

Izabela Bartkowska • Wiesław Klaus

ANALIZA SKUTECZNOŚCI DZIAŁANIA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW PRACUJĄCEJ W SYSTEMIE SBR

Izabela Bartkowska, dr inż. – Politechnika Białostocka

Wiesław Klaus, inż. – Przedsiębiorstw Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o. o.

adres korespondencyjny:

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Katedra Systemów Inżynierii Środowiska

ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

e-mail: i.bartkowska@pb.bialystok.pl

ul. Tunelowa 17, 19-400 Olecko

e-mail: wklaus@wp.pl

PERFORMANCE ANALYSIS OF SEWAGE TREATMENT PLANT WORKING IN THE SBR SYSTEM

SUMMARY: This paper presents an assessment of wastewater treatment plants operating in the technological sequence of biological reactors (SBR) as an example Olecko. This paper presents qualitative characteristics of raw sewage to the treatment plant influent and effluent. Assesses the work of the treatment on the basis of tests performed and operating experience. The analysis is based on the results of the following indicators of pollutants: BOD₅, COD, pH, concentration of total nitrogen, total phosphorus and total suspended solids. A description of modernized in 2009 technology of sewage treatment plant and sewage sludge management was presented.

KEY WORDS: sewage treatment, biological sequencing batch reactor, designing sewage treatment plant, sewage treatment plant, effluent treatment effect

Wstęp

Technologia oczyszczania ścieków osadem czynnym w systemach porcjowych znana już była na początku XX wieku. W 1912 roku Fowler zastosował do oczyszczania ścieków miejskich w Manchesterze napowietrzanie ścieków strumieniem pęcherzyków powietrza wytwarzanych w sposób pneumatyczny wraz z następującym po nim etapem sedymentacji. W 1914 roku studenci Fowlera – Ardern i Lockett – zaprezentowali oczyszczanie ścieków w systemie z napełnianiem i dekantacją bez pozbywania się biologicznych osadów nagromadzonych w czasie cyklicznego napowietrzania ścieków¹.

Także w Stanach Zjednoczonych w tym czasie sposób oczyszczania ścieków osadem czynnym, realizowany w systemie „napełniania – dekantacji”, po raz pierwszy zastosowano w Milwaukee. W późniejszym okresie systemy porcjowe nie były wykorzystywane w Stanach Zjednoczonych aż do późnych lat czterdziestych, a w Europie do 1959 roku. Systemy SBR pojawiły się ponownie dzięki znaczącemu postępowi techniki urządzeń napowietrzających i układów sterowania. Współczesny rozwój technologii oczyszczania ścieków osadem czynnym w systemach porcjowych dokonał się dzięki pracom Irvine’a i jego współpracowników w latach sześćdziesiątych XX stulecia. Irvine po raz pierwszy użył nazwy sekwencyjny reaktor biologiczny dla jednozbiornikowego reaktora, który zaprojektował w 1969 roku do oczyszczania na dużą skalę ścieków przemysłowych w Corpus Christi w Teksasie².

Systemy SBR są proste w działaniu i dużo bardziej elastyczne niż układy przepływowe osadu czynnego³. Pełną kontrolę umożliwiają wyłączniki czasowe i czujniki poziomu. Eliminacja recyrkulacji osadu również przemawia za prostotą tego systemu. Procesy porcjowe umożliwiają wyrównywanie przepływu i obciążenia ładunkiem. Czas cyklu można łatwo zmienić, tak by dopasować go do zmian ilościowych i jakościowych.

Celem niniejszego opracowania było przedstawienie skuteczności działania przykładowej oczyszczalni pracującej w systemie SBR i podkreślenie zalet tej technologii, szczególnie w odniesieniu do małych i średnich jednostek.

¹ P. A. Wilderer i in., *Sequencing batch reaktor technology*, IWA Publishing, London 2001.

² Ibidem; L. Dzienis, *Technologiczne podstawy modernizacji małych oczyszczalni ścieków*, „Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk” nr 29, Białystok 2005; L. Dzienis, *Oczyszczalnie ścieków pracujące w systemie porcjowym – obiekty o minimalnych skutkach oddziaływania na środowisko*, w: *Problemy naukowo-badawcze budownictwa*, t. 4, *Zrównoważony rozwój w budownictwie*, red. A. Łapko, M. Broniewicz, J.A. Prusiel, Wyd. Politechniki Białostockiej, Białystok 2008.

³ I. Bartkowska, L. Dzienis, *Doświadczenia eksploatacyjne oczyszczalni ścieków systemu BIO-GEST*, X Ogólnopolskie Seminarium „Eksploatacja oczyszczalni ścieków”, materiały seminaryjne, Kielce 2001, s. 119-120.

Charakterystyka obiektu

Do oczyszczalni w Olecku dopływają ścieki stanowiące mieszaninę ścieków bytowo-gospodarczych, przemysłowych, deszczowych dostających się przez nie szczelności w kanalizacji sanitarnej oraz dowożonych taborem asenizacyjnym. Na terenie miasta funkcjonują zakłady przemysłowe, z których istotny wpływ na jakość i ilość ścieków dopływających do oczyszczalni mają rzeźnia, masarnia oraz zakład mleczarski. W sezonie letnim występuje zwiększony dopływ ścieków w związku z obsługą ruchu turystycznego.

Oczyszczanie ścieków zapewnia system wielofazowych reaktorów SBR wykorzystujących metodę niskoobciążonego osadu czynnego. Ścieki oczyszczone odprowadzane są do stawów stabilizacyjnych, a ostatecznym ich odbiornikiem jest rzeka Lega. Stabilizację i higienizację osadów zapewnia proces autotermicznej stabilizacji tlenowej. Przetworzone i odwodnione osady ściekowe są wykorzystywane jako nawóz w rolnictwie poprzez ich bezpośredni wywóz na pola uprawne.

Ścieki surowe z pompowni głównej kierowane są do komory rozdziału; stąd, w zależności od potrzeb, do budynku mechanicznego oczyszczania ścieków lub zbiornika retencyjnego. Mechaniczne oczyszczanie odbywa się w zblokowanym urządzeniu, składającym się z sita, piaskownika i odtłuszczacza. Automatycznie oddzielone od ścieków skratki, piasek i tłuszcz są poddawane procesom przemycania i odwadniania. Praca urządzenia jest sterowana automatycznie w zależności od poziomu napełnienia kanału doprowadzającego ścieki. Również automatycznie następuje dawkowanie ługu sodowego, w zależności od wskazania sond pH, co zapewnia korektę odczynu doprowadzanych ścieków. Ścieki oczyszczone mechanicznie odpływają do pompowni pośredniej, którą stanowi podziemny zbiornik żelbetowy o średnicy 10,0 m i głębokości 3,5 m. W pompowni znajdują się dwie pompy zatapialne, których praca sterowana jest automatycznie, w zależności od poziomu napełnienia. Dalej ścieki oczyszczone mechanicznie pompowane są do reaktorów biologicznych typu SBR, w których zachodzą procesy biologicznego oczyszczania metodą niskoobciążonego osadu czynnego.

Każdy reaktor jest wykonany w postaci okrągłej komory żelbetowej o średnicy 10,0 m i wysokości całkowitej 12,0 m (wyniesienie ponad teren +8,60 m). Na oczyszczalni znajduje się sześć takich reaktorów, które pracują zgodnie z założonym harmonogramem czasowym. Przykładowe nastawy procesu przedstawiono na rysunku 1.

Niezbędny do prowadzenia aerobowych procesów biologicznego rozkładu zanieczyszczeń tlen jest dostarczany do reaktorów za pośrednictwem dmuchaw zlokalizowanych w pobliskim budynku dmuchaw. Każdy reaktor jest obsługiwany przez oddzielną dmuchawę. Automatyczna praca reaktorów SBR jest wspomagana za pośrednictwem czujników i sond zainstalowanych w każdym reaktorze. Podstawowe wyposażenie pojedynczego reaktora stanowią mieszadło pionowe, kierownica ruchu ścieków, wspomagająca działanie mieszadła, ruszty napowietrzające z dyfuzorami rurowymi z membraną, do których doprowadzane

Rysunek 1
Przykładowe nastawy procesu oczyszczania ścieków w reaktorach SBR

PWIK OLECKO		Zmiana nastaw globalnych i lokalnych - Oczyszczalnia ścieków w Olecku					
Powrót	Nastawy globalne dla SBR-ów	SBR 3.1	SBR 3.2	SBR 3.3	SBR 3.4	SBR 3.5	SBR 3.6
Czas defosfatacji I	2 [min]	2 [min]	2 [min]	2 [min]	2 [min]	2 [min]	2 [min]
Czas defosfatacji II	2 [min]	2 [min]	2 [min]	2 [min]	2 [min]	2 [min]	2 [min]
Czas nityfikacji	320 [min]	320 [min]	320 [min]	280 [min]	115 [min]	177 [min]	300 [min]
Czas denityfikacji	15 [min]	7 [min]	7 [min]	7 [min]	15 [min]	15 [min]	15 [min]
Czas nityfikacji II	150 [min]	75 [min]	75 [min]	75 [min]	150 [min]	150 [min]	150 [min]
Czas sedimentacji	100 [min]	100 [min]	41 [min]	100 [min]	100 [min]	100 [min]	100 [min]
Czas dekantacji	2 [min]	1 [min]	2 [min]	2 [min]	2 [min]	2 [min]	2 [min]
Czas pracy dmuchawy	50 [min]	50 [min]	50 [min]	50 [min]	50 [min]	50 [min]	50 [min]
Czas postoju dmuchawy	15 [min]	15 [min]	15 [min]	15 [min]	15 [min]	15 [min]	15 [min]
Czas mineralizacji	60 [min]	60 [min]	60 [min]	60 [min]	60 [min]	60 [min]	60 [min]
Czas demineralizacji	20 [min]	20 [min]	20 [min]	20 [min]	20 [min]	20 [min]	20 [min]
Prog. tlenu do załączenia dmuchawy	0.20 [mg/l]	0.20 [mg/l]	0.20 [mg/l]	0.20 [mg/l]	0.20 [mg/l]	0.20 [mg/l]	0.20 [mg/l]
Prog. tlenu do wyłączenia dmuchawy	4.20 [mg/l]	4.20 [mg/l]	4.20 [mg/l]	4.20 [mg/l]	4.20 [mg/l]	4.20 [mg/l]	4.20 [mg/l]
Zakres górny tlenu [Alarmowy]	9.00 [mg/l]	9.00 [mg/l]	9.00 [mg/l]	9.00 [mg/l]	9.00 [mg/l]	9.00 [mg/l]	9.00 [mg/l]
Poziom dolny awaryjny		5.80 [m]	5.80 [m]	5.80 [m]	5.80 [m]	5.80 [m]	5.80 [m]
Poziom dolny "0"		6.80 [m]	6.80 [m]	5.80 [m]	6.80 [m]	6.80 [m]	6.80 [m]
Poziom górny "1"		9.00 [m]	9.90 [m]	9.90 [m]	10.00 [m]	9.95 [m]	9.95 [m]

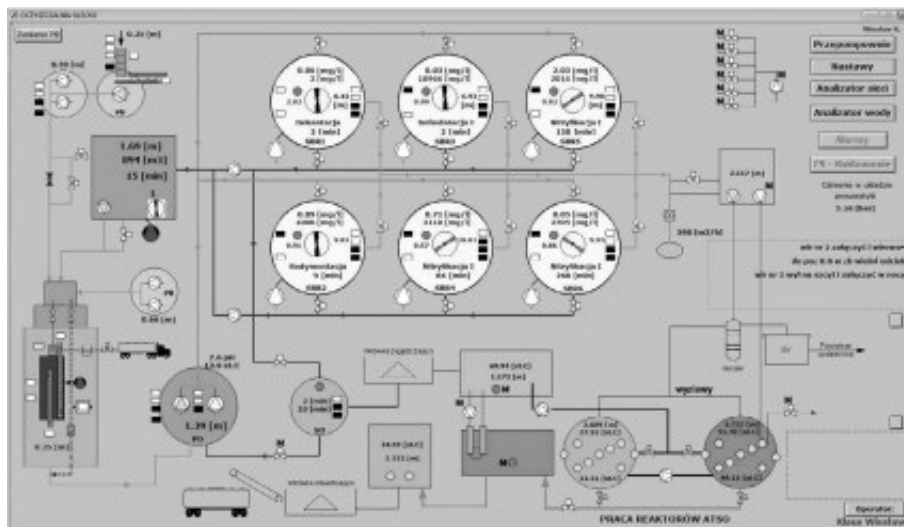
Źródło: Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Olecku.

jest sprężone powietrze z dmuchaw, powodując napowietrzanie i natlenianie ścieków. Ścieki oczyszczone są odprowadzane do rzeki Lega przez system 3 stawów stabilizacyjnych połączonych szeregowo. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Olecku przedstawiono na rysunku 2.

W celu zwiększenia stopnia usuwania fosforu przewidziane jest wspomaganie procesów biologicznych strącaniem za pomocą PIX-u. Dawkowanie PIX-u może odbywać się w każdym cyklu pracy reaktora. Zabieg ten nie jest jednak stosowany przez eksploatatora. Osad nadmierny powstający w procesach biologicznego oczyszczania ścieków jest częściowo stabilizowany tlenowo w komorze roboczej reaktora SBR. Obliczeniowy czas stabilizacji osadu wynosi średnio 14 dni⁴.

⁴ D. Andraka, D. Wawrentowicz, *Projekt budowlany wykonawczy branży technologicznej. Rozbudowa oczyszczalni ścieków w Olecku*, PROEKO Biuro Projektowo-Badawcze, Białystok 2005.

Rysunek 2
Schemat technologicznego oczyszczania ścieków w Olecku



Źródło: Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Olecku.

Raz na dobę osad ten jest odprowadzany rurociągiem spustowym na dnie każdego reaktora do zbiornika zagęszczacza osadów lub zbiornika retencyjnego.

Osady nadmierne wstępnie zagęszczone trafiają do dwóch reaktorów termofilnej stabilizacji tlenowej, pracujących w układzie szeregowym. Ustabilizowane i zhygienizowane osady po procesie ATSO trafiają do zbiornika wielofunkcyjnego, a dokładniej do jednej z jego komór. Ostudzone we właściwej komorze zbiornika wielofunkcyjnego osady odprowadzane są do budynku mechanicznego odwadniania osadów. Po odwodnieniu na wirówce przemieszczane są transportem ślimakowym do przyczep i odwożone do miejsca składowania osadów ustabilizowanych i odwodnionych, którym na oczyszczalni jest wiata.

Opis modernizacji części biologicznej oczyszczalni

Modernizację oczyszczalni ścieków przeprowadzono w 2009 roku. Obliczenia zostały wykonane zgodnie z zasadami opracowanymi w normach ATV A-131 (oczyszczalnia z nityfikacją i denityfikacją) oraz ATV M-210 (oczyszczalnia z reaktorami sekwencyjnymi)⁵. Przeprowadzono je w różnych wariantach obciążenia hydraulicznego i ładunkiem zanieczyszczeń.

⁵ Ibidem.

Projekt modernizacji oczyszczalni ścieków w Olecku wykonano dla następujących parametrów nominalnych⁶:

- średni dobowy dopływ ścieków $Q_{\text{dśr}} = 3600 \text{ m}^3/\text{d}$;
- średni godzinowy dopływ ścieków: $Q_{\text{h}} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$;
- maksymalny dobowy dopływ ścieków (pogoda deszczowa): $Q_{\text{dmax}} = 4680 \text{ m}^3/\text{d}$;
- maksymalny godzinowy dopływ ścieków: $Q_{\text{hmax}} = 300 \text{ m}^3/\text{h}$;
- ładunek BZT₅ w dopływie: $\Sigma_{\text{BZT}_5} = 1800 \text{ kgO}_2/\text{d}$.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń technologicznych stwierdzono konieczność uruchomienia, nie eksploatowanego dotychczas, jednego z reaktorów SBR, który pełnił funkcję zbiornika retencyjnego ścieków surowych. W tym celu zainstalowano w nim wyposażenie analogiczne jak w pozostałych SBR-ach, czyli:

- mieszadło wolnoobrotowe śmigłowe poziome o osi pionowej, wymagana moc mieszania $3,0 \text{ W}/\text{m}^3$, stąd moc efektywna mieszadła $N = 2,5 \text{ kW}$;
- system napowietrzania w oparciu o dyfuzory rurowe z membraną EPDM; przy zapotrzebowaniu miarodajnym powietrza $q_{\text{p}} = 950 \text{ m}^3/\text{h}$ /reaktor i wydajności jednego dyfuzora $10 \text{ m}^3/\text{mb}/\text{h}$ – wymagana długość dyfuzorów wynosi 95 mb ; przyjęto $n = 144$ dyfuzorów o długości $0,8 \text{ m}$ każdy, umieszczonych obwodowo na ruszcie napowietrzającym ze stali nierdzewnej;
- deflektor w postaci płaszcza okrągłego o średnicy $\text{Ø}3,30 \text{ m}$ i wysokości $5,0 \text{ m}$, wykonany ze stali nierdzewnej umieszczony w dolnej części reaktora, mocowany do ścian i dna komory;
- wyposażenie kontrolno-pomiarowe, w tym: hydrostatyczna sonda poziomu, sonda tlenowa z pływakowym systemem montażowym, miernik koncentracji zawiesin (osadu), czujnik rozdziału faz, niezbędne przetworniki i przekaźniki sygnału z czujników⁷.

Z uwagi na wykazaną w obliczeniach zbyt małą wydajność zaprojektowanego pierwotnie systemu napowietrzania dokonano również wymiany dyfuzorów wraz z rusztem napowietrzającym w pozostałych reaktorach (60 dyfuzorów o długości $2,0 \text{ m}$ każdy). Dodatkowo, ze względu na wykazaną w obliczeniach zbyt małą pojemność strefy dekantacji (stały poziom spustu ścieków oczyszczonych), zmieniono system spustu ścieków oczyszczonych. Zastosowano dekanter statyczny $\text{Ø}250$, umieszczony na króćcu przegubowym, na rzędnej umożliwiającej zwiększenie wysokości fazy spustowej z $3,65$ do $4,65 \text{ m}$ (objętość spustu wzrosła z 286 m^3 do 365 m^3). Umożliwiło to również zmniejszenie ilości faz pracy reaktorów, przy zachowaniu korzystniejszego stężenia osadu i bardziej ekonomicznej pracy systemu napowietrzającego. Dla średniego dobowego dopływu ścieków liczba cykli w ciągu doby wynosi 2 . Czas trwania nityfikacji w ciągu cyklu wynosi $4,7$ godziny, a denityfikacji $3,1$ godziny⁸.

Dla zapewnienia wymaganej ilości powietrza do natleniania ścieków w reaktorach SBR dokonano wymiany istniejących dmuchaw. Zastosowano dmuchawy

⁶ Ibidem.

⁷ Ibidem.

⁸ Ibidem.

o wydajności nominalnej $Q = 20,01 \text{ Nm}^3/\text{min}$ przy sprężu $\Delta p = 700 \text{ mbar}$ z silnikiem $37,0 \text{ kW}^9$.

Omówienie wyników badań

Ocenę skuteczności oczyszczania ścieków w omawianej oczyszczalni dokonano, opierając się na wynikach analiz ścieków surowych i oczyszczonych wykonanych w latach 2011-2012. Pod uwagę wzięto wartości BZT_5 , ChZT i odczynu oraz stężenia zawiesin ogólnych, fosforu ogólnego i azotu ogólnego. Poboru prób i sposobu oznaczeń dokonano zgodnie z obowiązującą procedurą badawczą i referencyjnymi metodykami analiz¹⁰. W okresie prowadzonych badań próby ścieków surowych i oczyszczonych pobierano w regularnych odstępach czasu i stale w tych samych miejscach. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej w celu ułatwienia podsumowania i dokonania pewnych uogólnień.

Średnia dobową ilość ścieków dopływających na oczyszczalnię, w okresie objętym badaniami, wyniosła $2807,2 \text{ m}^3/\text{d}$. Największy zaobserwowany dopływ wyniósł $6470,0 \text{ m}^3/\text{d}$, a najmniejszy $498,9 \text{ m}^3/\text{d}$. Przepływ poniżej $2000 \text{ m}^3/\text{d}$ stanowił około 17% odczytów. W 20% przypadków stwierdzono przepływ większy od projektowanego średniego dobowego. Wybrane wartości miar rozkładu badań jakościowych ścieków surowych przedstawiono w tabeli 1.

Ścieki surowe dopływające na oczyszczalnię charakteryzują się wysoce nierównomiernym składem jakościowym. Średnie stężenie azotu ogólnego, fosforu ogólnego i zawiesin ogólnych oraz wartości BZT_5 i ChZT przekraczają znacznie wielkości podawane w literaturze dla ścieków bytowo-gospodarczych. Z pewnością jest to spowodowane udziałem ścieków przemysłowych z lokalnego zakładu mleczarskiego, rzeźni i masarni. O znacznej zmienności stężenia analizowanych wskaźników zanieczyszczeń świadczą zarówno wartości odchylenia standardowego, jak i wariancji (zwłaszcza dla wartości BZT_5 i ChZT oraz stężenia zawiesin ogólnych). Dla wszystkich wskaźników zanieczyszczeń 90% wyników osiąga wartości znacznie wyższe niż uznawane za wartości średnie dla ścieków bytowo-gospodarczych.

W okresie objętym badaniami wykonano oznaczenia tych samych wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych. Wybrane charakterystyki opisowe przedstawiono w tabeli 2.

Parametry ścieków oczyszczonych charakteryzują się bardzo wysoką stabilnością. O małej zmienności analizowanych wyników świadczą niskie wartości odchylenia standardowego czy wariancji. Nieco mniej stabilne są wartości ChZT w ściekach oczyszczonych. Zgodnie z pozwoleniem wodno-prawnym oczyszczalnia ścieków w Olecku powinna uzyskiwać parametry zanieczyszczeń nie większe

⁹ Ibidem.

¹⁰ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz. U. nr 137 poz. 984).

Tabela 1
Wartości wybranych miar rozkładu dla badanych parametrów jakościowych ścieków surowych

Miary rozkładu	Wartości miar rozkładu dla parametrów wyrażonych jako					
	zawiesiny ogólne	ChZT	BZT ₅	fosfor ogólny	azot ogólny	odczyn
Wartość minimalna	200,00	599,00	210,00	10,00	51,20	5,86
Wartość maksymalna	2000,00	3637,00	1390,00	59,20	290,00	7,44
Średnia arytmetyczna	938,00	1824,87	743,80	29,23	136,14	6,85
Odchylenie standardowe	559,65	882,69	313,70	15,34	56,53	0,45
Wariancja	313202,90	779140,60	98405,20	235,30	3195,80	0,20
Percentyl 10%	330,00	724,00	257,00	14,60	71,90	6,16
Percentyl 90%	1800,00	2887,00	1050,00	58,60	186,00	7,40

Źródło: opracowanie własne.

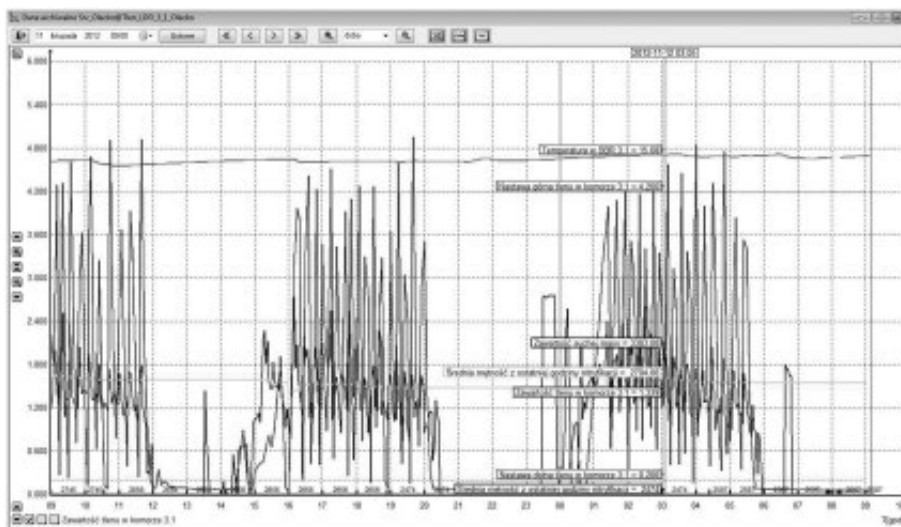
Tabela 2. Wartości wybranych miar rozkładu dla badanych parametrów jakościowych ścieków oczyszczonych

Miary rozkładu	Wartości miar rozkładu dla badanych parametrów jakościowych wyrażonych jako					
	zawiesiny ogólne	ChZT	BZT ₅	fosfor ogólny	azot ogólny	odczyn
Wartość minimalna	2,00	30,00	3,00	0,45	3,39	7,20
Wartość maksymalna	29,00	85,00	11,00	2,34	14,40	7,90
Średnia arytmetyczna	10,79	51,13	5,47	1,06	9,15	7,51
Odchylenie standardowe	9,55	16,50	3,09	0,62	3,51	0,19
Wariancja	91,10	272,10	9,60	0,40	12,30	0,01
Percentyl 10%	2,00	32,00	3,00	0,48	4,85	7,29
Percentyl 90%	28,00	78,00	11,00	2,01	13,70	7,78

Źródło: opracowanie własne.

niż: w przypadku BZT₅ – 15 mg O₂/l, ChZT – 125 mg O₂/l, zawiesiny ogólnej – 35 mg/l, azotu ogólnego – 15 mg/l oraz fosforu ogólnego – 2 mg/l. Zarówno wartości średnie wskaźników zanieczyszczeń, jak i maksymalne nie przekraczają parametrów wskazanych w pozwoleniu. Również 90% wyników osiąga znacznie niższe wartości (percentyl 90%). Jedynie w odniesieniu do stężenia fosforu ogólnego

Rysunek 3
Przykładowy wykres dobowych zmian zawartości tlenu w komorze



Źródło: Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Olecku.

nego zaobserwowano jednokrotne przekroczenie wartości dopuszczalnej, ale wówczas uzyskano większą niż wymaganą przepisami minimalną redukcję. Z pewnością duży udział w tak skutecznym oczyszczaniu ścieków ma system napowietrzania, który zapewnia właściwe warunki tlenowe w reaktorach. Przykładowy wykres zawartości tlenu w komorze przedstawiono na rysunku 3.

Na wylocie ścieków oczyszczonych zainstalowane są analizatory ortofosforanów i azotu amonowego, które badają każdą porcję odprowadzaną do odbiornika. Z analizowanego okresu z rejestru wynika, że poziom ortofosforanów wynosił od wartości minimalnej 0,21 mg/l do maksymalnej 1,99 mg/l, a zawartość azotu amonowego wahała się od 0,12 mg/l do 2,23 mg/l. Średnia zawartość ortofosforanów w ściekach oczyszczonych wyniosła 0,59 mg/l, a azotu amonowego 0,55 mg/l. Średnia arytmetyczna jest jednak bardzo intuicyjną miarą oceny, szczególnie w przypadku zbioru o dużej liczebności, podatną na obserwacje odstające. Zgodnym i asymptotycznie nieobciążonym estymatorem wartości oczekiwanej jest mediana, która jako wartość środkowa oznacza, że powyżej i poniżej niej znajduje się taka sama liczba obserwacji, dając tym samym możliwość optymalnego przewidywania wartości za pomocą jednej liczby. Wartość mediany w odniesieniu do stężenia ortofosforanów wyniosła 0,50 mg/l, a dla azotu amonowego 0,33 mg/l. Mniejszą zmiennością charakteryzowały się wyniki zawartości ortofosforanów, potwierdzoną wartościami odchylenia standardowego i wariancji. 90% wyników wykazało wartości poniżej 0,87 mg/l w przypadku ortofosforanów i poniżej 1,23 mg/l w odniesieniu do azotu amonowego.

Tabela 3
Wartości redukcji zanieczyszczeń

Redukcja zanieczyszczeń	Wartości redukcji zanieczyszczeń w odniesieniu do badanych wskaźników				
	zawiesiny ogólne	ChZT	BZT ₅	fosfor ogólny	azot ogólny
Minimalna	86,00	89,23	95,72	87,21	87,59
Maksymalna	99,89	98,78	99,71	98,95	98,33
Średnia	97,86	96,39	98,90	95,51	92,58

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie wyników badań ścieków surowych i oczyszczonych obliczono dla analizowanych wskaźników zanieczyszczeń efekt oczyszczania. Określone wartości redukcji analizowanych wskaźników zanieczyszczeń przedstawiono w tabeli 3.

Opisywany układ technologiczny oczyszczania ścieków zapewnia bardzo wysoką skuteczność redukcji zanieczyszczeń. Obliczone wartości średnie są znacznie wyższe niż wymagany minimalny procent redukcji zanieczyszczeń dla oczyszczonych ścieków komunalnych, wynoszący odpowiednio: dla azotu ogólnego 80%, fosforu ogólnego 85%, BZT₅ 90%, ChZT 75% i zawiesin ogólnych 90% (Rozporządzenie 2006). Nawet obliczone wartości minimalne redukcji spełniają ten warunek. Spośród uzyskanych wyników 90% osiągnęło wartości większe niż 88,16% w odniesieniu do zawartości azotu ogólnego, 91,51% dla fosforu ogólnego, 96,19% dla wartości BZT₅, 93,61% dla ChZT oraz 95,45% dla zawiesin ogólnych.

Podsumowanie

Ścieki dopływające na oczyszczalnię charakteryzują się wysokim poziomem wskaźników zanieczyszczeń, co spowodowane jest znacznym udziałem ścieków przemysłowych z lokalnego zakładu mleczarskiego, rzeźni i masarni, które w ogólnej ilości ścieków stanowią około 17%. Oprócz wysokiego poziomu podstawowych wskaźników zanieczyszczeń mają także wysoce nierównomierny skład jakościowy. Pomimo niekorzystnych warunków zastosowany układ oczyszczania doskonale zdaje egzamin. Parametry ścieków oczyszczonych nie tylko spełniają warunki ujęte w pozwoleniu wodno-prawnym czy obowiązującym rozporządzeniu, ale także charakteryzują się znaczną stabilnością uzyskiwanych efektów oczyszczania. Oczyszczalnię ścieków pracującą w systemie porcjowym, pracującą w przestrzegającym przez eksploatatora reżimie technologicznym, mogą stanowić wysoce niezawodny element infrastruktury technicznej w aspekcie ochrony środowiska wodnego¹¹.

¹¹ I. Bartkowska, L. Dzienis, *Doświadczenia eksploatacyjne...*, op. cit.; I. Bartkowska, L. Dzienis, D. Wawrentowicz, *Sequencing batch reactors with continuous inflow for small communities in Poland*, 5-osios Tarptautines Konferencijos, Aplinkos inžinerija: Programa ir santraukos, 154,

W analizowanym okresie oczyszczalnia pracowała w typowym dla warunków Polski reżimie niedociążenia hydraulicznego (projektowana średnia przepustowość wynosiła 3600 m³/d, a rzeczywista około 2800 m³/d) oraz pełnego obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń (rzeczywisty ładunek BZT₅ przekracza 2000 kg O₂/d). Nic nie wskazuje na to, że w najbliższym okresie czasu przepustowość oczyszczalni przekroczy wielkość projektowaną. Ponadto system SBR charakteryzuje możliwość dostosowania do zwiększających się obciążeń hydraulicznych poprzez zmianę czasu trwania cyklu, długości poszczególnych faz procesu do aktualnych potrzeb¹².

Oczyszczalnie ścieków pracujące w systemie porcjowym stanowią wysoce niezawodny element infrastruktury technicznej w aspekcie ochrony środowiska wodnego oraz charakteryzują się minimalnymi skutkami oddziaływania na otaczające środowisko.

Istotne powody, które przemawiają za stosowaniem systemów SBR zamiast układów z przepływem ciągłym, to zdolność tych systemów do:

- umożliwiania jednoczesnej nitryfikacji i denitryfikacji w obrębie trwania jednego cyklu poprzez proste regulowanie intensywności napowietrzania;
- dostosowywania konfiguracji systemu i sposobu działania do zarówno krótkoterminowych, dziennych, jak i długookresowych, sezonowych zmian w składzie ścieków, stężeniu składników ścieków i obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń;
- polepszania usuwania fosforu poprzez bezpośrednie dodawanie środków strącających w czasie fazy napełniania lub reakcji;
- dostosowywania się do obciążeń uderzeniowych wywołanych zmianami w obciążeniu organicznym i/lub hydraulicznym poprzez zmianę czasu trwania cyklu, długości poszczególnych faz procesu, czasu napowietrzania i współczynnika wymiany objętościowej do aktualnych potrzeb;
- zagęszczania osadu w czasie fazy osadzania w celu zmniejszenia zawartości wody w osadzie usuniętym z reaktora.

Wykonana modernizacja oczyszczalni ścieków, w odczuciu autorów, spełnia założone oczekiwania i umożliwia eksploatację oczyszczalni wyposażonej w nowoczesne i efektywne urządzenia przy zminimalizowanych skutkach oddziaływania na środowisko.

Zastosowane urządzenia dekantacyjne należy ocenić jako gwarantujące odpływ oczyszczonych ścieków bez porcji osadu czynnego, który niekiedy odpływa w sposób niekontrolowany w przypadku zastosowania pompy dekantacyjnej¹³.

Vilnius 2002; I. Bartkowska, L. Dzienis, D. Warentowicz, *Efektywność pracy oczyszczalni ścieków w Hajnówce i propozycja jej modernizacji*, „Inżynieria Ekologiczna” 2011 nr 24, s. 226-235.

¹² L. Dzienis, *Oczyszczalnie ścieków...*, op. cit.

¹³ L. Dzienis, *Technologiczne podstawy...*, op. cit.