

Przeгляд Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 58, 2012: 316–328
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 58, 2012)

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 58, 2012: 316–328
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 58, 2012)

Tadeusz SIWIEC

Oczyszczanie ścieków dowożonych w reaktorach sekwencyjnych SBR

Treatment of wastewater delivered to sequencing reactors SBR

Słowa kluczowe: oczyszczanie ścieków, reaktory SBR, ścieki dowożone

Key words: wastewater treatment, SBR reactors, wastewater delivered

Wprowadzenie

W wielu regionach Polski władze gmin borykają się z trudnościami związanymi z gospodarką ściekową. Mają do dyspozycji różne warianty rozwiązań, do których można zaliczyć: zastosowanie zbiorników bezodpływowych i wywóz zbieranych w nich ścieków do najbliższej oczyszczalni, zastosowanie bardzo małych oczyszczalni, tzw. oczyszczalni przyzagrodowych (np. drenaże rozsączające, filtry gruntowe i oczyszczalnie roślinne) oraz wybudowanie sieci kanalizacyjnej doprowadzającej ścieki do profesjonalnej oczyszczalni. Ostatni sposób, choć nie najtańszy, jest zdecydowanie najlepszy zarówno ze względów eksploatacyjnych, jak i z powodu stosunkowo małego negatywnego oddziaływania na środowisko.

W gminach, w których do tej pory nie rozwiązano problemu odprowadzenia i oczyszczenia ścieków i które mają niewielkie zasoby finansowe, powstaje dylemat, co robić w pierwszej kolejności. Aby wybór był racjonalny, należy najpierw wykonać projekt skanalizowania gminy dla ilości ścieków obliczonej dla gminy przy obecnym stanie zaludnienia oraz obecnym stanie infrastruktury technicznej, a także obliczonej dla okresu perspektywicznego. Idealnym rozwiązaniem jest wykonanie tych obliczeń z rozdzieleniem ich na tzw. bliską (około 10 lat) i daleką perspektywę (około 25 lat). To rozdzielenie znakomicie ułatwi zaprojektowanie oczyszczalni i zaplanowanie jej etapowego budowania. Jak wiadomo, budowanie i wyposażanie oczyszczalni we wszystkie urządzenia docelowe jest marnotrawstwem, gdyż zanim osiągnie ona pełne dociążenie (po wybudowaniu całej sieci kanalizacyjnej) część urządzeń będzie już dawno po okresie gwarancji.

W projekcie należy rozplanować przebieg głównych odcinków sieci ka-

nalizacyjnej, z wyborem systemu transportu (grawitacyjny, ciśnieniowy, podciśnieniowy) oraz obliczeniem średnic rur, co pozwoli oszacować orientacyjne koszty całości przedsięwzięcia. To oszacowanie pozwoli określić niezbędną kwotę, jaka będzie potrzebna do włączenia do pracy systemu, czyli wybudowanie oczyszczalni wraz z najbliższymi, głównymi odcinkami sieci, szczególnie prowadzącymi do największych dostawców ścieków. Najlepszym rozwiązaniem jest równoległe budowanie oczyszczalni ścieków i sieci kanalizacyjnej, tak aby rozruch oczyszczalni można było przeprowadzić z wykorzystaniem dopływających ścieków. Z reguły sytuacja rzeczywista znacząco odbiega od idealnej i powstaje oczyszczalnia, której rozruch realizowany jest za pomocą ścieków dowożonych, gdyż często się zdarza, że duży wysiłek finansowy gminy, poniesiony podczas budowy oczyszczalni, odsuwa w czasie budowę sieci.

Rozruch, a czasem wielomiesięczna eksploatacja oczyszczalni przy dostarczaniu jedynie ścieków dowożonych jest okresem bardzo trudnym. Ścieki takie charakteryzują się wysokim stopniem zagęszczenia, co przejawia się wysokimi stężeniami BZT₅, ChZT, zawiesin ogólnych, a często wysokimi stężeniami biogenów, oraz wykazują wysoki stopień zagnicia i niski odczyn. Dodatkowo, jeśli zbiornik bezodpływowy na terenie posesji nie jest zbyt szczelny, ścieki są na tyle gęste, że aby proces oczyszczania można było zrealizować, trzeba je rozcieńczać wodą lub ściekami już oczyszczonymi.

W ramach niniejszego opracowania została dokonana ocena możliwości i efektywności oczyszczania ścieków dowożonych w oczyszczalni w Niepru-

szewie, pracującej w technologii SBR, przy oczyszczaniu jedynie ścieków dowożonych.

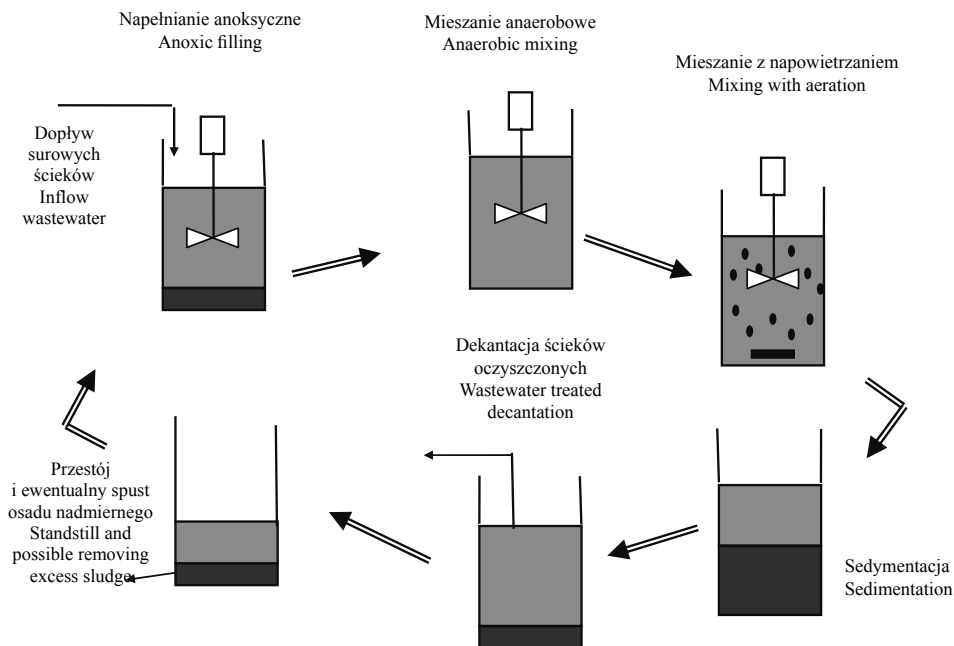
Charakterystyka reaktorów SBR

Istota pracy reaktorów SBR (*Sequencing Batch Reactor*) polega na przeprowadzeniu w jednym zbiorniku wszelkich procesów biologicznego oczyszczania ścieków wraz z procesami sedymentacji osadów i wypompowaniem oczyszczonych ścieków oraz osadu nadmiernego. Procesy te przebiegają w jednym zbiorniku, lecz są względem siebie przesunięte w czasie. Przykładowy przebieg pracy reaktora SBR jest przedstawiony na rysunku 1.

Reaktor SBR pracuje w cyklu kołowym. Początkowo odbywa się wpompowywanie ścieków surowych. Podczas tej fazy mieszadło miesza zawartość komory, czyli ścieki surowe i pozostający po poprzednim cyklu osad czynny wraz z pewną ilością ścieków oczyszczonych. Dostarczanie ścieków surowych, a z nimi węgla organicznego sprzyja denitryfikowaniu azotanów pozostających w ściekach oczyszczonych i ucieczce azotu gazowego do atmosfery.

Po napełnieniu komory następuje mieszanie jej zawartości, trwające 1–2 godziny. Wówczas spada stężenie tlenu do wartości zerowej i tworzą się warunki anaerobowe, sprzyjające rozkładowi związków organicznych, powstawanie lotnych kwasów tłuszczowych (LKT) i poli-β-hydroksymaślanów PHB. W tej części cyklu zachodzi także uwalnianie ortofosforanów.

Po zakończeniu mieszania anaerobowego włączane są urządzenia napo-



RYSUNEK 1. Przykładowy schemat pracy reaktora SBR [Poradnik eksploatora... 1997]
 FIGURE 1. Layout of acting SBR reactor

wietrzające i rozpoczyna się proces aerobowy (tlenowy). Wówczas zachodzi tlenowy rozkład związków organicznych, który przejawia się dalszym obniżaniem stężenia BZT₅ oraz zachodzi proces nityfikacji, który polega na utlenianiu związków amonowych – początkowo do azotynów, a następnie do azotanów. Proces ten wymaga nadwyżki tlenu, stąd konieczne jest intensywne napowietrzanie ścieków. Również w tej fazie, w warunkach tlenowych, zachodzi rozwój bakterii fosforowych, które wykorzystując PHB, wykazują zdolność wbudowywania do swojej struktury znacznej ilości fosforu, powodując obniżenie jego stężenia w roztworze. Efektem końcowym procesu mieszania aerobowego jest obniżenie stężenia BZT₅, azotu amonowego i fosforu, a wzrost stężenia azotanów.

W przypadku konieczności usuwania azotu wprowadza się naprzemiennie natlenianie i mieszanie, które pozwala na zrealizowanie procesu nityfikacji i denityfikacji. Realizacja procesu bez utrzymywania warunków anoksydacyjnych [Kulikowska i in. 2007] nie tylko nie usuwa azotu ze ścieków, ale również pogarsza skuteczność obniżania stężenia ChZT.

Po zakończeniu całego cyklu oczyszczania ścieków wyłącza się zarówno mieszadło, jak i układ napowietrzania i w tym samym zbiorniku zaczyna przebiegać proces sedymentacji osadu. Podczas tego procesu osad złożony z mikroorganizmów osiada powoli na dno, zagęszczając się, co powoduje powiększanie w górnej części warstwy klarownych i oczyszczonych ścieków. Ze względu na to, że podczas sedymentacji powoli, lecz

nieuchronnie obniża się stężenie tlenu, mogą się rozpocząć procesy, które przebiegają podczas następnych operacji: pozytywny – denitryfikacja azotanów do azotu gazowego, oraz negatywny – obumieranie bakterii fosforowych, i w ten sposób uwalnianie ortofosforanów. Drugi z wymienionych procesów skutkuje wzrostem stężenia fosforanów w ściekach oczyszczonych. Ze względu na ten proces sedymentacja powinna przebiegać w miarę krótko. Skrócenie czasu sedymentacji oraz lepszą efektywność procesu oczyszczania ścieków można uzyskać, stwarzając warunki powstawania granulowanego osadu czynnego [Beun i in. 1999, Cassidy i Belia 2005, Liu i in. 2005]

Kolejną fazą jest wypompowanie sklarowanej wierzchniej warstwy oczyszczonych ścieków. Proces ten realizowany jest za pomocą różnego typu dekanterów. Po zdekantowaniu oczyszczonych ścieków, w zależności od potrzeb, okresowo wypompowuje się nadmiar osadu, tak aby pozostała ilość była właściwa dla nowej porcji ścieków.

Kategorią projektowymi charakterystycznych reaktorów są: objętość komór reaktora, długość całego cyklu oraz poszczególne fazy reakcji oraz rodzaj urządzeń do napowietrzania i mieszania [Bartkowska i Dzienis 1995].

Objętość komór reaktora wiąże się nierozdzielnie z sumaryczną długością cyklu oczyszczania ścieków, ilością wpompowywanych ścieków surowych oraz wymaganą objętością ścieków i osadu, jakie muszą pozostać po poprzednim cyklu (współczynnik objętości dekantacji). Przyrosty osadu oraz efekt obniżania stężenia ChZT zależą od rodzaju sterowania i wieku osadu [Kuli-

kowska i in. 2007]. Czas przetrzymania ścieków, czyli długość cyklu nie jest jednoznaczny. Doniesienia literaturowe nie dają spójnych poglądów. Zalecane lub zastosowane w badaniach długości cykli wynoszą: 6 godzin [Johansen i in. 1997], 6–12 godzin [Liao i Lee 1997], 12 godzin [Czerska i in. 1996, Belia i Smith 1997], 14 godzin [Sarioglou 2005] i 24 godziny [Andreottola i in. 1997], i zależą od wielkości oczyszczalni. W przypadku dużych dopływów ścieków, a więc wtedy, gdy pracować będą równoległe dwa (lub więcej) reaktory, zachowując powtarzalność dobową, widać, że przy dwóch reaktorach możliwe są cykle 12-godzinne, natomiast przy większej liczbie możliwe są inne kombinacje. W przypadku bardzo małych miejscowości ekonomicznie uzasadnione jest zainstalowanie jednego reaktora, który będzie pracował w cyklu dobowym. Ze względu na duże nierównomierności dopływu ścieków proces oczyszczania w cyklu dobowym realizowany jest tak, że sedymentacja, dekantacja i ewentualne usuwanie nadmiaru osadu, czyli tzw. czas przestoju, powinien wypadać na godziny nocne, czyli kiedy dopływ ścieków jest minimalny. Po tych procesach reaktor jest gotowy na przyjmowanie nowych porcji ścieków w ciągu całego dnia. Oczywiście w takim przypadku objętość komory reaktora musi być nie mniejsza niż sumaryczna dobową ilość ścieków spływających z danej jednostki osadniczej, z uwzględnieniem ścieków i osadu pozostającego w reaktorze po poprzednim cyklu.

Przepompownie w oczyszczalniach SBR pełnią bardzo ważną rolę przetrzymywania ścieków surowych w okresach przestoju. Przetrzymywanie to daje po-

zytywny efekt, gdy istnieje konieczność znacznego obniżenia stężenia fosforu. Podczas przetrzymywania ścieków w zbiorniku przepompowni zachodzą procesy fermentacji kwaśnej, z wydzielaniem lotnych kwasów tłuszczowych, i tworzenie PHB, które przy odpowiednio dobranych parametrach [Danesh i Oleszkiewicz 1997] pozwoliły na redukcję fosforu do poziomu poniżej $0,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

Do napowietrzania ścieków stosuje się zwykle dwa typy rozwiązań – napowietrzanie drobnopęcherzykowe głębokie i napowietrzanie powierzchniowe. Napowietrzanie drobnopęcherzykowe polega na doprowadzeniu rurociągami sprężonego powietrza do dna komory i tam rozproszeniu na drobne pęcherzyki, które unosząc się do góry, natleniają ścieki. Do tego celu można wykorzystać dyski przeponowe lub dyfuzory rurowe. Rozwiązania takie mają bardzo dużą efektywność i sprawdzają się w przepływowych oczyszczalniach. W reaktorach SBR natomiast nie są pomocne podczas realizacji cyklu mieszania anaerobowego. Dlatego podczas przebiegu procesów beztlenowych należy zastosować dodatkowe mieszadło, które będzie wywoływało ruch cyrkulacyjny ścieków bez natleniania.

Alternatywnym rozwiązaniem jest zastosowanie napowietrzaczy powierzchniowych, których konstrukcja umożliwia zarówno natlenianie, jak i mieszanie. Do tego celu stosowana jest turbina, która dzięki łopatom specjalnej konstrukcji może realizować obydwie procesy jedynie poprzez zmianę prędkości obrotowej. Silnik turbiny napędzany jest za pośrednictwem przetwornicy częstotliwości [ELSTAR-BIO]. Turbina ma

dwa rodzaje sterowania. Pierwsze, podczas fazy aerobowej, polega na sterowaniu turbiny sondą tlenową, co utrzymuje na zadanym poziomie stężenie tlenu rozpuszczonego w ściekach. Jeśli stężenie tlenu jest zbyt wysokie, wówczas wirnik w silniku zmniejsza prędkość obrotową i turbina zwalnia, natomiast jeśli stężenie tlenu jest zbyt niskie wówczas przyspiesza, zwiększając rozbryzg. Drugi rodzaj sterowania polega na zadawaniu przez sterownik określonej, odpowiednio małej prędkości obrotowej w fazie anaerobowej i anoksydacyjnej, dzięki czemu ścieki są mieszane bez natleniania. Wówczas sonda tlenowa nie wpływa na działanie turbiny. Po powrocie do fazy napowietrzania turbina znów jest sterowana sondą tlenową [ELSTAR-BIO].

Jednym z ważniejszych warunków prawidłowego działania reaktorów SBR jest wyposażenie ich w układ sterowniczy, umożliwiający łatwą korektę długości czasu mieszania i napowietrzania. Korekta jest wymagana, gdyż podczas procesu oczyszczania zmieniają się warunki (np. natężenie dopływu ścieków, ładunki i temperatura ścieków). Przykładowy procentowy udział poszczególnych faz w cyklu 6-godzinnym, według Johansena i innych [1997], przedstawia się następująco: 14% – napełnianie anoksydacyjne, 3% – mieszanie, 11% – mieszanie z napowietrzaniem, 6% – mieszanie, 24% – mieszanie z napowietrzaniem, 3% – mieszanie, 10% – mieszanie z napowietrzaniem, 13% – sedymentacja, 15% – dekantacja, 1% – przestój. W innych badaniach [Andreottola i in. 1997] zastosowano cykl 24-godzinny, w którym początkowo cykle mieszania i napowietrzania ustawiono tak, że mieszanie trwało 3,5 godzinny, a napowietrzanie

– 4 godzinny i tak powtarzano 3 razy. Z badań wynikało, że przy zastosowaniu 7,5-godzinnego cyklu jednostkowego lepszy podział czasu był przy 3,3-godzinnym mieszaniu i 4,2-godzinnym napowietrzaniu.

W małych reaktorach SBR, pracujących w cyklu 24-godzinnym, należy się liczyć z tym, że od wczesnych godzin rannych do późnych wieczornych, czyli niemal całą dobę, będą dopływały ścieki, które muszą być ciągle oczyszczane. Dlatego cykle mieszania anaerobowego (anoksycznego) i napowietrzania powinny być stosunkowo krótkie i przeplatać się wzajemnie. Wówczas nawet ścieki, które będą dopływać pod koniec cyklu, mają szansę przejść zarówno proces bez-tlenowy, jak i tlenowy.

Opis analizowanej oczyszczalni

Analiza skuteczności oczyszczania ścieków dowożonych została dokonana na podstawie układu technologicznego oraz wyników analizy ścieków

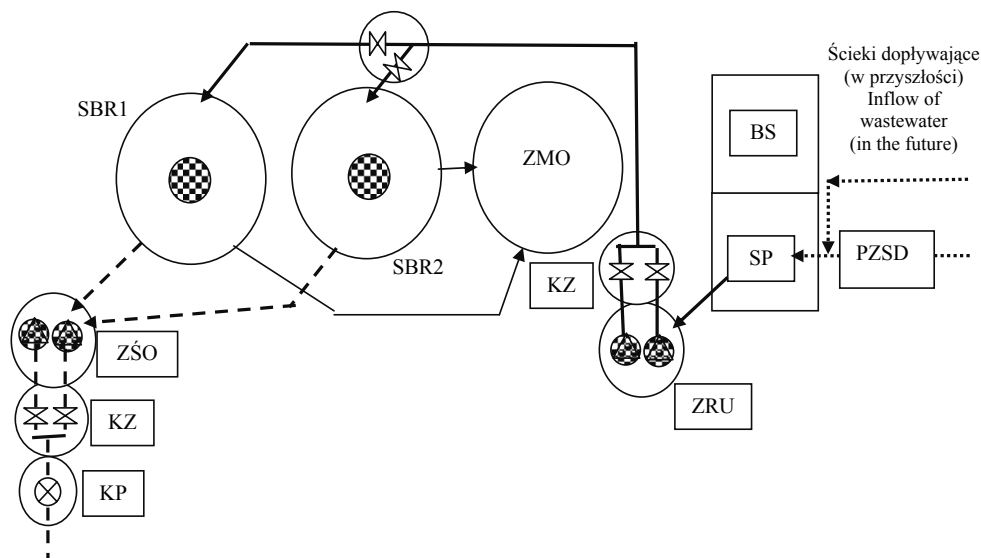
pochodzących z oczyszczalni w Niepruszewie. Obiekt wybudowany przez firmę ELSTAR-BIO GÓRNY dostosowany jest do przyjęcia $Q_{srd} = 350 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, w tym $50 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ ścieków dowożonych taborem asenizacyjnym. W pierwszym etapie, jako przejściowym, z uwagi na brak sieci kanalizacyjnej przewidywano, że oczyszczalnia będzie pracować, oczyszczając tylko ścieki dowożone wozami asenizacyjnymi w ilości $Q_{srd} = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Założone zgodnie z projektem technicznym parametry ścieków surowych oraz oczyszczonych zostały przedstawione w tabeli 1.

Ciąg technologiczny, złożony z urządzeń omówionych poniżej, został pokazany na rysunku 2 [Instrukcja obsługi... 2008].

Punkt zlewny ścieków dowożonych (PZSD) wykonany jest jako szczelne przyłącze taboru asenizacyjnego z kolektorem zrzutowym. Kolektor zrzutowy wyposażony jest w układ pomiarowy, który mierzy ilość spływających ścieków oraz ich odczyn i przewodnictwo. Zidentyfikowanie ścieków o parame-

TABELA 1. Założone parametry ścieków surowych oraz oczyszczonych [Instrukcja obsługi... 2008]
TABLE 1. Design parameters of raw and treated wastewater

Parametr Parameters	Jednostka Unit	Ścieki surowe – dopływ Raw wastewater – inflow	Ścieki surowe – dowóz Raw wastewater – deliver	Ścieki oczysz- czone Treater waste- water	Minimalny stopień redukcji [%] Minimum reduce
BZT ₅ /BOD	mg O ₂ ·dm ⁻³	360	815	25	70
Zawiesina ogólna Total suspension	mg·dm ⁻³	350	937	35	90
ChZT/COD	mg O ₂ ·dm ⁻³	900	2092	125	75
Azot ogólny Total nitrogen	mg N·dm ⁻³	80	403	15	–
Fosfor ogólny Total phosphorus	mg P·dm ⁻³	16	23,8	2	–



RYSUNEK 2. Schemat technologiczny oczyszczalni w Niepruszewie: BS – budynek socjalny, SP – si-topiaskownik, ZRU – zbiornik retencyjno-uśredniający, KZ – komora zasuw, ZMO – zbiornik magazynowy osadu, SBR1 i SBR2 – reaktory, ZŚO – zbiornik ścieków oczyszczonych, KP – komora pomiarowa, – ścieki surowe, — – ścieki podczyszczone mechanicznie, - - - – ścieki oczyszczone, — — — – osad nadmierny, ⊗ – turbina [Instrukcja obsługi... 2008]

FIGURE 2. Technological scheme of wastewater treatment plant in Niepruszewo: BS – building, SP – strainer with grit trap, ZRU – storage tank, KZ – gate valve chamber, ZMO – sludge tank, SBR/SBR reactors, ZŚO – treated wastewater tank, KP – measuring chamber, – raw wastewater, — — — – wastewater primary treated, - - - – treated wastewater, — — — — – excess sludge, ⊗ – turbine

trach przekraczających wartości zadane uruchamia automatycznie pneumatyczną zasuwę odcinającą, co uniemożliwia odbiór ścieków zagrażających osadowi czynnemu. Panel operatorski za pomocą karty magnetycznej umożliwia identyfikację dostawcy, ewidencję dostarczonych ścieków i drukowanie zestawień ilościowych.

Stacja mechanicznego oczyszczania ścieków jest to zintegrowane sito z piaskownikiem (SP) typu ECO-COMBI 25, o przepustowości $25 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, produkcji firmy NOGGERATH. Na sicie o otworach rusztu 6 mm wyłapywane są wszelkie zanieczyszczenia stałe – skratki, które po odwodnieniu transportowane są do

pojemnika. W drugiej części urządzenia – w piaskowniku poziomym, separowane są zanieczyszczenia mineralne (piasek) i po odsączeniu wynoszone do drugiego pojemnika. Całe urządzenie, wykonane ze stali kwasoodpornej, usytuowane jest w budynku technicznym. Sterowanie urządzenia odbywa się w cyklu automatycznym, w zależności od poziomu ścieków w komorze sita i nastaw czasowych.

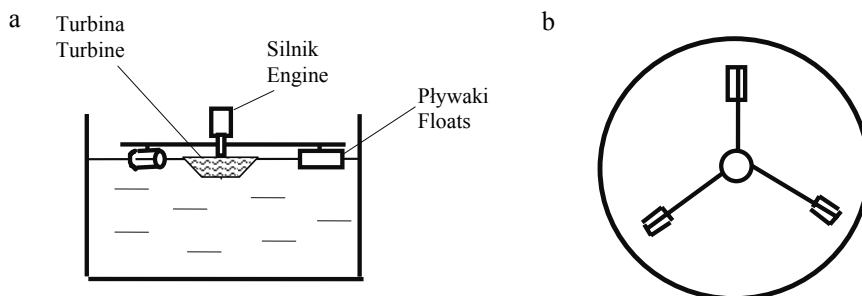
Zbiornik retencyjno-uśredniający (ZRU) wykonany jest jako okrągły zbiornik żelbetowy, przykryty, o średnicy 6,0 m, głębokości użytkowej 5,0 m oraz głębokości całkowitej 6,5 m. W zbiorniku tym zamontowane są dwie

pompy MS3-72Z, produkcji METAL-CHEM WARSZAWA, o wydajności $11,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, wysokości podnoszenia $H = 20,0 \text{ m}$ i mocy silnika $P = 7,5 \text{ kW}$, oraz mieszadło śmigłowe typu RW3022, firmy ABS, które miesza zawartość zbiornika przed włączeniem pomp. W zbiorniku znajduje się jeszcze hydrostatyczna sonda poziomu, która w sposób ciągły mierzy poziom ścieków. Ścieki ze zbiornika włączane są do reaktora tylko podczas fazy beztlenowej, a w przypadku napływu zbyt dużej ilości ścieków mogą być włączane także podczas innych faz mieszania.

Reaktory SBR1 i SBR2 wykonane są jako okrągłe zbiorniki żelbetowe, zagłębione w ziemi, o średnicy $D = 12,0 \text{ m}$ i wysokości całkowitej $H_c = 6,0 \text{ m}$, przykryte płytą żelbetową. W reaktorach odbywa się pełne biologiczne oczyszczanie ścieków na podstawie 24-godzinny proces osadu czynnego niskoobciążonego. Napowietrzanie ścieków w reaktorze odbywa się za pomocą turbiny TNE 2000, o wydajności $Q = 48 \text{ kg O}_2\cdot\text{h}^{-1}$, średnicy $D = 2000 \text{ mm}$ i mocy silnika $P = 30 \text{ kW}$. Turbina zamocowana jest na specjalnym systemie pływającym, który utrzymuje ją cały czas na tym samym za-

nurzeniu, bez względu na poziom ścieków w zbiorniku (turbina pływa) – rysunek 3.

Praca turbiny sterowana jest poprzez system komputerowy, który uwzględnia czas trwania poszczególnych faz oraz stężenie tlenu w mieszaninie ścieków z osadem. W fazie napowietrzania stężenie tlenu sterowane przez sondę tlenową utrzymywane jest za pomocą regulacji obrotów turbiny. Gdy stężenie tlenu spada, wtedy turbina obraca się szybciej, powodując bardziej intensywny rozbryzg i napowietrzanie ścieków, a gdy stężenie wzrasta, turbina obraca się wolniej. Podczas fazy mieszania turbina obraca się bardzo wolno, aby zapewnić jedynie mieszanie całej zawartości, bez rozbryzgu. Po zakończeniu fazy sedimentacji ścieki oczyszczone są wypompowywane z reaktorów za pomocą pomp ścieków oczyszczonych MS5-54Z produkcji METALCHEM WARSZAWA, o wydajności $37,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, wysokości podnoszenia $8,5 \text{ m}$ i mocy silnika $5,5 \text{ kW}$. Oczyszczone ścieki odprowadzane są kolektorami tłocznymi do zbiornika ścieków oczyszczonych. Turbina oraz silnik elektryczny, na stałe połączone ze sobą, są zamocowane na stalowej trójra-



RYSUNEK 3. Schemat reaktora SBR z aeratorem turbinowym na pływakach: a – przekrój pionowy, b – widok z góry [ELSTAR-BIO]

FIGURE 3. Layout of SBR reactor with turbine aerator on floats: a – vertical profile, b – view from above

miennej konstrukcji, która przymocowana jest do trzech pływaków.

Nadmiar osadu jest usuwany przez pompę spustu osadu typu MS1-34Z, produkcji METALCHEM WARSZAWA, o wydajności $Q = 15 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, wysokości $H = 9,5 \text{ m}$ i mocy $P = 3,0 \text{ kW}$. Osad nadmierny odprowadzany jest do zagęszczacza (zbiornika magazynowego osadu) po zakończeniu fazy sedymentacji i dekantacji.

Zbiornik ścieków oczyszczonych (ZSO) – oczyszczone ścieki z reaktorów odprowadzane są kolektorami tłocznymi do otwartego zbiornika żelbetowego o średnicy $D = 8,0 \text{ m}$ i wysokości całkowitej $H = 5 \text{ m}$. W zbiorniku tym zamontowana jest hydrostatyczna sonda poziomu, która w sposób ciągły mierzy poziom ścieków oczyszczonych w komorze, oraz dwie pompy MS3-52Z produkcji METALCHEM WARSZAWA, o wydajności $Q = 12,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, wysokości podnoszenia $H = 13,5 \text{ m}$ i mocy silnika $P = 5,5 \text{ kW}$, które tłoczą ścieki oczyszczone do odbiornika.

Zagęszczacz osadu (ZMO) – osad nadmierny z reaktorów jest odprowadzany do zbiornika żelbetowego o średnicy $D = 14,0 \text{ m}$ i wysokości całkowitej $H = 6 \text{ m}$, który jest wyposażony w dwa mieszadła typu RW 4032 firmy ABS. Zbiornik wyposażony jest w urządzenie do odprowadzania wody nadosadowej, która wraca do ciągu oczyszczania ścieków.

Składowisko osadu odwodnionego (nie pokazano na schemacie) – osad okresowo wybierany z zagęszczacza i odwadniany na przewoźnej prasie filtracyjnej może być składowany na składowisku osadu odwodnionego, które stanowi płyta żelbetowa o wymiarach

w rzucie $9,0 \times 7,0 \text{ m}$. Powstający odciek odprowadzany jest do przepompowni ścieków.

Budynek socjalno-techniczny (BS) – w budynku mieści się sterownia oczyszczalni wyposażona w centralny panel sterowniczy z wizualizacją i rejestracją procesu technologicznego, część socjalna, pomieszczenie stacji mechanicznego oczyszczania ścieków i pomieszczenie stacji dozowania PIX-u.

Stacja dozowania PIX-u (nie pokazano na schemacie) – składa się z dwóch zbiorników o pojemności 1 m^3 każdy, zintegrowanych z pompami typu Mini Dos, o wydajności $\max 24 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$ przy ciśnieniu $6,3 \text{ bara}$. Pompy te dozują koagulant do poszczególnych reaktorów. Zbiorniki usytuowane są w wannie stanowiącej zabezpieczenie na wypadek ich ewentualnego rozszczelnienia.

Wyniki badań i ich omówienie

Dla zobrazowania efektów oczyszczania ścieków w opisanej powyżej oczyszczalni w tabeli 2 zamieszczono wyniki badań podstawowych parametrów w ściekach surowych i oczyszczonych otrzymanych z urzędu gminy Niepruszewo. W kolumnie pierwszej podano daty badań. Jak widać oczyszczalnia dość długo pracuje z wykorzystaniem ścieków dowożonych, gdyż pierwsze analizy pochodzą z końca 2008 roku, czyli z rozruchu i pierwszych miesięcy eksploatacji, natomiast ostatnie – z różnych miesięcy 2011 roku. Kolumna druga przedstawia punkty poboru ścieków: „wlot” oznacza ścieki surowe, „wylot” – ścieki oczyszczone, R1 – wylot z reaktora SBR1, a R2 wylot z reaktora SBR2.

TABELA 2. Wyniki badań ścieków surowych i oczyszczonych
TABLE 2. The results of raw and treated wastewater

Data Date	Punkt pomiaru Measuring point	pH	Zawartość ogólna Total suspension [mg·dm ⁻³]	BZT ₅ BOD [mg O ₂ ·dm ⁻³]	ChZT COD [mg O ₂ ·dm ⁻³]	N _{og} N _{total} [mg·dm ⁻³]	P _{og} P _{total} [mg·dm ⁻³]
3.11.2008 r.	wlot	–	483,0	286,00	824,0	175,40	18,50
	wylot	–	11,0	2,50	36,5	14,95	0,70
15.07.2009 r.	wlot	7,52	670,0	569,90	1820,0	280,00	21,50
	wylot	7,48	< 2,0	8,40	27,6	11,20	1,20
02.10.2009 r.	wlot	–	–	–	–	–	–
	wylot	7,44	< 2,0	5,70	21,0	12,60	0,50
14.10.2009 r.	wlot	7,60	296,7	304,90	1066,0	148,00	18,90
	wylot	7,63	2,7	8,90	24,6	14,00	0,50
18.11.2009 r.	wlot	7,73	476,6	689,90	1784,0	137,00	22,00
	wylot	7,49	< 2,0	5,70	15,3	15,00	< 0,50
01.12.2009 r.	wlot	7,62	950,0	459,50	2173,0	131,00	22,00
	wylot	7,49	11,3	3,50	49,0	72,00	0,60
16.12.2009 r.	wlot	7,40	880,0	719,80	2155,0	195,00	31,20
	wylot	7,30	6,0	8,80	46,0	23,00	0,70
23.12.2009 r.	wyl. R1	7,40	4,0	8,30	49,0	4,20	0,50
	wyl. R2	7,60	26,6	9,80	60,0	9,40	2,10
23.02.2011 r.	wlot	7,30	166,0	240,00	696,0	157,00	12,70
	wylot	7,20	2,8	7,90	19,7	4,05	0,53
11.05.2011 r.	wlot	7,60	370,0	499,00	1040,0	>150,00	20,50
	wylot	7,70	16,0	1,60	45,0	3,30	< 0,30
09.08.2011 r.	wlot	7,60	428,0	423,00	1070,0	64,00	15,70
	wylot	7,70	15,0	5,04	30,6	5,20	0,40
11.10.2011 r.	wlot	–	–	327,00	762,0	144,00	12,90
	wylot	–	–	2,80	–	4,50	–

Pozostałe kolumny zawierają parametry, jakie były badane w ściekach.

Ścieki surowe (jak przystało na ścieki dowożone) wykazują dużą zmienność parametrów. I tak stężenia zawiesin wynosiły od 166 do 950 mg·dm⁻³. Dużą zmienność można zauważyć także w odniesieniu do BZT₅ – od 240 do 719,8 mg

O₂·dm⁻³, oraz w odniesieniu do ChZT – od 696 do 2173 mg O₂·dm⁻³. Dużym problemem w każdej oczyszczalni są znaczące wahania stężenia azotu. W analizowanej oczyszczalni odnotowano stężenia od 64 do aż 280 mg N·dm⁻³. Również widoczne wahania wystąpiły w odniesieniu do fosforu ogólnego,

jednak w oczyszczalniach, gdzie usuwanie fosforu jest wspomagane strącaniem chemicznym (PIX), można sobie z nim poradzić nawet przy wysokich jego stężeniach.

Mimo tak dużych wahań stężeń w ściekach surowych oczyszczalnia dobrze sobie radzi, gdyż w ściekach oczyszczonych w żadnym z przypadków w odniesieniu do zawiesin ogólnych (BZT₅ i ChZT) nie zostało przekroczone pozwolenie wodnoprawne. Również usuwanie fosforu ogólnego jest bardzo skuteczne i poza jednym niewielkim przekroczeniem stężenie tego wskaźnika utrzymuje się poniżej wartości określonej pozwoleniem wodnoprawnym (tab. 1, kolumna „ścieki oczyszczone”). Jak w każdej oczyszczalni, kluczowe jest usuwanie azotu ogólnego. Również tu w większości przypadków stężenie to jest niskie, lecz zdarza się, że jest bardzo bliskie granicy dopuszczalnej lub czasem ją przekracza. Przekroczenia zauważa się w listopadzie i grudniu, a więc w okresach niskiej temperatury. Jak wiadomo, niska temperatura jest czynnikiem bardzo niesprzyjającym usuwaniu azotu.

Podsumowanie

Reaktory SBR są dobrym rozwiązaniem przy oczyszczaniu wielu typów ścieków. Szczególnie korzystne są w oczyszczalniach w małych miejscowościach, gdzie dopływ ścieków jest nierównomierny, gdyż istotą działania takich reaktorów jest magazynowanie ścieków w dłuższych okresach (kilka i więcej godzin). Dodatkowo cykl pracy wymusza budowę sprawnej i o od-

powiedniej pojemności przepompowni ścieków surowych, co dodatkowo jest czynnikiem korzystnym dla całości procesu.

Rozruch wielu oczyszczalni, a czasem dalsza kilkuletnia praca związana z oczyszczaniem ścieków dowożonych wprowadza znaczne różnice w stosunku do późniejszej działalności. Z jednej strony ilość ścieków dowożonych jest zawsze mniejsza od ilości ścieków dopływających, a z drugiej strony stężenia ścieków dowożonych są czasem kilka razy większe niż ścieków dopływających. Do tego dochodzi fakt, że każdego dnia dowożone są ścieki z innych gospodarstw, które różnią się bardzo znacznie, gdyż mieszkańcy poszczególnych gospodarstw nie zachowują się jednakowo. Jedni bardzo oszczędzają wodę, inni mniej. Dlatego kluczem do końcowego sukcesu jest dobre zaprojektowanie, wybudowanie i eksploataowanie oczyszczalni, a w ostatniej fazie regularne wprowadzanie korekt w odniesieniu do czasu przebiegu różnych faz (anaerobowej, anoksycznej i tlenowej). Należy pamiętać, że nie ma gotowej recepty na prawidłowe ustawienie czasu poszczególnych faz cykli oczyszczania. Ma to związek z nieznaną charakterystyką ścieków surowych, to jest rzeczywistym ich dopływem, stężeniem zanieczyszczeń i nierównomiernością dopływu do oczyszczalni.

Jak wykazano za pomocą powyższych wyników analiz, nawet przy ściekach dowożonych można uzyskać tzw. efekt ekologiczny, czyli parametry ścieków zgodne z warunkami zawartymi w pozwoleniu wodnoprawnym, których wartości zostały podane w tabeli 1,

w kolumnie „ścieki oczyszczone”. Oczywiście największy problem stanowi azot, jednak przy dobrze dobranym czasie mieszania i natleniania ścieków można uzyskać zadowalające wyniki. Firma budująca tę oczyszczalnię przetestowała działania związane z oczyszczaniem ścieków dowożonych lub przy znacznym ich udziale we wcześniej wybudowanych oczyszczalniach (Ostrowite, Krzymów i inne) [Siwiec 2004].

W przyszłości konieczne jest rozważenie podniesienia skuteczności oczyszczania ścieków przez stosowanie granulowanych osadów czynnych [Beun i in. 1999, Cassidy i Belia 2005, Liu i in. 2005] lub dodatkowych specjalnych wypełnień zwiększających stopień zagęszczenia osadu czynnego [Rahimi i in. 2011], co będzie skutkowało zmniejszeniem kubatury reaktorów.

Literatura

- ANDREOTTOLA G., BORTONE G., TILCHE A. 1997: Experimental validation of a simulation and design model for nitrogen removal in sequencing batch reactors. *Water Science & Technology* 35, 1: 113–120.
- BARTKOWSKA I., DZIENIS L. 1995: Jedno-zbiornikowe oczyszczalnie ścieków. Kontenerowe i przydomowe oczyszczalnie ścieków oraz stacje uzdatniania wody. Materiały z VIII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”. Białystok: 219–226.
- BELIA E., SMITH P.G. 1997: The bioaugmentation of sequencing batch reactor sludges for biological phosphorus removal. *Water Science & Technology* 35, 1: 19–26.
- BEUN J.J., HENDRIKS A., Van LOOSDRECHT M.C.M., MORGENROTH E., WILDERER P.A., HEIJNENE J.J. 1999: Aerobic granulation in a sequencing batch reactor. *Water Research* 33, 10: 2283–2290.
- CASSIDY D.P., BELIA E. 2005: Nitrogen and phosphorus removal from an abattoir wastewater in a SBR with aerobic granular sludge. *Water Research* 39, 19: 4817–4823.
- CZERSKA B., MIKSCH K., PELCZAR J., PŁONKAL., SURMACZ-GÓRSKAJ. 1996: Biologiczna defosfatacja ścieków metodą osadu czynnego w systemie naprzemiennego napowietrzania. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 6: 230–234.
- DANESH S., OLESZKIEWICZ J.A. 1997: Use of a new anaerobic-aerobic sequencing batch reactor system to enhance biological phosphorus removal. *Water Science & Technology* 35, 1: 137–144.
- ELSTAR-BIO. Katalog firmy ELSTAR-BIO Sp. z o.o., Stare Miasto.
- Instrukcja obsługi oczyszczalni ścieków typu SBR w miejscowości Niepruszewo gmina Buk, 2008. Stare Miasto.
- JOHANSEN N.H., ANDERSEN J.S., la COUR JANSEN J. 1997: Optimum operation of a small sequencing batch reactor for BOD and nitrogen removal based on on-line our-calculation. *Water Science & Technology* 35, 6: 29–36.
- KULIKOWSKA D., KLIMIUK E., DRZEWICKI A. 2007: BOD₅ and COD removal and sludge production in SBR working with or without anoxic phase. *Bioresource Technology* 98: 1426–1432.
- LIAO Y.C., LEE D.J. 1997: Estimation of VOC emission rate from a sequencing batch reactor. *Water Science & Technology* 35, 6: 45–52.
- LIU Y., ZHI-WU WANG, JOO-HWA TAY 2005: A unified theory for upscaling aerobic granular sludge sequencing batch reactors. *Biotechnology Advances* 23, 5: 335–344.
- Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków 1997. Red. Z. Dymaczewski, J.A. Oleszkiewicz, M.M. Sozański. PZITS, Poznań.
- RAHIMI Y., TORABIAN A., MEHRDADI N., SHAHMORADI B. 2011: Simultaneous nitrification – denitrification and phosphorus removal in a fixed bed sequencing batch reactor (FBSBR). *Journal of Hazardous Materials* 185, 2–3: 852–857.
- SARIOGLOU M. 2005: Biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor by using pure cultures. *Process Biochemistry* 40: 1599–1603.

SIWIEC T. 2004: Analiza pracy małych oczyszczalni ścieków na przykładzie wybranych oczyszczalni typu SBR. *Przegląd Komunalny, Zeszyty Komunalne* 7: 45–48.

Streszczenie

Oczyszczanie ścieków dowożonych w reaktorach sekwencyjnych SBR. Często budowa sieci kanalizacyjnych przeciąga się w czasie i oczyszczalnie pracują dość długo, tylko na ściekach dowożonych lub dopływających ze znaczącym udziałem dowożonych. Stężenia zanieczyszczeń w ściekach dowożonych są dużo większe niż w ściekach dopływających. Eksploatacja, a szczególnie sterowanie procesem nie jest tak łatwe, gdyż ścieki dowożone z poszczególnych gospodarstw znacząco się różnią. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki pracy oczyszczalni w Niepruszewie z około 3 lat, podczas których oczyszczano tylko ścieki dowożone. Z zamieszczonych wyników analiz widać, że prawidłowe zaprojektowanie wszystkich elementów składowych, a więc odpowiedniej objętości przepompownię, właściwego reaktora SBR z urządzeniami do natleniania i mieszania oraz systemem sterowania, i prawidłowej eksploatacji pozwala na uzyskiwanie parametrów ścieków oczyszczonych zgodnie z pozwoleniem wodnoprawnym.

Summary

Treatment of wastewater delivered to sequencing reactors SBR. Often the construction of sewage networks lingers in time and the wastewater treatment plants have to treat only the delivered wastewater or mixture of delivered and in flowing from small part of network. Concentration of pollutions in this wastewater is very high. In such case the maintenance and particular process controlling are difficult because wastewater from individual cottages differ significantly. This paper presents the results of plant operation in Niepruszewo. This plant has treated only delivered wastewater for three years. The results of the analysis show that the correct design of all components and good operation can produce high performance effluent. Especially important is designing of pumping station, reactors, aeration and mixing systems. Also service and maintenance are very important particular changing of mixing time and aeration time. They have fundamental influence on pollutions concentration in treated wastewater.

Author's address:

Tadeusz Siwiec
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Inżynierii Budowlanej
ul. Nowoursynowska 159, 00-776 Warszawa
Poland
e-mail: tadeusz_siwiec@sggw.pl