *Biotechnologia ścieków*, PWN, Warszawa 2010.
130. Milet G.M.D., Duff S.J.B.: Treatment of kraft condensates in a feedback-controlled sequencing batch reactor, *Wat. Sci. Tech.*, no 38(4-5), 1998, s. 263-271.
131. Mockaitis G., Ratusznei S.M., Rodrigues J.A.D., Zaiat M., Foresti E.: Anaerobic whey treatment by a stirred sequencing batch reactor (ASBR): effects of organic loading and supplemented alkalinity, *J. Environ. Manage.*, no 79, 2006, s. 198-206.
132. Mohamad A.B., Kadhum A.A.H., Abdullah S.R.S., Sudin Z.W., Shaari S.: Removal of adsorbable organic halides (AOX) from recycled pulp and paper (P&P) mill effluent using granular activated sludge-sequencing batch biofilm reactor (GAC-SBBR), *Modern Appl. Sci.*, no 2(5), 2008, s. 37-45.
133. Mohseni-Bandpi A., Bazari H.: Biological treatment of dairy wastewater by sequencing batch reactor, *Iranian J. Env. Health Sci. Eng.*, no 1(2), 2004, s. 65-69.
134. Monsalvo V.M., Mohedano A.F., Casas J.A., Rodríguez J.J.: Cometabolic biodegradation of 4-chlorophenol by sequencing batch reactors at different temperatures, *Biores. Technol.*, no 100, 2009, s. 4572-4578.
135. Moon B.H., Seo G.T., Lee T.S., Kim S.S., Yoon C.H.: Effects of salt concentration on floc characteristics and pollutants removal efficiencies in treatment of seafood wastewater by SBR, *Wat. Sci. Tech.*, no 47(1), 2003, s. 65-70.
136. Moreno-Andrade I., Buitrón G.: Variation of the microbial activity during the acclimation phase of a SBR system degrading 4-chlorophenol, *Wat. Sci. Tech.*, no 50(10), 2004, s. 251-258.
137. Moussavi G., Barikbin B., Mahmoudi M.: The removal of high concentrations of phenol from saline wastewater using aerobic granular SBR, *Chem. Eng. J.*, no 158(3), 2010, s. 498-504.
138. Murat S., Insel G., Artan N., Orhon D.: Effect of temperature on the nitrogen removal performance of a sequencing batch reactor treating tannery wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, no 48(11-12), 2003, s. 319-326.

139. Murat S., Insel G., Artan N., Orhon D.: Performance evaluation of SBR treatment for nitrogen removal from tannery wastewater, IWA Specialized Conference „Nutrient management in wastewater treatment processes and recycle streams”, Kraków, Poland 19-21 September 2005, s. 865-873.
140. Murat S., Gencell A.E., Tasli R., Artan N., Orhon D.: Sequencing batch reactor treatment of tannery wastewater for carbon and nitrogen removal, *Wat. Sci. Tech.*, no 46(9), 2002, s. 219-227.
141. Ndegwa P.M., Hamilton D.W., Lalman J.A., Cumba H.J.: Effects of cycle-frequency and temperature on the performance of anaerobic sequencing batch reactors (ASBRs) treating swine waste, *Biores. Technol.*, no 99, 2008, s. 1972-1980.
142. Nogueira R., Alves C., Matos M., Brito A.G.: Synthesis and degradation of poly- β -hydroxybutyrate in a sequencing batch biofilm reactor, *Biores. Technol.*, no 100(7), 2009, s. 2106-2110.
143. Norton D., Healy M.G., Zhan X.: Nitrogen removal from slaughterhouse wastewater using a pilot-scale sequencing batch reactor, IWA 2nd Specialized Conference „Nutrient management in wastewater treatment processes”, Kraków 6-9 September 2009, s. 87-95.
144. Obaja D., Macé S., Mata-Alvarez J.: Biological nutrient removal by a sequencing batch reactor (SBR) using an internal organic carbon source in digested piggery wastewater, *Biores. Technol.*, no 96, 2005, s. 7-14.
145. Obaja D., Macé S., Costa J., Sans C., Mata-Alvarez J.: Nitrification, denitrification and biological phosphorus removal in piggery wastewater using a sequencing batch reactor, *Biores. Technol.*, no 87, 2003, s. 103-111.
146. Oliveira R.P., Ghilardi J.A., Ratusznei S.M., Rodrigues J.A.D., Zaiat M., Foresti E.: Anaerobic sequencing batch biofilm reactor applied to automobile industry wastewater treatment: Volumetric loading rate and feed strategy effects, *Chem. Eng. Proc.*, no 47, 2008, s. 1374-1383.
147. Ong S.A., Lim P.E., Seng C.E.: Effects of adsorbents and copper (II) on activated sludge microorganisms and sequencing batch reactor treatment process, *J. Hazard. Mater.*, no 103(3), 2003, s. 263-277.
148. Ong S.A., Toorisaka E., Hirata M., Hano T.: Decolorization of azo dye (Orange II) in a sequential UASB-SBR system, *Sep. Pur. Technol.*, no 42, 2005, s. 297-302.
149. Ong S.A., Toorisaka E., Hirata M., Hano T.: Effects of nickel (II) addition on the activity of activated sludge microorganisms and activated sludge process, *J. Hazard. Mater.*, no 113, 1-3, 2004, s. 111-121.
150. Ozbas E.E., Tufekci N., Yilmaz G., Ovez S.: Aerobic and anaerobic treatment of fruit juice industry effluents, *J. Sci. Ind. Res.*, no 65, 2006, s. 830-837.
151. Quan X., Shi H., Wang J., Qian Y.: Biodegradation of 2,4-dichlorophenol in sequencing batch reactors augmented with immobilized mixed culture, *Chemosphere*, no 50, 2003, s. 1069-1074.
152. Panswad T., Iamsamer K., Anotai J.: Decolorization of azo-reactive dye by polyphosphate- and glycogen-accumulating organisms in an anaerobic-aerobic sequencing batch reactor, *Biores. Technol.*, no 76, 2001, s. 151-159.
153. Paździor K., Sójka-Ledakowicz J., Klepacz-Smółka A., Żyła R., Ledakowicz S., Mrozińska Z.: Integration of nanofiltration and biological processes for textile wastewater treatment, *Environ. Prot. Eng.*, no 35(2), 2009, s. 97-104.

154. Pereira N.S., Zaiat M.: Degradation of formaldehyde in anaerobic sequencing batch biofilm reactor (ASBBR), *J. Hazard. Materials*, no 163, 2009, s. 777-782.
155. Pijuan M., Yuan Z.: Development and optimization of a sequencing batch reactor for nitrogen and phosphorus removal from abattoir wastewater to meet irrigation standards, *IWA 2nd Specialized Conference „Nutrient management in wastewater treatment processes”*, Kraków 6-9 September 2009, s. 123-131.
156. Podedworna J., Żubrowska-Sudoł M.: Badania wstępne nad biodegradacją ścieków pralniczych, *GWiTŚ*, nr 4, 2007, s. 21-24.
157. Ra C.S., Lo K.V., Shin J.S., Oh J.S., Hong B.J.: Biological nutrient removal with an internal organic carbon source in piggery wastewater treatment, *Wat. Res.*, no 34(3), 2000, s. 965-973.
158. Rahman R.A., Anuar N.: Pentachlorophenol removal via adsorption and biodegradation, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, no 55, 2009, s. 194-199.
159. Ribarova I., Topalova J., Ivanov I., Kozuharov D., Dimkov R., Cheng C.: Anaerobic sequencing batch reactor as initiating stage in complete pentachlorophenol biodegradation, *Wat. Sci. Tech.*, no 46(1-2), 2002, s. 565-569.
160. Rodrigues A.C., Brito A.G., Melo L.F.: Posttreatment of a brewery wastewater using a sequencing batch reactor, *Water Environ. Res.*, no 73(1), 2001, s. 45-51.
161. Ruíz C., Torrijos M., Sousbie P., Lebrato M.J., Moletta R.: The anaerobic SBR process: Basic principles for design and automation, *Wat. Sci. Tech.*, no 43(3), 2001, s. 201-208.
162. Ruíz C., Torrijos M., Sousbie P., Lebrato M.J., Moletta R., Delgenés J.P.: Treatment of winery wastewater by an anaerobic sequencing batch reactor, *Wat. Sci. Tech.*, no 45(10), 2002, s. 219-224.
163. Sahinkaya E., Dilek F.B.: Effect of feeding time on the performance of a sequencing batch reactor treating a mixture of 4-CP and 2,4-DCP, *J. Environ. Manage.*, no 83, 2007, s. 427-436.
164. Sahinkaya E., Dilek F.B.: Modeling chlorophenols degradation in sequencing batch reactors with instantaneous feed-effect of 2,4-DCP presence on 4-CP degradation kinetics, *Biodegradation*, no 18, 2007, s. 427-437.
165. Samkutty P.J., McGrew P., Arauz J., Adkinson R.W.: Prediction of effluent biochemical oxygen demand in a dairy plant SBR wastewater system, *J. Environ. Sci. Health*, no A 35(2), 2000, s. 169-175.
166. Sanayei Y., Ismail N., Teng T.T., Morad N.: Biological treatment of reactive dye (Cibacron Yellow FN 2R) by sequencing batch reactor, *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, no 3(4), 2009, s. 4071-4077.
167. Sánchez A., Garrido J.M., Méndez R.: A comparative study of tertiary membrane filtration of industrial wastewater treated in a granular and a flocculent sludge SBR, *Desalination*, no 250, 2010, s. 810-814.
168. Sarfaraz S., Thomas S., Tewari U.K., Iyengar L.: Anoxic treatment of phenolic wastewater in sequencing batch reactor, *Wat. Res.*, no 38(4), 2004, s. 965-971.
169. Schwarzenbeck N., Borjes J.M., Wilderer P.A.: Treatment of dairy effluents in an aerobic granular sludge sequencing batch reactor, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, no 66(6), 2005, s. 711-718.

170. Schwarzenbeck N., Erley R., Mc Swain B.S., Wilderer P.A., Irvine R.L.: Treatment of malting wastewater in a granular sludge sequencing batch reactor (SBR), *Acta Hydrochim. Hydrobiol.*, no 32(1), 2004, s. 16-24.
171. Shaw C.B., Carliell C.M., Wheatley A.D.: Anaerobic/aerobic treatment of coloured textile effluents using sequencing batch reactors, *Wat. Res.*, no 36, 2002, s. 1993-2001.
172. Shengquan Y., Siyuan G., Hiu W.: High effective to remove nitrogen process in abattoir wastewater treatment, *Desalination*, no 222, 2008, s. 146-150.
173. Silva M.R., Coelho M.A.Z., Araújo O.Q.F.: Minimization of phenol and ammoniacal nitrogen in refinery wastewater employing biological treatment, *Engenharia Térmica, Edição Especial*, 2002, s. 33-37.
174. Sirianuntapiboon S.: Application of Granular Activated Carbon-Sequencing Batch Reactor (GAC-SBR) system for treating pulp and paper industry wastewater, *Thammasat Int. J. Sc. Tech.*, no 7(1), 2007, s. 20-29.
175. Sirianuntapiboon S., Boonchupleing M.: Effect of bio-sludge concentration on the efficiency of sequencing batch reactor (SBR) system to treat wastewater containing Pb^{2+} and Ni^{2+} , *J. Hazard. Mater.*, no 166(1), 2009, s. 356-364.
176. Sirianuntapiboon S., Manoonpong K.: Application of Granular Activated Carbon-Sequencing Batch Reactor (GAC-SBR) system for treating wastewater from slaughterhouse, *Thammasat Int. J. Sc. Tech.*, no 6(1), 2001, 16-25.
177. Sirianuntapiboon S., Sansak J., (2008). Treatability studies with granular activated carbon (GAC) and sequencing batch reactor (SBR) system for textile wastewater containing direct dyes, *J. Hazard. Materials*, no 159, 404-411.
178. Sirianuntapiboon S., Srisornak P.: Removal of disperse dyes from textile wastewater using bio-sludge, *Biores. Technol.*, no 98, 2007, s. 1057-1066.
179. Sirianuntapiboon S., Ungkaprasatcha O.: Removal of Pb^{2+} and Ni^{2+} by bio-sludge in sequencing batch reactor (SBR) and granular activated carbon-SBR (GAC-SBR) systems, *Biores. Technol.*, no 98(14), 2007, s. 2749-2757.
180. Sirianuntapiboon S., Yommee S.: Application of a new type of moving bio-film in aerobic sequencing batch reactor (aerobic-SBR), *J. Environ. Manag.*, no 78, 2006, s. 149-156.
181. Sirianuntapiboon S., Chairattanawan K., Rarunroeng M.: Biological removal of cyanide compounds from electroplating wastewater (EPWW) by sequencing batch reactor (SBR) system, *J. Hazard. Mater.*, no 154(1-3), 2008, s. 526-534.
182. Sirianuntapiboon S., Chairattanawan K., Surasinanant P.: Some properties of a sequencing batch reactor for treatment of wastewater containing thiocyanate compounds, *J. Environ. Manag.*, no 85(2), 2007, s. 330-337.
183. Sirianuntapiboon S., Jeeyachok N., Larplai R.: Sequencing batch reactor biofilm system for treatment of milk industry wastewater, *J. Environ. Manag.*, no 76, 2005, s. 177-183.
184. Sirianuntapiboon S., Sadahiro O., Salee P.: Some properties of a granular activated carbon-sequencing batch reactor (GAC-SBR) system for treatment of textile wastewater containing direct dyes, *J. Environ. Manag.*, no 85, 2007, s. 162-170.
185. Solecka M., Ledakowicz S.: Biologiczne procesy oczyszczania barwnych ścieków włókienniczych, *Biotechnologia*, nr 2(69), 2005, s. 103-124.
186. Sroka E., Kamiński W., Bohdziewicz J.: Biological treatment of meat industry wastewater, *Desalination*, no 162, 2004, s. 85-91.

187. Styka W., Banaś J.: Rozwój technologii SBR w ostatnim 20-leciu. I Kongres Inżynierii Środowiska. Referaty problemowe, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, nr 12, 2002, s. 363-390.
188. Su J.J., Kung C.M., Lin J., Lian W.C., Wu J.F.: Utilization of sequencing batch reactor for *in situ* piggery wastewater treatment, J. Environ. Sci. Health A, no 32(2), 1997, s. 391-405.
189. Tarlan E., Yetis U., Dilek F.B.: Algal treatment of pulp and paper industry wastewaters in SBR systems, Wat. Sci. Tech., no 45(12), 2002, s. 151-158.
190. Thonglimp V., Srisuwan G., Jkaew P.: Treatment of industrial latex wastewater by activated sludge system, PSU-UNS International Conference on Engineering and Environment – ICEE2005, Serbia & Montenegro, Novi Sad 19-21 May 2005.
191. Tilche A., Bortone G., Malaspina F., Piccinini S., Stante L.: Biological nutrient removal in a full-scale SBR treating piggery wastewater: results and modelling, Wat. Sci. Tech., no 43(3), 2001, s. 363-371.
192. Tilche A., Bacilieri E., Bortone G., Malaspina F., Piccinini S., Stante L.: Biological phosphorus and nitrogen removal in a full scale sequencing batch reactors treating piggery wastewater, Wat. Sci. Tech., no 40(1), 1999, s. 199-206.
193. Tomaszek J.A.: Azot i fosfor w środowisku i technologiach środowiskowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006.
194. Tomei M.C., Annesini M.C., Bussoletti S.: 4-nitrophenol biodegradation in a sequencing batch reactor: kinetic study and effect of filling time, Wat. Res., no 38, 2004, s. 375-384.
195. Tomei M.C., Annesini M.C., Luberti R., Cento G., Senia A.: Kinetics of 4-nitrophenol biodegradation in a sequencing batch reactor, Wat. Res., no 37, 2003, s. 3803-3814.
196. Torrijos M., Moletta R.: Winery wastewater depollution by sequencing batch reactor, Wat. Sci. Tech., no 35(1), 1997, s. 249-257.
197. Torrijos M., Vuitton V., Moletta R.: The SBR process: An efficient and economic solution for the treatment of wastewater at small cheesemaking dairies in the Jura mountains, Wat. Sci. Tech., no 43(3), 2001, s. 373-380.
198. Tran H.-T., Kim D.-H., Jia Y.-H., Oh S.-J., Ahn D.-H.: A Study on start-up operation of Fixed-bed Biofilm Sequencing Batch Reactor (FbSBR) for piggery wastewater treatment, J. Ind. Eng. Chem., no 13, 6, 2007, s. 985-991.
199. Tripathi C.S., Allen D.G.: Comparison of mesophilic and thermophilic aerobic biological treatment in sequencing batch reactors treating bleached kraft pulp mill effluent, Wat. Res., no 33(3), 1999, s. 836-846.
200. Tsang Y.F., Hua F.L., Chua H., Sin S.N., Wang Y.J.: Optimization of biological treatment of paper mill effluent in a sequencing batch reactor, Biochem. Eng. J., no 34, 2007, s. 193-199.
201. Tzou W.Y., Chiou C.F., Liu Y.C., Wu H.S., Horng R.Y., Chen C.H., Shao H., You H.S., Cheng S.S.: A pilot plant study of aerobic and anaerobic selectors to control bulking in an activated sludge to treat PET wastewater, 6th IAWQ Asia-Pacific Regional Conference, Seoul, Korea 1997, s. 632-639.
202. Vargas A., Moreno-Andrade I., Buitrón G.: Controlled backwashing in a membrane sequencing batch reactor used for toxic wastewater treatment, J. Membrane Sci., no 320, 2008, s. 185-190.

203. Venkata Mohan S., Chandrasekhara Rao N., Sarma P.N.: Low-biodegradable composite chemical wastewater treatment by biofilm configured sequencing batch reactor (SBBR), *J. Hazard. Mater.*, no 144, 2007, s. 108-117.
204. Venkata Mohan S., Chandrasekhara Rao N., Sarma P.N.: Simulated acid azo dye wastewater treatment Rusing suspended growth configured sequencing batch reactor (SBR) under anoxic-aerobic-anoxic microenvironment, *Appl. Ecol. Environ. Res.*, no 7(1), 2009, s. 25-34.
205. Vetter R.L., Pehrson R., Hubbell S.B.: IFAS media in a sequencing batch reactor for nitrification and denitrification of high strength wastewater, *Proc. of the „WEFTEC 2006 – 79th Annual Technical Exhibition and Conference”*, Dallas 21-25 October 2006.
206. Vijaya Bhaskar Y., Venkata Mohan S., Sarma P.N.: Effect of substrate loading rate of chemical wastewater on fermentative biohydrogen production in biofilm configured sequencing batch reactor, *Biores. Technol.*, no 99, 2008, s. 6941-6948.
207. Villaverde S., García Encina P.A., Lacalle M.L., Fdz-Polanco F.: New operational strategy for SBR technology for total nitrogen removal from industrial wastewaters highly loaded with nitrogen, *Wat. Sci. Tech.*, no 41(12), 2000, s. 85-93.
208. Vives M.T., Balaguer M.D., García S., García R., Colprim J.: Textile dyeing wastewater treatment in a sequencing batch reactor system, *J. Environ. Sci. Health A*, no 38(10), 2003, s. 2089-2099.
209. Wang S.G., Liu X.W., Gong W.X., Gao B.Y., Zhang D.H., Yu H.Q.: Aerobic granulation with brewery wastewater in a sequencing batch reactor, *Biores. Technol.*, no 98(11), 2007, s. 2142-2147.
210. Wang S.G., Liu X.W., Zhang H.Y., Gong W.X., Sun X.F., Gao B.Y.: Aerobic granulation for 2,4-dichlorophenol biodegradation in a Sequencing Batch Reactor, *Chemosphere*, no 69(5), 2007, s. 769-775.
211. Weidhaas J.L., Schroeder E.D., Chang D.P.Y.: An aerobic sequencing batch reactor for 2,4,6-trinitrophenol (picric acid) biodegradation, *Biotechnol. Bioeng.*, no 97(6), 2007, s. 1408-1414.
212. Wen X.H., Fu L.Y., Qian Y.: The performance of a two-stage SBR system in treating dye containing wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, no 47(1), 2003, s. 291-296.
213. Wichern M., Lübken M., Horn H.: Optimizing sequencing batch reactor (SBR) operation for treatment of dairy wastewater with aerobic granular sludge, *Wat. Sci. Tech.*, no 58(6), 2008, s. 1199-1206.
214. Wilderer P.A., Irvine R.L., Goronszy M.C.: Sequencing Batch Reactor technology. Scientific and Technical Report No 10, IWA Publishing, London 2001.
215. Woolard C.R., Irvine R.L.: Treatment of hypersaline wastewater in the sequencing batch reactor, *Wat. Res.*, no 29(4), 1995, s. 1159-1168.
216. Wu X., Yao W., Zhu J.: Effect of pH on continuous biohydrogen production from liquid swine manure with glucose supplement Rusing anaerobic sequencing batch reactor, *Int. J. Hydrogen Energy*, no 35, 2010, s. 6592-6599.
217. Xing M.Y., Can D., Godefroid B., Yang J.: Treatment of pharmaceutical wastewater containing recalcitrant compounds in a Fenton-coagulation process, *J. Environ. Sci.*, no 18(3), 2006, s. 459-463.
218. Xu H., Liu Y.: Mechanisms of Cd^{2+} , Cu^{2+} and Ni^{2+} biosorption by aerobic granules, *Sep. Pur. Technol.*, no 58(3), 2008, s. 400-411.

219. Yi S., Zhuang W.Q., Wu B., Tay S.T., Tay J.H.: Biodegradation of p-nitrophenol by aerobic granules in a sequencing batch reactor, *Environ. Sci. Technol.*, no 40(7), 2006, s. 2396-2401.
220. Yilmaz G., Lemaire R., Keller J., Yuan Z.: Simultaneous nitrification, denitrification and phosphorus removal from nutrient-rich industrial wastewater using granular sludge, *Biotechnol. Bioeng.*, no 15, 2008, s. 529-541.
221. Yoong E.T., Lant P.A.: Biodegradation of high strength phenolic wastewater using SBR, *Wat. Sci. Tech.*, no 43(3), 2001, s. 299-306.
222. Yoong E.T., Lant P.A., Greenfield P.F.: *In situ* respirometry in an SBR treating wastewater with high phenol concentrations, *Wat. Res.*, no 34(1), 2000, s. 239-245.
223. Yu H.Q., Gu G.W., Song L.P.: The effect of fill mode on the performance of Sequencing Batch Reactors treating various wastewaters, *Biores. Technol.*, no 58(1), 1996, s. 49-55.
224. Yu H.Q., Wilson F., Tay J.H., Gu G.W.: Effects of addition of ferric hydroxide or powered activated carbon on sequencing batch reactors treating coke-plant wastewater, *J. Environ. Sci. Health A*, no 32(5), 1997, s. 1605-1619.
225. Yu H.Y., Yao L., Ye Z.F.: Aerobic granulation for dimethyl phthalate biodegradation in a sequencing batch reactor, *Huan Jing Ke Xue*, no 30(9), 2009, s. 2661-2666.
226. Zhan P., Chen J., He G., Fang G., Shi Y.: Microbial dynamics in a Sequencing Batch Reactor treating alkaline peroxide mechanical pulp and paper process wastewater, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, no DOI10.1007/s11356-010-0348-5, 2010.
227. Zhan X., Healy M.G., Li J.P.: Nitrogen removal from slaughterhouse wastewater in a sequencing batch reactor under controlled low DO conditions, *Bioprocess Biosyst. Eng.*, no 32, 2009, s. 607-614.
228. Zhang Z.J., Zhu J., King J., Li W.H.: A two-step fed SBR for treating swine manure, *Process Biochem.*, no 41, 2006, s. 892-900.
229. Zilverentant A.G.: Pilot-testing, design and full-scale experience of a sequencing batch reactor system for the treatment of the potentially toxic waste water from a road and rail car cleaning site, *Wat. Sci. Tech.*, no 35(1), 1997, s. 259-267.

USE OF THE SEQUENCING BATCH REACTORS TO INDUSTRIAL WASTEWATERS TREATMENT

Abstract

The use of the activated sludge technology in the sequencing batch reactors SBR is particularly purposeful to the treatment of chosen industrial wastewaters. The aim of the paper was the collection of possibly how the most information on the subject of the industrial wastewaters treatment in the sequencing batch reactors. A literature review of industrial wastewaters treatment in conventional and innovative solutions of SBR reactors was presented.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w lipcu 2011 r.