

Roman WIENCH, Wojciech HUNEK
POLITECHNIKA OPOLSKA, INSTYTUT AUTOMATYKI I INFORMATYKI
ul. Sosnkowskiego 31, 45-272 Opole

Układ kontrolno-pomiarowy do zbierania danych procesowych oczyszczalni ścieków opartej na technologii SBR

Mgr inż. Roman WIENCH

Absolwent Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. Pracę dyplomową nt. „Koncepcja i realizacja wirtualnego laboratorium działającego w oparciu o sieć komputerową” obronił w roku 2010. W swoich badaniach zajmuje się szeroko rozumianą problematyką sterowania odpornymi obiektami rzeczywistymi. Jest doktorantem IV roku studiów doktoranckich w dyscyplinie automatyka i robotyka.



e-mail: roman.wiench@gmail.com

Dr hab. inż. Wojciech P. HUNEK

Stopnie naukowe doktora i doktora habilitowanego w dyscyplinach elektrotechnika oraz automatyka i robotyka otrzymał na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. W swoich badaniach zajmuje się zagadnieniami związanymi z wielowymiarowym sterowaniem predykcijnym, adaptacyjnym i odpornym. Zatrudniony jest na stanowisku profesora nadzwyczajnego w Instytucie Automatyki i Informatyki.



e-mail: w.hunek@po.opole.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono koncepcję autorskiego układu kontrolno-pomiarowego do zbierania danych procesowych działającej oczyszczalni ścieków opartej na technologii SBR (ang. *Sequencing Batch Reactor*). Zwrócono uwagę na liczne aspekty istotnie wpływające na budowę i praktyczną implementację systemu. Przedstawiono jego szeroką funkcjonalność, głównie w kontekście wydajnego sterowania wspomnianą oczyszczalnią. W tym celu zaproponowano wielowymiarowy układ regulacji zdaniem autorów zapewniający założone wcześniej parametry technologiczne uzdatnianej wody.

Słowa kluczowe: oczyszczalnia ścieków, układ kontrolno-pomiarowy, technologia SBR, sterowanie wielowymiarowe.

A control and data acquisition system for SBR sewage treatment plant

Abstract

A concept of the supervisory control and data acquisition system for SBR sewage treatment plant is presented in this paper. The essential aspects related to its construction and real implementation are emphasized. A wide functionality in particular in terms of robust control of sewage treatment plant is shown. In this case the multivariable control system guarantees the assumed technological references of treated water.

Keywords: sewage treatment plant, control and data acquisition system, SBR technology, multivariable control.

1. Wstęp

W obecnych czasach bardzo ważnym elementem gospodarki jest ochrona środowiska, a co się z tym wiąże właściwa utylizacja ścieków. Przydomowe oczyszczalnie ścieków stają się coraz bardziej popularne na terenach pozbawionych sieci kanalizacyjnej. Można wyróżnić kilka odmian wspomnianych oczyszczalni. Pierwszą odmianą są oczyszczalnie drenażowe [10], w których faza oczyszczania ścieków przebiega w drenażu rozsączającym. Jest to najtańsza, zarówno pod względem budowy, jak i eksploatacji, forma oczyszczania ścieków. Ponadto nie wymaga ona zasilania elektrycznego. Wadą takiego rozwiązania jest słaba skuteczność oraz konieczność stosowania odpowiednich biopreparatów do odtworzenia flory bakteryjnej. Kolejną grupę oczyszczalni tworzą oczyszczalnie ze złożem biologicznym. Elementem oczyszczającym jest tu złożo biologiczne, które dzieli się na dwa rodzaje, tj. złożo zraszane i złożo obrotowe. Pierwsze ze złożeń to typowe, wykonane z tworzywa sztucznego, wypełnienie, na którym osiadają bakterie rozkładające ścieki tworząc tzw. błonę biologiczną.

Ścieki są równomiernie rozprowadzane na powierzchni, a następnie przesiakają przez nią i stopniowo są oczyszczane. Natomiast złożo zanurzone, zwane też tarczowym lub obrotowym [9], stosuje się dla obiektów, gdzie występuje duża nierównomierność dostarczania ścieków, zawierających znaczną ilość zawieszin. Oba typy oczyszczalni cechuje wysoka, bo aż 95%, redukcja zanieczyszczeń. Ostatnią grupę przydomowych oczyszczalni ścieków tworzą oczyszczalnie z osadem czynnym. Cechują się one największą skutecznością uzdatniania. Do procesu oczyszczania są tutaj wykorzystywane skupiska mikroorganizmów umieszczone na kłaczkach osadu. Mikroorganizmy gromadzą się samoczynnie po upływie kilkudziesięciu dni, a etap ich namnażania można przyspieszyć stosując specjalne, ogólnodostępne biopreparaty. Do poprawnego działania takiej oczyszczalni wymagane jest mieszanie oraz napowietrzanie zbiornika z osadem czynnym. Tak oczyszczone ścieki można wtórnie wykorzystać jako wodę, np. do użytku gospodarczego. Znamionym jest, że tego typu oczyszczalnie mogą także pracować na potrzeby przemysłu [5].

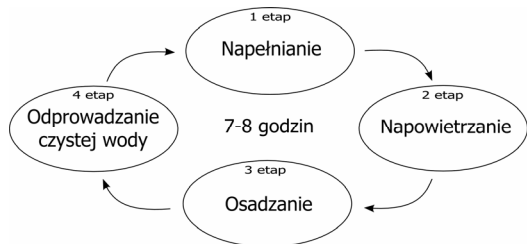
2. Technologia SBR

Wśród kilku odmian oczyszczalni z osadem czynnym można wyróżnić te implementujące technologię SBR (ang. *Sequencing Batch Reactor*) [3]. Takie oczyszczalnie składają się z dwóch zbiorników, tj. zbiornika wstępnego oraz reaktora (rys. 1).



Rys. 1. Reaktor oczyszczalni
Fig. 1. The reactor of the sewage treatment plant

Proces neutralizacji ścieków przebiega tutaj sekwencyjnie, kolejno w czterech etapach trwających razem około 7-8 godzin (rys. 2).

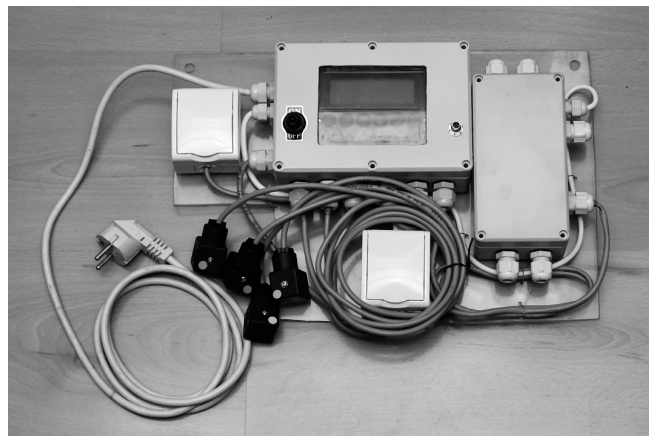


Rys. 2. Cykle technologii SBR
Fig. 2. The cycles of the SBR technology

Pierwszym z etapów jest przelanie wody ze zbiornika wstępnie do reaktora za pomocą podnośnika ze sprężonym powietrzem, tj. z użyciem pompy mamutowej. Dzięki zastosowaniu odpowiedniej konstrukcji podnośnika stan minimalny wody w osadniku wstępnym jest kontrolowany, a przelewana woda nie zawiera cząstek stałych. Kolejną fazą jest napowietrzanie ścieków. Towarzyszy temu mieszanie zawartości zbiornika i co ważne podczas cyklu dostarczany jest mikroorganizmom niezbędny do przemiany materii tlen. Proces ten odbywa się za pomocą dyfuzorów z systemem membran. Po napowietrzeniu ścieków następuje kolejny etap stabilizacji substancji i osadzania na dnie zbiornika reaktora skupisk mikroorganizmów. Natomiast w górnej części reaktora zbiera się czysta woda. Proces ten nazywany jest sedimentacją. Ostatnią fazą procesu oczyszczania jest odprowadzenie uzdatnionej wody do środowiska. Odbywa się to, podobnie jak w pierwszym etapie, za pomocą pompy mamutowej.

3. Układ kontrolno-pomiarowy

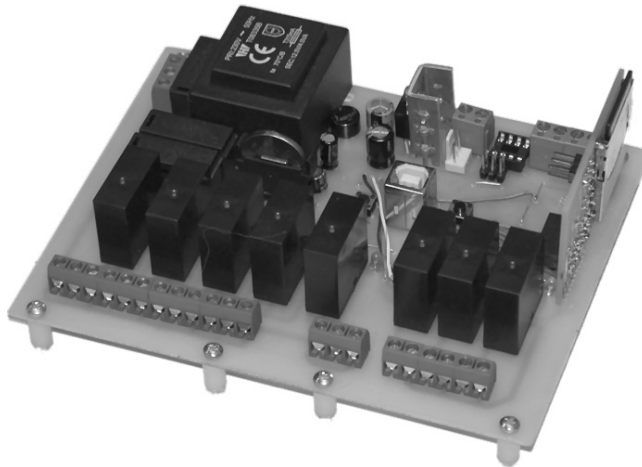
W ramach prac projektowo-wdrożeniowych został zbudowany autorski układ kontrolno-pomiarowy do zbierania danych procesowych działającej oczyszczalni ścieków. Znamiennym jest, że oryginalny, dostarczany przez producenta, system nie spełniał restrykcyjnych wymogów jego użytkowników, głównie w kontekście rozmiaru użytej pamięci [8]. Funkcjonalność zaproponowanego układu obejmuje nie tylko zbieranie i archiwizację danych, ale głównie oferuje możliwość regulacji procesu oczyszczania ścieków. System oparto na 8-bitowych mikrokontrolerach ATmega rodziny AVR produkowanych przez firmę Atmel. Składa się on z jednostki centralnej, czujników oraz wyświetlacza (rys. 3).



Rys. 3. Jednostka centralna układu kontrolno-pomiarowego
Fig. 3. The CPU of the control and data acquisition system

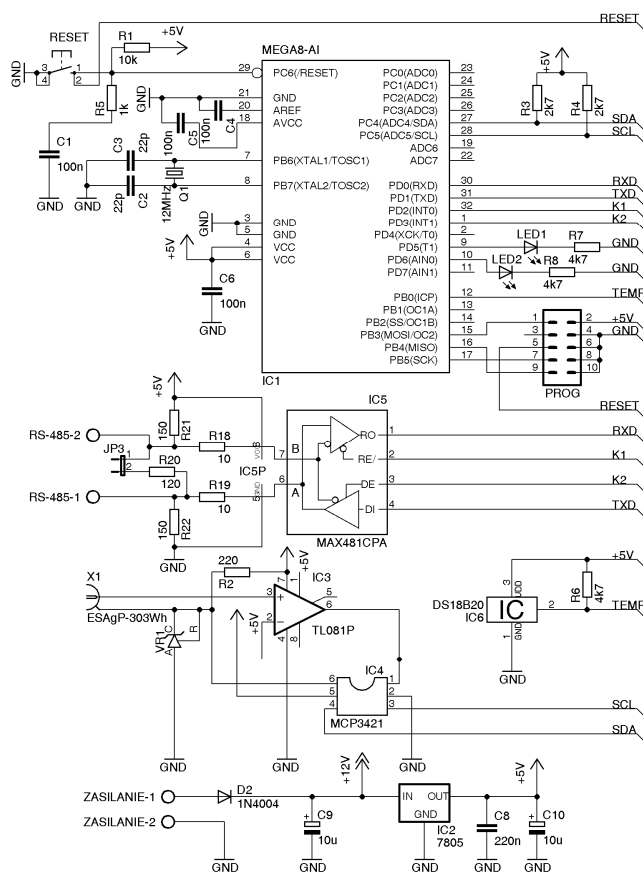
Jednostka centralna posiada zegar czasu rzeczywistego RTC, złącza USB i RS-485 oraz podtrzymanie bateryjne. Jej działanie oparto na mikrokontrolerze ATmega32u4. Dane pomiarowe zapi-

sywane są tutaj w formacie CSV na karcie pamięci SD. Układ posiada wyjścia przekaźnikowe umożliwiające sterowanie procesem uzdatniania wody (rys. 4).



Rys. 4. Płyta jednostki centralnej
Fig. 4. The board of the CPU

Głównym elementem pomiarowym w układzie jest czujnik pH. Umieszczony został on na płytce w zbiorniku reaktora oczyszczalni (rys. 1). Składa się z elektrody pH oraz przetwornika analogowo-cyfrowego. Dodatkowo zaimplementowano tu kompensację temperaturową. Rozwiązanie zostało oparte na mikrokontrolerze ATmega8 oraz 18-bitowym przetworniku A/C firmy Microchip MCP3421. Do pomiaru temperatury zastosowano czujnik DS18B20. Schemat ideowy czujnika pH został pokazany na rys. 5.



Rys. 5. Schemat ideowy czujnika pH
Fig. 5. The schematic diagram of the pH indicator

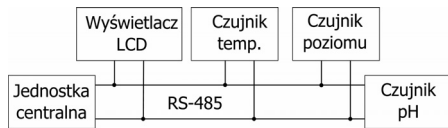
Mikrokontroler na podstawie pomiarów napięcia na zaciskach elektrody oraz panującej w jej otoczeniu temperatury oblicza odczyn pH w zbiorniku reaktora oczyszczalni zgodnie z uproszczonym wzorem Nernsta [1]

$$U = -aTx + b, \quad (1)$$

gdzie U to napięcie panujące na zaciskach elektrody pH wyrażone w woltach, T to temperatura wyrażona w Kelvinach, a i b to współczynniki wyznaczone w trakcie kalibracji czujnika, a x to odczyn pH medium. Kalibracja odbywa się w temperaturze otoczenia 20°C (293,15 K) dla dwóch roztworów buforowych, tj. z odczynem 7 oraz 9 pH. Dla liniowego zakresu pracy elektrody (7 – 9 pH) współczynniki a i b wyniosły odpowiednio 1,94e-4 oraz 0,3665.

W układzie dodatkowo zastosowano czujniki poziomu cieczy oraz temperatury położone w obu zbiornikach. Ich działanie, podobnie jak w czujniku pH, zostało oparte na mikrokontrolerach ATmega8. Bieżące wyniki pomiarów są prezentowane za pomocą wyświetlacza LCD, który razem z dotykową klawiaturą tworzą interfejs I/O. Wyświetlacz LCD został zamocowany w obudowie jednostki centralnej. Dzięki zastosowaniu klawiatury dotykowej obudowa jest szczelnie zamknięta i może być montowana w warunkach podwyższonej wilgotności powietrza.

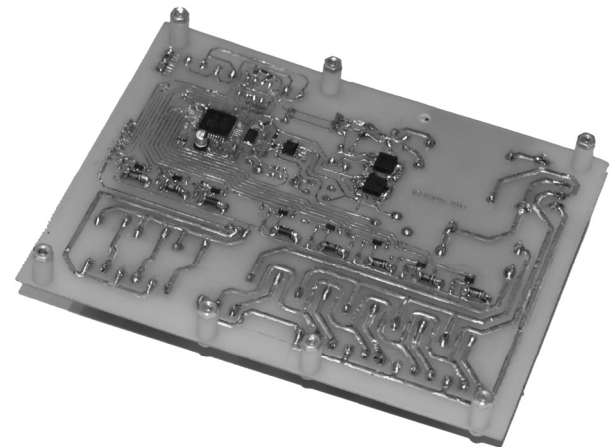
Wszystkie elementy komunikują się ze sobą za pośrednictwem portu szeregowego wykorzystującego standard RS-485 (rys. 6).



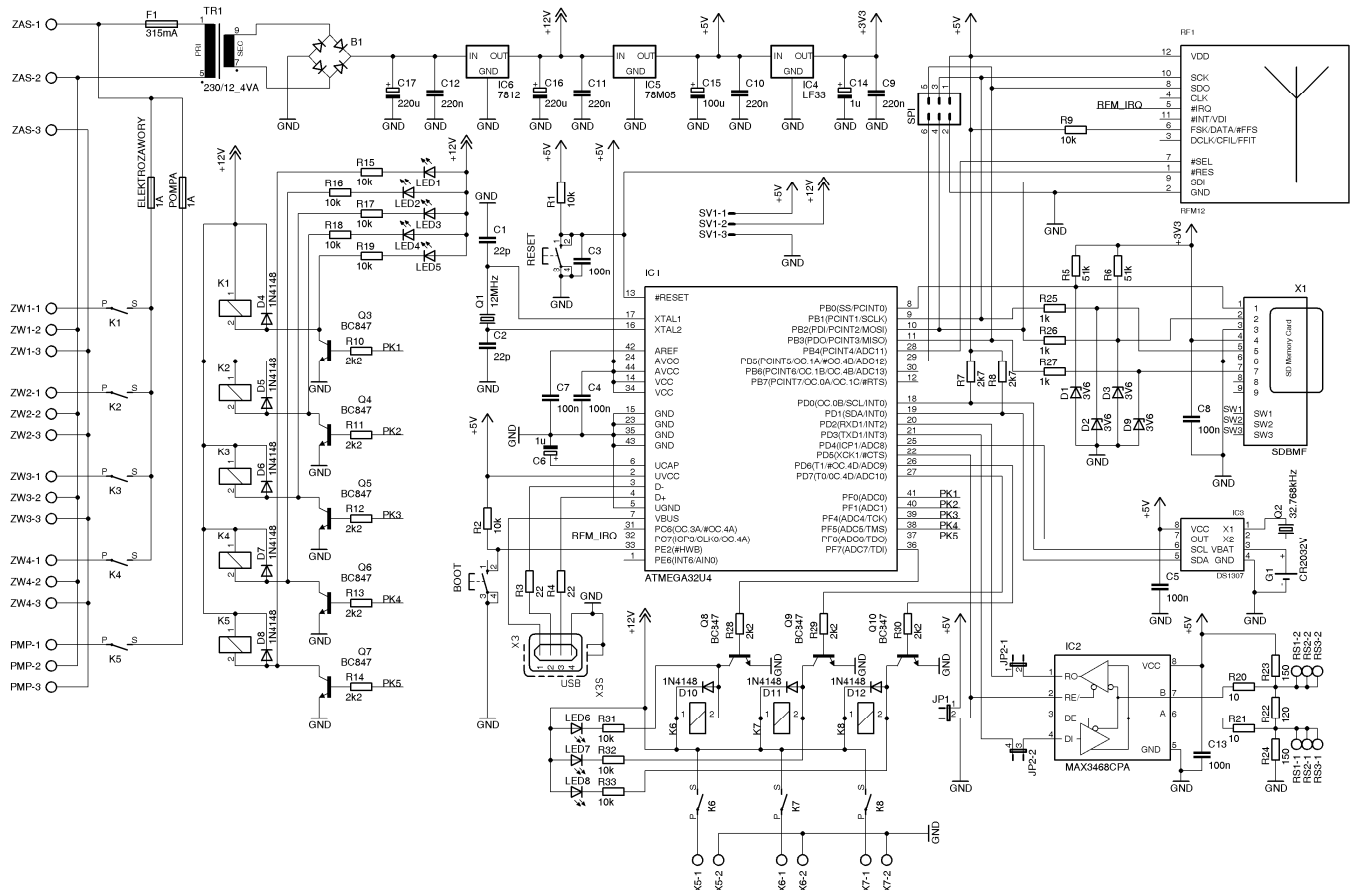
Rys. 6. Schemat układu kontrolno-pomiarowego
Fig. 6. The schema of the control and data acquisition system

Jednostka centralna gromadzi dane procesowe wysyłając zapytania do poszczególnych czujników, po czym prezentuje je do wyświetlacza oraz zapisuje na karcie pamięci. Dodatkowo do układu kontrolno-pomiarowego można podłączyć komputer klasy PC, a za pomocą tekstowej konsoli sterować oraz konfigurować urządzenie. Szeroką funkcjonalność układu kontrolno-pomiarowego obrazuje schemat ideowy jednostki centralnej (rys. 7).

Istotnym jest, że wszystkie układy zostały zaprojektowane oraz wykonane od podstaw w technologii SMD (ang. *Surface Mounted Devices*), co pozytywnie wpłynęło na poniesione koszty i racjonalne umiejscowienie poszczególnych elementów składowych (rys. 8). Oprogramowanie jednostki centralnej, czujników oraz wyświetlacza LCD zostało napisane w języku C (środowisko WinAVR).



Rys. 8. Płyta jednostki centralnej (widok od strony mikrokontrolera)
Fig. 8. The board of the CPU (the view from the side of microcontroller)

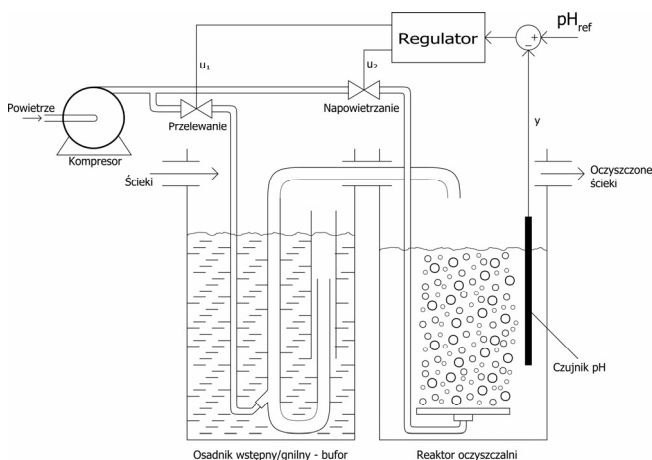


Rys. 7. Schemat ideowy jednostki centralnej
Fig. 7. The schematic diagram of the CPU

W ramach projektu został dodatkowo wykonany programator oraz adapter RS-485/USB niezbędny do podłączenia komputera z układem kontrolno-pomiarowym.

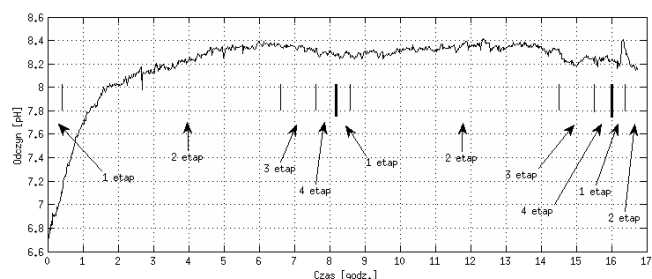
4. Układ sterowania

Celem stworzonego układu kontrolno-pomiarowego jest uzdatnianie ścieków z wykorzystaniem algorytmów wielowymiarowej regulacji adaptacyjnej. Zaproponowany układ sterowania zawiera dwa wejścia ($u_1(t)$ – czas napowietrzania, $u_2(t)$ – zmiana objętości ścieków w reaktorze) oraz jedno obserwowane wyjście $y(t)$, tj. odczyn pH panujący w zbiorniku reaktora (rys. 9) [6, 7]. Założono, że układ regulacji będzie utrzymywał pH uzdatnianej wody na neutralnym poziomie referencyjnym $pH_{ref}=7$, co pozwoli na odprowadzenie jej do środowiska naturalnego.



Rys. 9. Układ regulacji procesu oczyszczania
Fig. 9. The control system of the water treatment process

Znamiennym jest, że zaproponowany powyżej niekwadratowy układ regulacji [2, 4] stwarza możliwości doboru spośród nieskończonej liczby sterowań tych, spełniających przyjęte wcześniej założenia. Wpływa to bezpośrednio na poprawę odporności sterowania takim procesem [2]. Elementami wykonawczymi są tutaj elektrozawory sterujące dopływem powietrza do dyfuzorów i pomp mamutowych. Natomiast model procesu oczyszczania ścieków zostanie znaleziony w drodze identyfikacji parametrycznej na podstawie zebranych danych pomiarowych. Przykład zebranych za pomocą autorskiego systemu kontrolno-pomiarowego danych procesowych przedstawia rys. 10.



Rys. 10. Wstępne wyniki pomiarów – testowanie sprzętu (sterownik producenta)
Fig. 10. The preliminary results obtained from the control and data acquisition system

5. Podsumowanie

Zaproponowany w artykule układ kontrolno-pomiarowy znalazł swoje praktyczne zastosowanie podczas zbierania danych z procesu oczyszczania ścieków. Został on zbudowany głównie na potrzeby odpornej i wydajnej pracy oczyszczalni opartych na technologii SBR. W celu implementacji złożonych algorytmów wielowymiarowej regulacji predykcyjnej/adaptacyjnej planuje się znaleźć w środowisku Matlab model parametryczny procesu uzdatniania wody. Następnie otrzymany w środowisku Matlab /Simulink układ sterowania zostanie zweryfikowany w praktyce.

6. Literatura

- [1] Atkins P. W.: Chemia Fizyczna, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2002.
- [2] Hunek W. P.: Towards a general theory of control zeros for LTI MIMO systems. Opole University of Technology Press, Opole, 2011.
- [3] Irvine R. L., Ketchum Jr. L. H., Adano T.: Sequencing batch reactors for biological wastewater treatment. Critical Reviews in Environmental Control, vol. 18, No. 4, 1989.
- [4] Latawiec K. J.: The power of inverse systems in linear and nonlinear modeling and control. Opole University of Technology Press, Opole, 2004.
- [5] Mace S., Mata-Alvarez J.: Utilization of SBR Technology for Wastewater Treatment: An Overview, Industrial & Engineering Chemistry Research, American Chemical Society, vol. 41, pp. 5539-5553, 2002.
- [6] Wieniec R.: A supervision and measurement system for control of an SBR sewage treatment plant. Elektryka, Opole University of Technology Press, vol. 68, pp. 65-66, Opole, 2012.
- [7] Wieniec R.: Modeling the operation of an SBR sewage treatment plant. Elektryka, Opole University of Technology Press, vol. 69, pp. 107-108, Opole, 2013.
- [8] Tarnawski J.: Implementacja algorytmu regulacji predykcyjnej MPC w sterownikach programowalnych. Pomiary Automatyka Robotyka, nr 6, str. 100-106, 2013.
- [9] Tawfik A., Klapwijk B., el-Gohary F., Lettinga G.: Treatment of anaerobically pre-treated domestic sewage by a rotating biological contactor. Water Research, vol. 36, pp. 147-155, 2002.
- [10] <http://ekola.com.pl/oczyszczalnie-drenazowe.html>, materiały on-line, dostęp z dnia: 04 01 2014.

otrzymano / received: 21.01.2014

przyjęto do druku / accepted: 03.11.2014

artykuł recenzowany / revised paper