

*monitorowanie i diagnostyka, sterowanie,  
automatyka przemysłowa, oczyszczalnia ścieków*

Krzysztof P. DYRCZ\*, Marcin PAWLAK\*

## **AUTOMATYCZNY SYSTEM STEROWANIA I MONITOROWANIA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW**

W artykule przedstawiono budowę kompleksowego systemu sterowania i monitorowania napędów w małej oczyszczalni ścieków, który powstał w ramach modernizacji istniejącej instalacji automatycznego sterowania w jednym podwrocławskich przedsiębiorstwach gospodarki komunalnej. Podstawowe funkcje sterujące procesem technologicznym zrealizowano za pomocą nowoczesnego sterownika PLC, który na bieżąco komunikuje się z systemem nadrzędnym typu SCADA, zainstalowanym na komputerze przemysłowym. Równolegle z systemem sterowania współpracuje niezależny system pomiarowy, który na bieżąco monitoruje pracę wybranych napędów elektrycznych i na podstawie analizy sygnałów pomiarowych prądów i napięć dokonuje oceny stanu technicznego urządzeń.

### **1. WSTĘP**

W ostatnim czasie stawia się coraz większe wymagania w stosunku do automatycznych systemów sterowania maszyn i urządzeń przemysłowych. Oprócz podstawowych funkcji sterujących, których zadaniem jest zapewnienie prawidłowego przebiegu procesu technologicznego, systemy te coraz częściej pełnią funkcje dodatkowe, wspomagające obsługę i kontrolę techniczną urządzeń. W dużych instalacjach najczęściej stosuje się nadrzędne systemy sterowania typu SCADA (ang. *Supervisory Control and Data Acquisition*), które oprócz wizualizacji procesu technologicznego umożliwiają automatyczną analizę jego działania poprzez kontrolę bieżących parametrów. W nowoczesnych systemach sterowania duży nacisk kładzie się również na niezawodność i maksymalne skrócenie czasu przestoju, spowodowanych awariami poszczególnych podzespołów. W tym celu stosuje się dodatkowe systemy diagnostyczne, które pracują równolegle i na bieżąco oceniają stan techniczny maszyn i urządzeń poprzez ciągły pomiar ich parametrów.

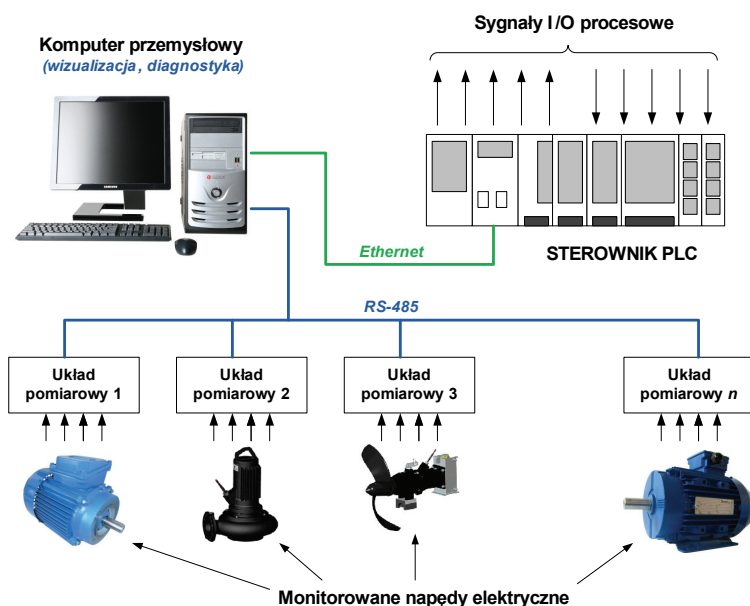
---

\* Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych, Politechnika Wroclawska, ul. Smoluchowskiego 19, 50-372 Wrocław, Krzysztof.dyrcz@pwr.wroc.pl marcin.pawlak@pwr.wroc.pl

Napędy elektryczne znajdujące się w zakładach gospodarki wodno-ściekowej są szczególnie narażone na szkodliwy wpływ czynników atmosferycznych i chemicznych, w wyniku czego ulegają częstym uszkodzeniom. Z uwagi na pełnione przez nie funkcje w procesie technologicznym oczyszczania ścieków, wymagana jest w stosunku do nich wysoka niezawodność. Dlatego też, stan techniczny tych napędów powinien być na bieżąco monitorowany, a wszelkie zmiany w charakterze ich pracy natychmiast sygnalizowane. Niniejszy artykuł przedstawia próbę integracji klasycznego systemu sterowania małej oczyszczalni ścieków z niezależnym systemem pomiarowo-diagnostycznym, którego zadaniem jest analiza i ocena stanu technicznego wybranych napędów elektrycznych z silnikami indukcyjnymi w jednej z podwrocławskich oczyszczalni ścieków [1], [3].

## 2. OGÓLNA KONCEPCJA SYSTEMU STEROWANIA I MONITOROWANIA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy automatycznego systemu sterowania i monitorowania oczyszczalni ścieków. Wyróżnić tu można dwie niezależne od siebie instalacje: układ sterujący procesem technologicznym (sterownik PLC) oraz układ pomiarowo-diagnostyczny.



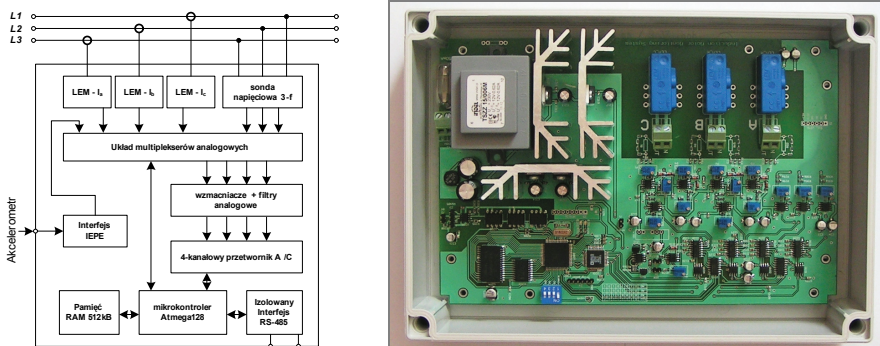
Rys. 1. Schemat blokowy systemu sterowania i monitorowania oczyszczalni ścieków  
Fig. 1. Block diagram of the control and monitoring system of waste-water treatment plant

Do realizacji systemu sterowania urządzeniami oczyszczalni ścieków wybrano sterownik PLC typu CJ1M firmy OMRON. Sterownik ten posiada budowę modułową, co pozwala na jego swobodną konfigurację sprzętową, poprzez dobór odpowiednich modułów funkcjonalnych, stosownie do wymagań instalacji. Do najważniejszych zadań sterownika należą: automatyczne sterowanie procesem natleniania ścieków, pomiary parametrów procesu (wielkości chemicznych i fizycznych), sekwencyjne załączanie pomp recyrkulacji wewnętrznej i zewnętrznej w zależności od ilości napływających ścieków oraz wymiana danych z komputerem przemysłowym.

Komputer przemysłowy pełni nadrzędną funkcję w układzie sterowania procesem oczyszczania ścieków. Obsługa i parametryzacja procesu oraz wizualizacja jego przebiegu odbywa się za pomocą głównego programu sterującego. Program ten również obsługuje działanie systemu pomiarowo-diagnostycznego oraz prezentuje wyniki obliczeń i analiz przedstawiające stan techniczny monitorowanych napędów. Interfejs użytkownika stanowi duży ekran z panelem dotykowym, zainstalowany w centralnej dyspozytorni zakładu.

### 3. SYSTEM POMIAROWO-DIAGNOSTYCZNY

Zadaniem systemu pomiarowo diagnostycznego jest monitorowanie stanu technicznego wybranych napędów elektrycznych za pomocą analizy sygnałów prądów fazowych i drgań. Część sprzętową systemu stanowią autonomiczne układy pomiarowe, które rejestrują sygnały prądów fazowych oraz napięć międzyfazowych monitorowanych napędów, a następnie przesyłają je do centralnego komputera, w którym odbywa się analiza tych sygnałów za pomocą programu diagnostycznego „MONITOR”. Na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy układu pomiarowego dla jednego silnika oraz jego fotografię [3].



Rys. 2. Układ pomiarowy silnika indukcyjnego: a) schemat blokowy, b) fotografia urządzenia  
Fig. 2. Measurement system of induction motor: a) block diagram, b) photography of device

Poszczególne układy pomiarowe zostały zainstalowane w głównej tablicy rozdzielczej, z której zasilane są monitorowane napędy. Zaletą tego rozwiązania jest brak konieczności przesyłania analogowych sygnałów pomiarowych na znaczne odległości, co mogłoby być przyczyną powstawania dodatkowych zakłóceń. Wyjątek stanowi tu pompa główna w zlewni ścieków, której sygnały prądów i napięć należy mierzyć lokalnie, gdyż kabel zasilający prowadzony z rozdzielni zasila również inne obwody elektryczne. W roli czujników prądów fazowych silników zastosowano hallotronowe przetworniki pomiarowe prądu firmy LEM, o zakresach pomiarowych dobranych indywidualnie dla każdego silnika [2]. W układach pomiaru napięć zasilających wykorzystano wysokonapięciowe różnicowe sondy pomiarowe, pozwalające na bezpośredni pomiar napięć międzyfazowych. Każdy z badanych silników wyposażony został dodatkowo w czujnik do pomiaru drgań, w postaci akcelerometru przemysłowego. Wszystkie sygnały pomiarowe drgań doprowadzone są do rejestratorów za pomocą oddzielnych ekranowanych przewodów. Do zapisu analogowych sygnałów pomiarowych zastosowano specjalnie skonstruowane rejestratory, wyposażone w szybkie, 14-bitowe przetworniki analogowo-cyfrowe, układy filtrów analogowych oraz mikroprocesor sterujący z dodatkową pamięcią zewnętrzną. Wszystkie układy pomiarowe zostały połączone do wspólnej magistrali komunikacyjnej w standardzie RS-485, za pomocą której wymieniają dane z centralnym komputerem.

#### 4. SYSTEM STEROWANIA PRACĄ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

System sterowania pracą oczyszczalni ścieków zbudowano z wykorzystaniem sterownika PLC CJ1M-CPU12-ETN firmy Omron. Ze względu na dużą liczbę sygnałów sterujących i kontrolnych, PLC wyposażono w odpowiednie moduły we/wy cyfrowych i analogowych oraz komunikacyjnych, w szczególności:

- moduł komunikacyjny Ethernet ETN21 zintegrowany z jednostką centralną,
- moduł komunikacyjny CJ1W-SCU-41-V1 z magistralą RS232C/RS485,
- moduły wejść cyfrowych CJ1W-ID262 (2x64 wejścia),
- moduł wyjść cyfrowych CJ1W-OD262 (1x64 wyjścia),
- moduł wejść analogowych CJ1W-AD041 (4 wejścia A/C).

Ze względów bezpieczeństwa, oprócz pracy automatycznej, system umożliwia także sterowanie pracą oczyszczalni ścieków w trybie ręcznym, wówczas włączanie i wyłączanie poszczególnych urządzeń odbywa się za pomocą przełączników umieszczonych na głównej tablicy rozdzielczej.

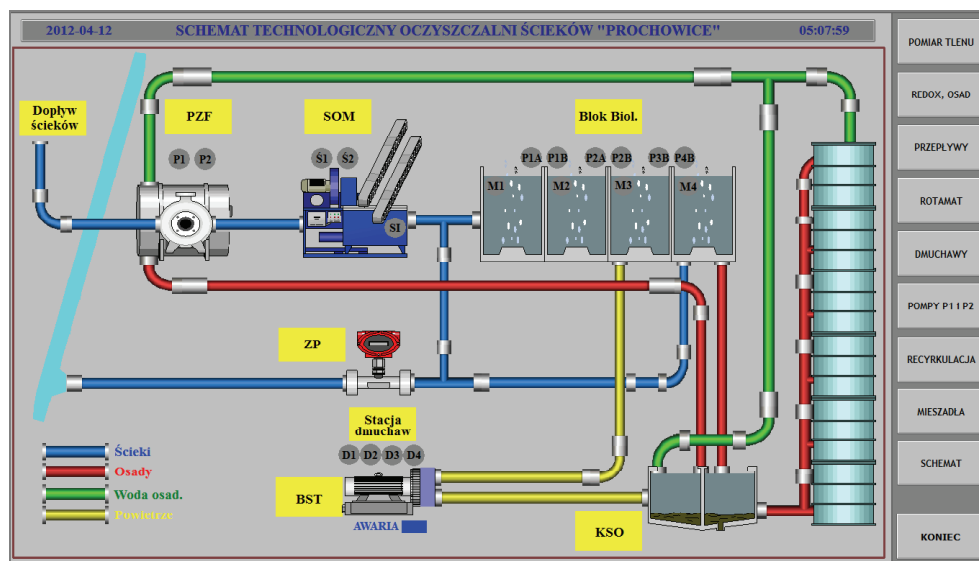
System sterowania podzielono na cztery, ściśle współpracujące ze sobą moduły:

- pomiarowy, którego zadaniem jest monitorowanie podstawowych parametrów ścieków (poziom tlenu rozpuszczonego, gęstość osadu, wsp. pH i redox),
- sterujący pracą dmuchaw natleniania ścieków,
- sterujący pracą pomp recyrkulacji wewnętrznej i zewnętrznej ścieków,
- komunikacji z komputerem przemysłowym.

Oprogramowanie sterujące pracą systemu zostało napisane w języku drabinkowym za pomocą środowiska Cx-Programmer. Zostało zaprojektowane w taki sposób, aby zminimalizować ryzyko niewłaściwego działania systemu, w związku z tym każde wystawienie odbiornika wymaga sygnału potwierdzającego zadziałanie odpowiedniego przełącznika lub stycznika. W przypadku braku potwierdzenia, system zgłasza awarię obwodu na panelu wizualizacji. Ze względu na znaczne odległości, wszystkie sygnały analogowe mierzone na obiekcie przesyłane są za pomocą interfejsu prądowego 4–20 mA, natomiast w oprogramowaniu sterującym są one odpowiednio skalowane i przedstawiane w wymaganych jednostkach.

## 5. WIZUALIZACJA PRACY OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW

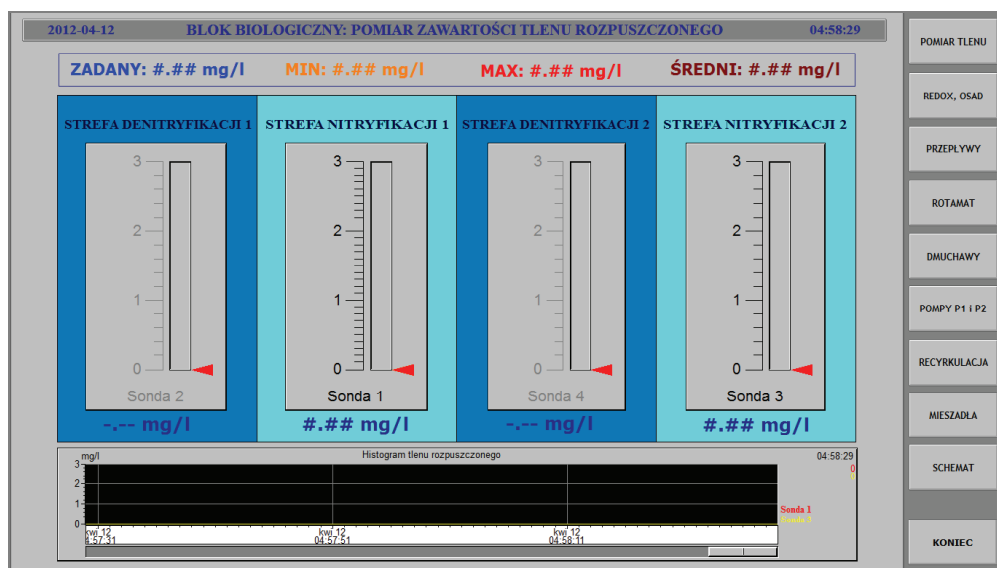
System wizualizacji pracy oczyszczalni ścieków został zrealizowany za pomocą oprogramowania Cx-Supervisor firmy Omron. Jest to profesjonalne narzędzie, umożliwiające tworzenie kompletnych aplikacji typu SCADA, niezależnie od stopnia skomplikowania systemu. Ze względu na dużą ilość informacji, która musi być przekazana obsłudze oczyszczalni, wizualizacja została zrealizowana w aplikacji wieloekranowej. Na rysunku 3 pokazano ekran ze schematem technologicznym oczyszczalni ścieków, dzięki któremu obsługa może w łatwy sposób monitorować stan pracy poszczególnych urządzeń.



Rys. 3. Widok okna ze schematem technologicznym oczyszczalni ścieków  
Fig. 3. A window view of the waste-water treatment plant flow diagram

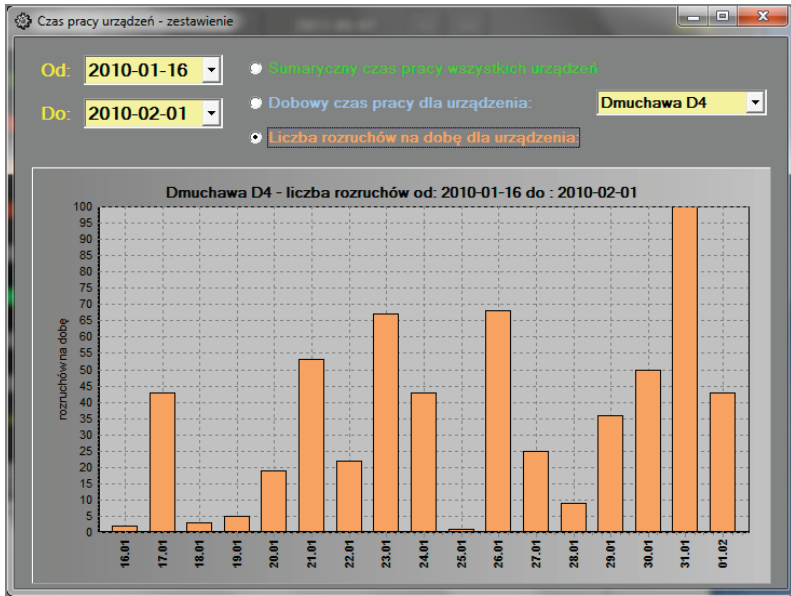
Widoczne na rysunku 3 przyciski funkcyjne służą do wywołania okna z wizualizacją pracy poszczególnych bloków funkcyjnych oczyszczalni ścieków. Dzięki temu aplikacja jest przejrzysta, a dostęp do wymaganej informacji odbywa się w sposób intuicyjny.

Należy zauważyć, że ze względów technologicznych, najważniejszą informacją jest poziom tlenu rozpuszczonego w ściekach. W związku z tym, podstawowym, uruchamianym domyślnie, jest ekran z informacją o poziomie tlenu rozpuszczonego, pokazany na rysunku 4. Oprócz obserwacji poziomu tlenu rozpuszczonego, możliwe jest wprowadzenie wartości tlenu zadanego, od którego zależy czas pracy i częstotliwość załączania dmuchaw. Aby wprowadzić zadany poziom tlenu należy dotknąć palcem na ekranie dotykowym napisu „ZADANY: x.xx mg/l” i w nowym oknie wprowadzić poziom tlenu zadanego oraz jego dopuszczalne, graniczne wartości.

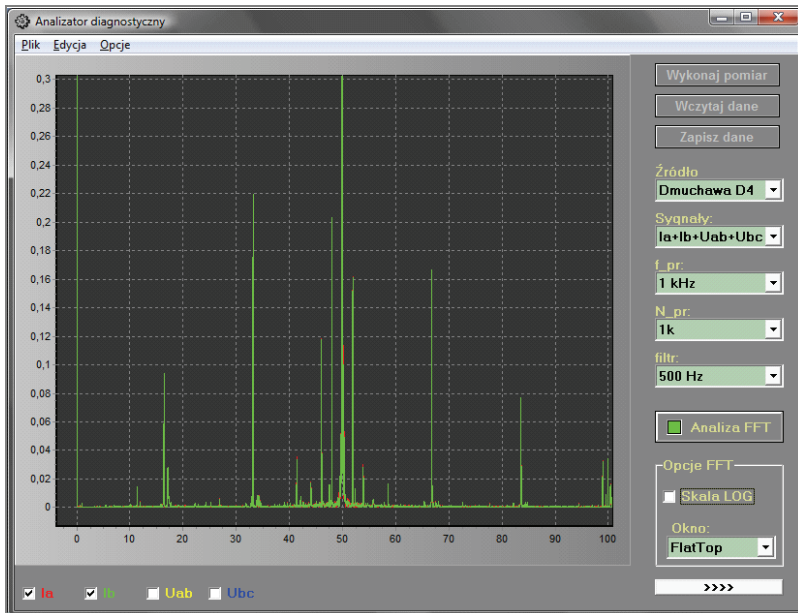


Rys. 4. Widok okna pomiarowego tlenu rozpuszczonego w ściekach  
Fig. 4. A window view of the measurement of oxygen dissolved in the waste-water

Oprócz wizualizacji aktualnego stanu pracy oczyszczalni, oprogramowanie umożliwia archiwizację mierzonych parametrów oraz tworzenie różnego rodzaju wykresów i tabel związanych ze zdarzeniami zarejestrowanymi w trakcie działania systemu. Dzięki temu możliwe jest tworzenie okresowych raportów dotyczących pracy oczyszczalni, a także analizowanie napięć i prądów zasilających poszczególne urządzenia. Przykładowe zestawienie czasu pracy dmuchawy D4 pokazano na rysunku 5, natomiast na rysunku 6 pokazano okno analizatora diagnostycznego z podglądem zawartości harmonicznych prądów zasilających dmuchawę D4.



Rys. 5. Dobowa liczba rozruchów dmuchawy D4  
 Fig. 5. The daily number of starts D4 blower



Rys. 6. Okno analizatora diagnostycznego  
 Fig. 6. A window view of the diagnostic analyzer

## 6. PODSUMOWANIE

Przedstawiony w referacie automatyczny system sterowania został wdrożony do eksploatacji w jednej z podwrocławskich oczyszczalni ścieków. Zastosowanie do jego budowy nowoczesnych rozwiązań technologicznych powoduje, że system umożliwia w pełni automatyczną pracę urządzeń. Ponadto, dzięki rozbudowanemu modułowi diagnostycznemu, przedstawiony system umożliwia również monitorowanie stanu napędów pomp i dmuchaw eksploatowanych w oczyszczalni. W przypadku pojawienia się symptomów uszkodzenia, system generuje odpowiedni komunikat sygnalizujący w ten sposób konieczność sprawdzenia stanu technicznego urządzenia, dzięki czemu liczba nagłych awarii została ograniczona. Ponadto, należy dodać, że system ma konstrukcję otwartą, co oznacza, że możliwe jest zwiększenie w przyszłości sterowanych i monitorowanych urządzeń. W takim przypadku, należałoby jedynie dokonać odpowiedniej konfiguracji w oprogramowaniu sterującym i diagnostycznym.

## LITERATURA

- [1] DYRCZ K.P., *Bezprzewodowe przesyłanie danych w systemach monitorowania i diagnostyki napędów elektrycznych*, PN IMNiPE Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały, 2009, nr 29, 276–281.
- [2] KOWALSKI CZ., PAWLAK M., *Komputerowy system diagnostyczny silnika indukcyjnego*, Przegląd Elektrotechniczny, 2008, R. 84, nr 12, 91–95.
- [3] PAWLAK M., *Zdalny system pomiarowy do monitorowania i diagnostyki napędów elektrycznych w oczyszczalni ścieków*, Przegląd Elektrotechniczny, 2010, R. 86, nr 2, 329–334.

## AUTOMATIC CONTROL AND MONITORING SYSTEM OF THE WASTE-WATER TREATMENT PLANT

The paper presents the construction of a complex system for control and monitoring drives in a small waste-water treatment plant. The basic functions of the technological process control were carried out with modern PLC, which constantly communicating with SCADA master system installed on the computer. Simultaneously to the control system works independent the measuring system, which is continuously monitoring the work of selected electric drives. This system can recognize basic failures of drives on the base of the measured signals of motor currents and supply voltages.