

**Mariusz NOWAK**

*Instytut Informatyki  
Politechnika Poznańska*

## **NOWE ROZWIĄZANIA SYSTEMÓW STEROWANIA, MONITOROWANIA I WIZUALIZACJI W GOSPODARCE WODNO-ŚCIEKOWEJ**

### **NEW SOLUTIONS OF CONTROL, MONITORING AND VISUALIZATION SYSTEMS FOR WATER AND WASTEWATER ENGINEERING**

*This paper presented the project of a computer control, monitoring and visualization system for water and wastewater engineering. The system is based on modern IT solutions in the field of wired and wireless communications, operating systems and databases. The proposed system uses the Open Source solutions and implements a different communication and programming platforms. These solutions cooperation PLC controllers and propagation of data to visualization on mobile devices is possible. The presented solution allows to reduce the cost of purchase and to reduce the cost of functioning of the control, monitoring and visualization system. At the same time a high level of security is guaranteed.*

## **1. Wprowadzenie**

Woda zajmuje szczególne miejsce wśród odnawialnych zasobów środowiska naturalnego. Jest surowcem, środowiskiem życia i odbiornikiem odpadów oraz warunkuje rozwój gospodarczej działalności człowieka. Od jakości i dostępności wody uzależnione jest zdrowie i życie człowieka, a jej niedobór lub nadmiar prowadzi do klęsk żywiołowych. W preambule Ramowej Dyrektywy Wodnej 2000/60/WE (RDW) z dnia 23 października 2000 roku można znaleźć stwierdzenie: „...woda nie jest produktem handlowym takim jak każdy inny, ale raczej dziedzicznym dobrem, które musi być chronione, bronię i traktowane jako takie...”. Woda od zawsze stanowiła podstawę egzystencji człowieka. Kiedyś przetrwanie człowieka było uzależnione od dostępu do wody, jednak wraz z rozwojem cywilizacji jego stosunek do niej uległ zmianie. Człowiek zaczął traktować wodę jako dobro powszechne, uznając jej zasoby za nieograniczone. Taki sposób myślenia doprowadził do degradacji wód stanowiących zapas wody pitnej dla przyszłych pokoleń [12]. Głównym celem opracowanej kilkanaście lat temu dyrektywy jest zobowiązanie państw członkowskich Unii Europejskiej do racjonalnego wykorzystania i ochrony zasobów wodnych w myśl zasady zrównoważonego rozwoju

oraz *osiągnięcie dobrego stanu wszystkich wód* do 2015 roku [8, 12]. Realizacja wymienionych celów stanie się możliwa pod warunkiem budowy oraz rozbudowy sieci kanalizacyjnych, oczyszczalni ścieków, ujęć wody, stacji uzdatniania wody, sieci wodociągowych wraz ze zbiornikami i pompowniami oraz modernizacji już istniejących obiektów wodno-kanalizacyjnych między innymi poprzez wyposażanie tych obiektów w zaawansowane komputerowe systemy sterowania, monitorowania i wizualizacji.

W artykule przedstawiono projekt zaawansowanego komputerowego systemu sterowania, monitorowania i wizualizacji sieci wodno-kanalizacyjnych, który bazuje na nowoczesnych rozwiązaniach informatycznych z zakresu komunikacji przewodowej i bezprzewodowej, systemów operacyjnych i baz danych. Przedstawiony system wykorzystuje między innymi rozwiązania typu Open Source oraz implementuje różne platformy komunikacyjne i programistyczne, dzięki czemu możliwe stają się: współpraca sterowników różnych producentów, propagacja danych w celu wizualizacji na urządzeniach mobilnych oraz wykorzystanie darmowych rozwiązań z dziedziny przemysłowych komputerowych systemów sterowania, monitorowania i wizualizacji. Prezentowane w artykule rozwiązania pozwalają na obniżenie kosztów zakupu i funkcjonowania systemów sterowania, monitorowania i wizualizacji przy jednoczesnym gwarantowanym wysokim poziomie bezpieczeństwa informatycznego.

## 2. Instalacje w systemach wodociągowych i kanalizacyjnych

Z problemami uzdatniania i oczyszczania wody można spotkać się między innymi w kotłowniach wodnych i parowych, układach chłodniczych, basenach, fontannach, instalacjach wody technologicznej, instalacjach wody socjalno-bytowej oraz instalacjach ciepłej wody użytkowej. Jednak najczęściej procesy uzdatniania i oczyszczania wody związane są ze stacjami uzdatniania i dystrybucji wody oraz z oczyszczalniami ścieków.

Współcześnie, stacja uzdatniania wody (SUW) to zespół kilku różnych instalacji technologicznych, niezbędnych do prowadzenia procesu uzdatniania wody, które nadzorowane są przez zintegrowane komputerowe systemy sterowania, monitorowania i wizualizacji. W zależności od przeznaczenia wody oraz norm jakościowych produktu końcowego, na proces uzdatniania wody składają się:

- odżelaznianie,
- zmiękczenie,
- demineralizacja,
- filtracja (mechaniczna, węglowa, mineralna),
- dezynfekcja,
- aeracja.

W oczyszczalniach ścieków wyróżnia się instalacje niezbędne do prowadzenia oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych (komunalnych) lub przemysłowych. Na oczyszczanie ścieków składają się następujące, uzupełniające się procesy nadzorowane z poziomu komputerowego systemu sterowania:

- oczyszczanie mechaniczne,
- oczyszczanie chemiczne,
- oczyszczanie biologiczne.

Wymienione procesy, prowadzone zarówno w stacjach uzdatniania wody oraz w oczyszczalniach ścieków powinny być poddane ciągłemu monitorowaniu. W stacjach uzdatniania wody sterowanie instalacjami technologicznymi realizowane jest za pomocą odpowiednich algorytmów regulacji automatycznej implementowanych w sterownikach programowalnych lub w komputerach przemysłowych. Do najważniejszych zadań układów regulacji automatycznej w SUW-ach należy sterowanie:

- pompami wody nieuzdatnionej,
- wielkością przepływu przez filtry żwirowe, węglowe,
- cyklem pracy filtrów i ich płukania,
- dozowaniem chemikaliów,
- napowietrzaniem,
- pompami instalacji sieciowej w zależności od ciśnienia i aktualnego zapotrzebowania na wodę uzdatnioną.

W stacjach uzdatniania wody najczęściej monitorowane są takie parametry jak:

- ciśnienie wody z rurociągach,
- poziomy wody w zbiornikach,
- chwilowe wartości przepływu wody,
- mętność wody i zawartość chloru,
- praca/postój urządzeń wykonawczych,
- stan zasuw.

W oczyszczalniach ścieków, w części mechanicznej prowadzone są procesy fizyczno-chemiczne. Systemy sterowania mają za zadanie między innymi utrzymywanie stałych wartości:

- poziomu dopływu ścieków surowych,
- cyklu czasowego pracy pomp,
- dawki reagenta proporcjonalnie do natężenia przepływu ścieków,
- cyklu czasowego pracy zasuw spustowych osadu wstępnego.

Systemy sterowania w części biologicznej mają za zadanie między innymi utrzymywanie:

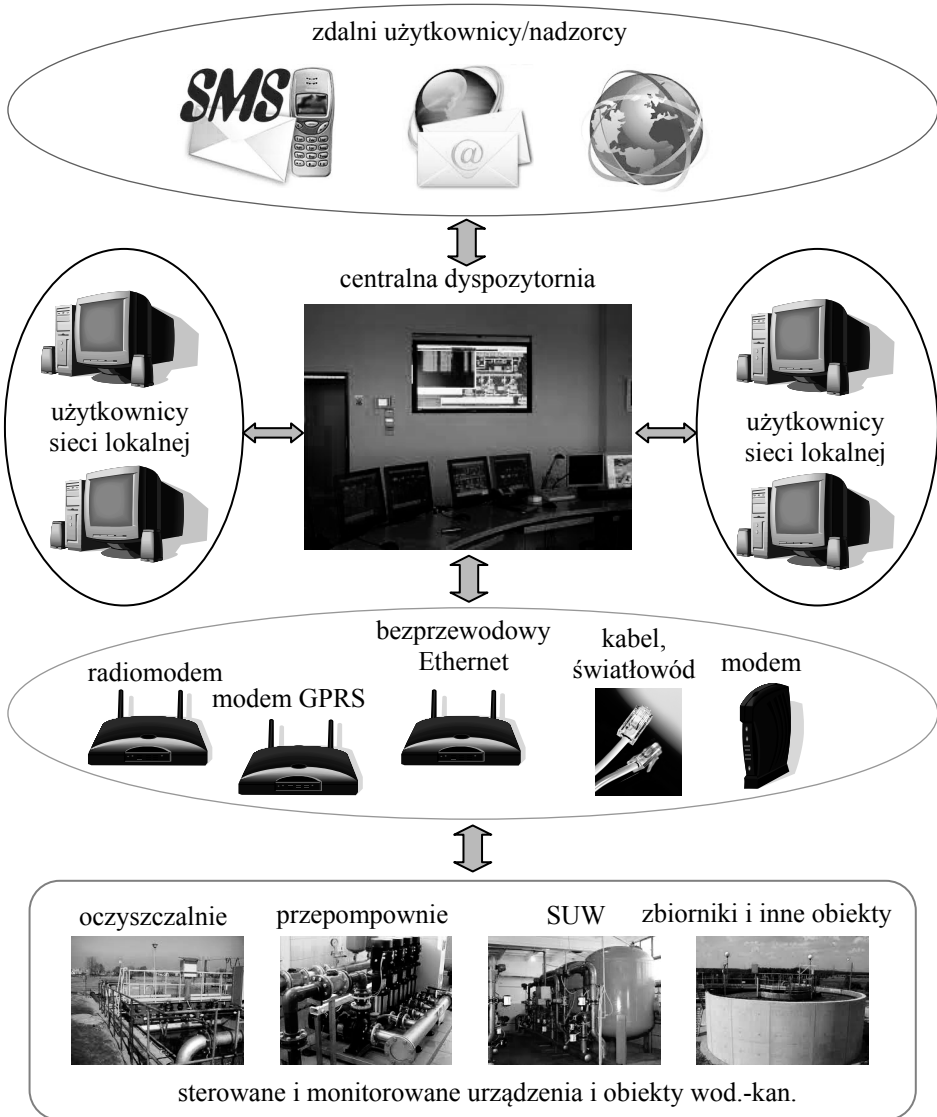
- stałego zadanego stężenia tlenu w poszczególnych komorach,
- stałego zadanego stężenia osadu czynnego,
- określonej wydajności pomp recyrkulacji.

Dla zapewnienia prawidłowej eksploatacji zarówno instalacji technologicznych w stacjach uzdatniania wody jak i instalacji technologicznych w oczyszczalniach ścieków oraz właściwych parametrów produktów końcowych oferowanych w obu wymienionych obiektach, niezbędne jest posiadanie informacji o rzeczywistych parametrach technicznych, bieżących wartościach wielkości pomiarowych oraz zmianach tych wartości w funkcji czasu. Do realizacji wymienionych zadań niezbędny staje się zintegrowany komputerowy system sterowania, monitorowania i wizualizacji wykorzystujący między innymi najnowsze rozwiązania z dziedziny komunikacji, systemów operacyjnych i baz danych [4, 5].

### 3. Zintegrowany system sterowania, monitorowania i wizualizacji w systemach wodno-kanalizacyjnych

Na system sterowania, monitorowania i wizualizacji składają się: sprzęt komputerowy, kanały transmisyjne, czujniki, sensory oraz specjalistyczne oprogramowanie pozwalające na zbieranie, przetwarzanie, transmisję, archiwizację oraz wizualizację danych w czasie rzeczywistym. Dane dostarczane do centralnego systemu zarządzania wykorzystywane są do zdalnego sterowania urządzeniami wykonawczymi. W inżynierii wodno-kanalizacyjnej systemy sterowania i monitoringu są niezbędne do efektywnego zarządzania sieciami i obiektami technologicznymi, często rozmieszczonymi w znacznych odległościach od siebie [5]. Dzięki komputerowym systemom monitorowania i sterowania możliwe staje się natychmiastowe reagowanie na sytuacje awaryjne oraz przewidywanie możliwości wystąpienia awarii poszczególnych urządzeń wykonawczych lub zespołów urządzeń. Zintegrowane systemy sterowania, monitorowania i wizualizacji pozwalają na lepsze zarządzanie remontami i przeglądami okresowymi, przyczyniają się do zmniejszania zużycia energii przez urządzenia pracujące w sieciach. Bardzo cenną zaletą zaawansowanych komputerowych systemów automatyki jest możliwość przeprowadzania złożonych analiz techniczno-ekonomicznych w różnych horyzontach czasu, niezbędnych do określania między innymi wydajności systemów wodno-kanalizacyjnych oraz podejmowania decyzji o ewentualnej rozbudowie monitorowanego systemu inżynieryjnego. Na rysunku 1 przedstawiono zintegrowany komputerowy system sterowania, monitorowania i wizualizacji stosowany w obiektach wodno-kanalizacyjnych.

Monitoring z centralnej lokalizacji może obejmować lokalne oczyszczalnie ścieków, przepompownie ścieków, rozmieszczone w różnych lokalizacjach stacje uzdatniania wody, ujęcia wody, studnie głębinowe, pompownie, zbiorniki wody czystej, zbiorniki wyrównawcze oraz inne obiekty inżynierii wodno-kanalizacyjnej. Dzięki zastosowaniu odpowiedniego oprogramowania możliwy jest dostęp do informacji o stanie pracy poszczególnych instalacji poprzez sieć Internet lub sieć GSM. Takie rozwiązanie pozwala nadzorować pracę obiektów z dowolnego miejsca po przeprowadzeniu odpowiedniej autoryzacji. Dodatkowo powiadomianie w formie SMS-ów lub wiadomości e-mail przyczyniają się do redukcji kosztów nadzoru i obsługi systemów wodno-kanalizacyjnych.



Rys. 1. Zintegrowany system sterowania, monitorowania i wizualizacji w obiektach wodno-kanalizacyjnych

Fig. 1. Integrated control, monitoring and visualization systems of sewage treatment and water supply systems

### 3.1. Klasyczny system SCADA

W klasycznym podejściu, w warstwie bezpośredniego sterowania instalacjami wodno-kanalizacyjnymi wykorzystuje się sterowniki PLC, dedykowane sterowniki dla instalacji wodno-kanalizacyjnych, regulatory przemysłowe, regulatory dedykowane dla automatyki oczyszczalni ścieków i stacji uzdatniania wody oraz coraz częściej inteligentne czujniki (intelligent sensor, smart sensor). W sterownikach PLC implementuje się algorytmy regulacji bezpośredniej. Głównym zadaniem sterowników PLC jest czytanie zmiennych procesowych i sterowanie odpowiednimi instalacjami technologicznymi poprzez generowanie zmiennych sterujących. Sterowniki PLC wykorzystywane są także do realizacji funkcji diagnostycznych, co jest bardzo cenną zaletą w kontekście pracy w zdalnej lokalizacji. W zintegrowanych systemach sterowania, monitorowania i wizualizacji instalacji technologicznych można założyć możliwość pracy sterowników różnych producentów, z czym często można spotkać się w obiektach infrastruktury wodno-kanalizacyjnej, które przeszły proces modernizacji lub rozbudowy. Gwarantem wzajemnej współpracy elementów warstwy sterowania bezpośredniego z elementami warstwy sterowania nadrzędnego, szczególnie w sytuacji różnorodności sterowników jak i pozostałych urządzeń jest serwer OPC (ang. OLE for Process Control). Najważniejszym zadaniem serwera OPC jest udostępnianie uproszczonego sposobu obsługi i komunikowania się sterowników PLC różnych producentów z systemami typu SCADA (ang. Supervisory Control And Data Acquisition). OPC jest standardem przemysłowym stworzonym we współpracy producentów sprzętu oraz oprogramowania z dziedziny automatyki z firmą Microsoft [1, 9, 10]. W proponowanym w artykule rozwiązaniu, nadrzędnym celem przy opracowywaniu serwera OPC było uniezależnienie nadzorczego oprogramowania monitorowania i sterowania od rozwiązań producenta sterowników i związanego z nimi oprogramowania. W systemach sterowania, monitorowania i wizualizacji instalacji inżynierskich można dodatkowo przewidzieć możliwość połączenia sterowników nieobsługujących technologii OPC poprzez protokół Ethernet lub np. MPI z urządzeniami typu HMI (ang. Human Machine Interface), które pozwalają na propagację danych do innych komponentów systemu sterowania, monitorowania i wizualizacji.

Rolę nadzorca systemu sterowania automatyką instalacji wodno-kanalizacyjnych wraz z monitorowaniem i wizualizacją stanu tych instalacji pełni system SCADA, w którym między innymi implementuje się algorytmy regulacji nadrzędnej. System SCADA realizuje następujące zadania szczegółowe [4]:

- komunikacja ze sterownikami PLC, dedykowanymi regulatorami, komputerami przemysłowymi oraz koncentratorami danych pomiarowych,
- przetwarzanie zmiennych procesowych poprzez generację bilansów oraz obliczanie zmiennych niemierzalnych,
- oddziaływanie na proces poprzez sterowanie ręczną pracą urządzeń wykonawczych z poziomu konsoli,
- nadzór i nadrzędna kontrola instalacji w obiektach wodno-kanalizacyjnych,
- sygnalizacja stanów alarmowych instalacji lub urządzeń automatyki,
- archiwizacja danych procesowych wraz z raportowaniem i prowadzeniem analiz statystycznych,
- graficzna i tekstowa wizualizacja pracy instalacji wodno-kanalizacyjnych na ekranach synoptycznych,
- wspomaganie konstrukcji struktur algorytmicznych,
- automatyczna obsługa działań powtarzalnych i rutynowych,

- prognozowanie zużycia materiałów eksploatacyjnych w stacjach uzdatniania wody i oczyszczalniach ścieków,
- zarządzanie gospodarką remontową urządzeń automatyki w obiektach wodno-kanalizacyjnych.

Systemy SCADA dzięki swojej otwartości oraz szerokiemu spektrum zastosowań znacząco rozszerzają możliwości nadzoru nad instalacjami w obiektach wodno-kanalizacyjnych. Dodatkową zaletą jest możliwość wykorzystania darmowych modułów lub całych systemów SCADA, co jest szczególnie istotne dla inwestorów dysponujących ograniczonymi środkami finansowymi lub dążących do minimalizacji wydatków na realizację zaawansowanych rozwiązań w sterowaniu, monitorowaniu i wizualizacji urządzeń i instalacji inżynierskich. Inwestor ponosi w takim przypadku koszty wdrożenia systemu SCADA.

### **3.2. Zaawansowany system SCADA dla zastosowań w systemach wodno-kanalizacyjnych**

W artykule zostanie przedstawiona przykładowa konfiguracja systemu nadrzędnego sterowania i akwizycji danych SCADA z wykorzystaniem różnych architektur i platform programistycznych, w tym z zakresu Open Source, co ma przyczynić się przede wszystkim do znaczącego obniżenia kosztów systemu. Dodatkowo system zarządzania instalacjami, w takiej konfiguracji rozwiązań informatycznych, jest otwarty na modyfikacje zarówno sprzętowe jak i programowe oraz gotowy jest na wchłonięcie kolejnych modułów rozszerzających jego funkcjonalność.

Poza standardowymi rozwiązaniami, coraz częściej systemy sterowania, monitorowania i wizualizacji wdrażane w obiektach inżynierii wodno-kanalizacyjnej rozszerza się o zdalny dostęp do nadzorowanego procesu z poziomu urządzeń mobilnych. Aplikacje mobilne znacząco zwiększające możliwości sterowania, monitorowania i wizualizacji systemów wodno-kanalizacyjnych mogą być tworzone z wykorzystaniem komponentów dostarczanych do środowisk programistycznych takich jak np. Microsoft Visual Studio [3, 7].

W dalszej części artykułu scharakteryzowane zostaną architektury i platformy informatyczne rozszerzające funkcjonalność zaawansowanych systemów SCADA dla zastosowań w systemach wodno-kanalizacyjnych.

#### **3.2.1. Architektura SOA**

Architektura SOA (ang. Service-Oriented Architecture) jest architekturą opartą na usługach. Architektura ta udostępnia komponenty służące do komunikacji pomiędzy: różnymi platformami, technologiami, fizycznymi topologiami, granicami aplikacji, granicami wdrożeń i zaufania. Komponenty stworzonej aplikacji mogą być połączone, celem dostarczenia klientowi zaawansowanych usług. Architektura SOA może zostać zaimplementowana w celu realizacji komunikacji pomiędzy systemem nadzorczym SCADA a klientami za pośrednictwem urządzenia mobilnego lub stacjonarnego [7].

Kluczowymi atrybutami SOA są:

- interoperacyjność – komponenty mogą być interoperacyjne mimo istniejących granic technologicznych i platformowych,
- komponentyzacja – serwis jest udostępniany jako komponent weryfikowany i zarządzany niezależnie,
- dostosowalność – serwis może być dostosowany do aplikacji w celu wykonywania złożonych operacji,
- interfejs oparty na wiadomościach – interfejs jest zdefiniowany za pomocą kontraktów wiadomości i schematów, odwołania do metod oraz parametry przekazywane są przez wiadomości XML,
- dystrybucyjność – komponenty mogą być skonsumowane przez tą samą maszynę lub przekazane innym maszynom, interfejs i logika serwisu jest niezależna od warstwy transportowej oraz protokołów umożliwiających dostęp do serwisu,
- odkrywalność – serwis publikuje swoje metadane w formie języka WSDL prze co aplikacja kliencka ma możliwość pozyskania interfejsu oraz schematów dostarczanych usług.

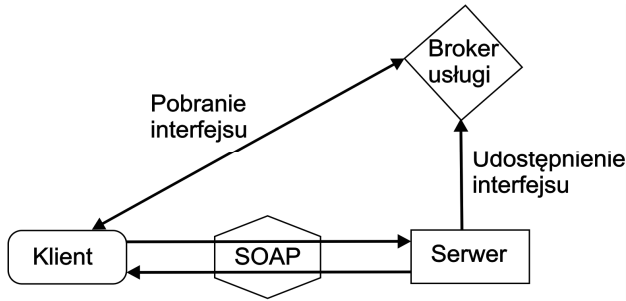
### 3.2.2. Web Service

Web Service (pol. Web Serwis) jest oprogramowaniem stworzonym w celu ułatwienia interakcji pomiędzy maszynami w sieci niezależnie od platform, na których działają [2]. Web Serwis wyposażony jest w interfejs zapisany w postaci formatu języka procesorowego maszyny – WSDL (ang. Web Services Description Language). Inne systemy współpracują z Web Serwisem z wykorzystaniem opisu zawartego w komunikatach SOAP (ang. Simple Object Access Protocol), standardowo przekazywanych poprzez protokół http z tzw. serializacją XML w połączeniu z innymi Web-standardami. Język WSDL oparty jest na strukturze XML, służy do szczegółowego opisu komunikacji z Web Serwisem oraz definiuje rodzaje stosowanych zabezpieczeń. Wykorzystywany jest między innymi do tworzenia plików konfiguracyjnych klienta i serwera. Język WSDL definiuje:

- typy danych,
- wiązania do unikalnych adresów (punktów końcowych),
- protokół zastosowany w komunikacji oraz wiązania pomiędzy protokołem a interfejsem,
- operacje oraz przypisuje do nich komunikaty i grupuje je w interfejsie.

Na rysunku 2 przedstawiona została uogólniona zasada działania Web Serwisu, gdzie wymiana danych między serwerem a klientem realizowana jest za pośrednictwem protokołu SOAP.





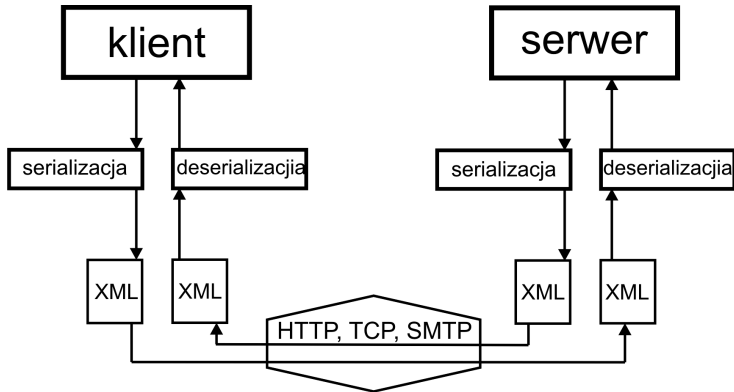
Rys. 2. Ogólna zasada działania Web Serwisu

Fig. 2. General principle of Web Service

Serwer udostępnia interfejs, który pozwala klientowi na dostęp do odpowiednich usług i do odpowiednich danych. Odwołanie do interfejsu odbywa się za pośrednictwem tzw. brokera usługi. Web Serwisy w znacznym stopniu upraszczają współpracę między serwerem a klientem poprzez udostępnianie możliwości łączenia się z innymi usługami, tworzenie usług i wykorzystywanie usług z wykorzystaniem zdefiniowanych standardów. Web Serwisy mogą być wykorzystywane w zastosowaniach typowo przemysłowych oraz w dziedzinie inżynierii środowiska, w sytuacjach kiedy potrzebny jest zdalny dostęp do zgromadzonych danych.

### 3.2.3. Protokół SOAP

SOAP jest protokołem stworzonym na bazie XML, który ma postać komunikatów przesyłanych za pomocą protokołów sieciowych HTTP, TCP oraz SMTP. SOAP posiada architekturę otwartą na modyfikacje, dzięki czemu użytkownik ma możliwość wyboru odpowiedniego protokołu pod warunkiem zachowania interoperacyjności [13]. Cenną cechą protokołu SOAP jest możliwość zaprogramowania aplikacji wykorzystującej ten protokół komunikacyjny w dowolnym języku i na dowolną platformę systemową, co w konsekwencji ułatwia tworzenie Web Serwisów. Dodatkowo SOAP umożliwia włączenie rozszerzeń związanych z bezpieczeństwem i wiarygodnością. Na rysunku 3 przedstawiony został przykładowy schemat komunikacji za pomocą protokołu SOAP.



Rys. 3. Przykładowy schemat komunikacji w wykorzystaniu protokołu SOAP

Fig. 3. Example communication using the SOAP protocol

Wiadomość SOAP ma następujące elementy składowe:

- Envelope – element wymagany nadrzędny wiadomości SOAP, ponieważ określa on dokument XML jako wiadomość SOAP,
- Header – element opcjonalny, może dodatkowo zawierać określone przez aplikację informacje na temat wiadomości SOAP; jeśli występuje w wiadomości SOAP, musi być pierwszym elementem podrzędnym do elementu Envelope,
- Body – element wymagany, zawiera wiadomość SOAP,
- Faulty – element opcjonalny, używany w celu dostarczenia informacji o błędach, które wystąpiły w czasie tworzenia wiadomości; element ten może wystąpić w wiadomości pełniącej rolę odpowiedzi i być podrzędnym do elementu Body; może pojawić się tylko raz w ramach jednego komunikatu SOAP.

Wśród zalet SOAP należy wymienić:

- możliwość łatwego omijania źródeł zapłonu ogniowego oraz innych problemów wynikających z charakteru połączeniowego dzięki komunikacji realizowanej za pomocą http/https,
- w ramach SOAP można używać innych niż http/https protokołów transportowych,
- SOAP jest niezależne od platformy,
- SOAP jest niezależne od języków programowania,
- SOAP jest proste w zastosowaniu i rozszerzalne.

Wadami SOAP są:

- dziedziczenie wad rozwiązania XML, przede wszystkim nadmiarowość samej składni języka XML,
- przy użyciu http/https tylko jedna strona może być usługobiorcą, w związku z tym programiści muszą co jakiś czas odpytywać serwis zamiast notyfikować klienta.

### 3.2.4. NET Framework

.NET Framework jest platformą programistyczną stworzoną przez firmę Microsoft, umożliwiającą tworzenie oprogramowania w wielu językach (np. C++, C#, Visual Basic) oraz na platformę mobilną Windows Mobile (.NET Compact Framework – wersja mobilna platformy .NET). Platforma programistyczna .NET dostarcza biblioteki, klasy i środowisko uruchomieniowe CLR (ang. Common Language Runtime). Istotne jest, że programowanie dla tej platformy różni się znacząco od standardowego modelu programowania dla systemów klasy Win32, w którym programista jest obciążony wieloma zadaniami (np. wykonanie interfejsu graficznego). Wśród komponentów wchodzących w skład platformy .NET można wyróżnić:

- WCF – technologia służąca do tworzenia usług sieciowych,
- ADO.NET – technologia bazodanowa,
- ASP.NET – technologia dynamicznego tworzenia stron www.

### 3.2.5. Windows Communication Foundation

Windows Communication Foundation (WCF) jest pewną generacją usług sieciowych. System ten został stworzony w oparciu o koncepcję SOA. Komunikacja z założeniami jest zrealizowana na protokole komunikacyjnym SOAP, który umożliwia komunikację pomiędzy wieloma różnymi platformami. Interfejs programistyczny WCF jest integralną częścią platformy .NET. WCF gwarantuje:

- integralność komunikatów,
- poufność komunikatów,
- detekcję powtórzeń,
- autentyczność inicjatora i respondenta.

### 3.2.6. Klasyczne OPC

Klasyczne OPC (ang. OLE for Process Control) jest połączeniem wielu ustandaryzowanych interfejsów, które służą głównie do konsumpcji bieżących danych z urządzeń automatyki przemysłowej. Interfejs OPC oferuje możliwość skanowania przestrzeni adresowej urządzeń w celu uzyskania informacji o możliwości dostępu do danych jak i samo pozyskiwanie tych danych. OPC oparte jest o architekturę typu klient-serwer z możliwością otrzymywania danych jak i dostarczania danych do dalszej propagacji w systemie. Klasyczne OPC zostało stworzone w technologii Microsoft COM (ang. Component Object Model) i Microsoft DCOM (ang. Distributed Component Object Model). OPC skorzystało z wszystkich zalet rozwiązań COM i DCOM oraz przejęło ich wady. Wśród najważniejszych zalet OPC należy wymienić:

- mechanizm komunikacji klienta z serwerem – zapewnienie mechanizmu wywołania metod klienta na obiektach COM serwera (serwer mógł znajdować się w tym samym procesie, innym procesie lub innym węźle sieci lokalnej),
- skrócenie czasu tworzenia specyfikacji OPC i produktów – technologia COM i DCOM jest dostępna w każdym systemie operacyjnym firmy Microsoft,

Do najważniejszych wad OPC należy zaliczyć:

- brak multiplatformowości – zależność od platformy Windows,
- pewne problemy ze zdalną komunikacją – brak możliwości konfiguracji czasu oczekiwania.

W klasycznym OPC stworzono trzy główne specyfikacje, które zostaną krótko scharakteryzowane [10].

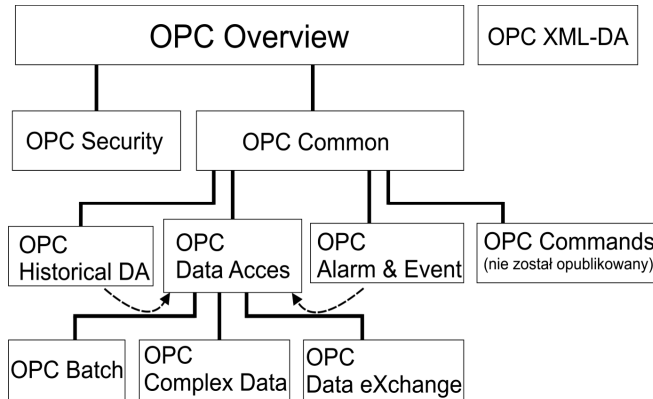
OPC Data Access (OPC DA) jest interfejsem umożliwiającym nadpisywanie, czytanie i monitorowanie zmiennych procesowych w czasie rzeczywistym niezależnie od producenta urządzenia wykonawczego systemu automatyki procesowej. Dzięki OPC Data Access możliwe jest przysyłanie danych ze sterowników PLC do urządzeń HMI lub innych klientów zainstalowanych w sieci. OPC DA jest podstawowym i najważniejszym interfejsem OPC. Inne interfejsy zostały stworzone w celu uzupełnienia lub rozszerzenia interfejsu OPC DA. Komunikacja pomiędzy serwerem a klientem jest inicjowana przez klienta po stworzeniu przez niego obiektu OPC Server, na którym wywołuje się metody służące do nawigacji po przestrzeni adresowej w celu znalezienia pozycji, czytania, pisania oraz sprawdzenia typu danych lub sprawdzenia praw dostępu. W celu dostępu do danych klient grupuje elementy serwera w odpowiednie OPC Group z charakterystycznym czasem odświeżania zmiennych. Odczytywanie danych polega na monitorowaniu zmian wartości w danej grupie elementów. W tym celu po stronie serwera definiuje się cykle odświeżania grup. Po każdym cyklu do klienta wysyłane są tylko te wartości, które uległy zmianie, co skutkuje zmniejszeniem liczby transmitowanych danych do minimum. W celu eliminacji problemów komunikacyjnych pomiędzy klientem a serwerem zastosowano znakowanie czasem pakietów danych wraz z określeniem ich dokładności jako dokładne, niedostępne lub nieznanne.

OPC Alarm & Events pozwala na odbiór powiadomień o zdarzeniach oraz zgłoszonych alarmów z procesu technologicznego. Zdarzeniami nazywane są pojedyncze informacje o zaistnieniu zmian w danym procesie technologicznym, kierowane do klienta. Alarmy mają za zadanie informowanie klienta o zmianie warunków procesu. Połączenie z serwerem jest możliwe przez stworzenie obiektu serwera OPC Event Server i wygenerowanie subskrypcji usługi OPC Event Subscription w celu otrzymywania wiadomości o zdarzeniach. W celu zmniejszenia liczby otrzymywanych zbędnych informacji można zdefiniować kryteria filtru odcinającego nadmiarowe informacje. Definiowanie można przeprowadzić z uwzględnieniem źródeł zdarzeń, typów zdarzeń lub priorytetów. Każde kryterium można definiować oddzielnie dla wielu subskrypcji.

OPC Historical Data Access udostępnia ujednoczoną metodę dostępu do danych archiwalnych. Klient ma możliwość łączenia się z serwerem poprzez utworzenie obiektu OPC HDA Server na HDA serwerze. Utworzony obiekt oferuje interfejsy i metody służące do odczytu oraz aktualizacji danych historycznych. Kolejnym etapem jest zdefiniowanie OPC HDA Browser, który służy do przeglądania przestrzeni adresowej OPC HDA serwera. Podstawowym zadaniem interfejsu OPC HDA Browser jest odczytywanie danych oraz usuwanie, zamiana i stawianie do bazy danych historycznych.

Poza wymienionymi trzema głównymi specyfikacjami OPC istnieje również OPC XML-DA (ang. eXtensible Markup Language – Data Access), która jest pierwszą niezależną od platformy specyfikacją OPC. W OPC XML-DA komunikacja oparta na COM i DCOM została zastąpiona przez zastosowanie protokołów HTTP, SOAP i Web Service. Głównym celem, który udało się osiągnąć było stworzenie usługi sieciowej oraz dostępu do niej przez sieć Internet. Klasyczne OPC określa dodatkowo mniej znaczące standardy, które mogą być używane w zaawansowanych przemysłowych systemach SCADA, takie jak OPC Overview oraz OPC Common, które definiują dodatkowe interfejsy. Istotnym jest OPC Security, który definiuje sposób kontroli dostępu klienta do serwera. Kolejnym jest OPC Batch, który jest rozszerzeniem OPC DA poprzez dodanie możliwości definiowania procesów wsadowych. OPC Data eXchange jest rozszerzeniem OPC DA polegającym na dodaniu definicji zachowań klientów oraz konfiguracji inter-

fejsu klienta wewnątrz serwera. Jest to specyfikacja pozwalająca na komunikację pomiędzy serwerami, pomiędzy urządzeniami różnych producentów pracujących w jednej sieci przemysłowej oraz komunikację poprzez sieć Ethernet. Dodatkowymi interfejsami możliwymi do implementacji w zaawansowanych systemach SCADA są OPC Complex Data, który określa sposób transportu danych jako struktury binarne lub XML oraz OPC Commands, który definiuje mechanizm wywołań metod i programów. OPC Command jest specyfikacją nad którą trwają jeszcze prace końcowe. Na rysunku 4 przedstawiono schemat blokowy klasycznego OPC.

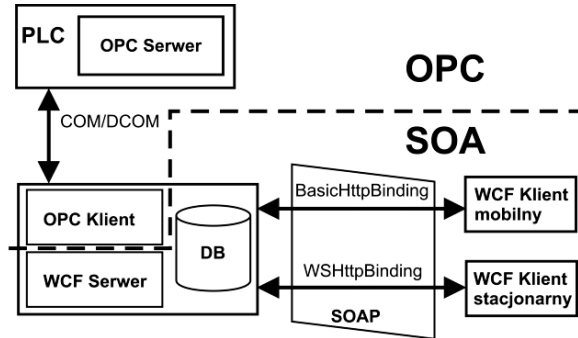


Rys.4. Klasyczny OPC

Fig. 4. Classic OPC

### 3.2.7. Architektura zaawansowanego systemu SCADA opartego na OPC

Sterowanie nadrzędne w systemach automatyki instalacji wodno-kanalizacyjnych może zostać zrealizowane przez zastosowanie trzech głównych elementów: OPC Serwera, aplikacji serwerowej (OPC Klient i Serwer WCF) oraz aplikacji klienckiej (między innymi dla klienta mobilnego WCF). Zadaniem OPC Serwera, zainstalowanego na sterowniku PLC, jest przedstawianie danych procesowych klientowi OPC oraz udostępnianie możliwości ich nadpisu. Aplikacja serwerowa, będąca zarazem klientem OPC, pełni rolę jednostki akwizycji danych, waliduje tożsamość klienta, przedstawia dane klientowi oraz umożliwia ingerencję w nadzorowany proces. Klient standardowy oraz klient mobilny mają możliwość pełnej kontroli nad procesem, realizacji wizualizacji stanu instalacji technologicznych i urządzeń automatyki oraz sygnalizacji alarmów. Na rysunku 5 przedstawiona została struktura proponowanego systemu.



Rys. 5. Schemat blokowy systemu sterowania, monitorowania i wizualizacji pracy instalacji wodno-kanalizacyjnej

Fig. 5. Block diagram of control, monitoring and visualization system of sewage treatment and water supply system

Zaproponowana na rysunku 5 struktura systemu sterowania, monitorowania i wizualizacji wymaga zainstalowania na sterowniku PLC modułu komunikacyjnego, którego zadaniem jest prowadzenie wymiany komunikatów z OPC Serwerem oraz współdzielenie markerów z OPC Serwerem. OPC Serwer może być stworzony w dowolnym środowisku umożliwiającym programowanie systemów SCADA. OPC Serwer wyposażony w moduł komunikacyjny gwarantuje wymianę komunikatów ze sterownikami PLC, wymianę komunikatów z OPC Klientem oraz współdzielenie markerów ze sterownikami PLC. OPC Serwer wyposażony jest również w funkcje pozwalające na sterowanie procesami oraz wizualizację stanu instalacji technologicznych. W skład aplikacji SCADA Serwer wchodzi: moduł zapewniający komunikację z OPC Serwerem, moduł odpowiedzialny za pobieranie i zapisywanie danych zarówno z jak i do bazy danych, funkcje konwersji oraz przetwarzania danych, moduł realizujący komunikację ze SCADA Klientem, funkcja walidująca tożsamość użytkownika stacjonarnego i mobilnego, funkcje nadzoru i wizualizacji danych. W skład aplikacji SCADA Klient wchodzi moduł komunikacji ze SCADA Serwerem oraz funkcje odpowiedzialne za realizację sterowania procesem i wizualizację stanu instalacji technologicznych.

W trakcie tworzenia aplikacji programistycznej zaawansowanego komputerowego systemu sterowania, monitorowania i wizualizacji zostały zdefiniowane następujące funkcje oraz moduły, zarówno widoczne jak i niedostrzegalne przez użytkownika w trakcie jego pracy z aplikacją:

- moduły po stronie serwera – komunikacyjny z OPC Serwerem, komunikacyjny z klientem, bazodanowy, bezpieczeństwa klienta mobilnego, bezpieczeństwa klienta stacjonarnego, akwizycji, nadzoru, sterowania, prezentacji danych, sterujący dla klienta, prezentacji danych klientowi, logowania,
- moduły klienta mobilnego – logowania, komunikacyjny, prezentacji danych, monitorowania i wizualizacji stanu instalacji, sterowania,
- funkcje aplikacji na sterowniku PLC – algorytmy sterowania,
- funkcje i moduły aplikacji na urządzenie HMI – algorytmy sterowania, prezentacja danych.

### 3.2.8. Aplikacja mobilna do zdalnej kontroli

Szczególne miejsce w proponowanym zaawansowanym systemie sterowania, monitorowania i wizualizacji systemów wodno-kanalizacyjnych zajmuje klient mobilny prezentujący dane systemowe, propagowane przez aplikację serwerową. Na kliencie mobilnym udostępniana jest możliwość sterowania i wizualizacji pracy urządzeń składających się na poszczególne instalacje technologiczne. Komunikacja oparta jest na wiązaniu komunikacyjnym BasicHttpBinding, które jest jedynym wiązaniem dostępnym na platformie programistycznej .NET CF [9]. Wiązanie to pozwala zdefiniować taką konfigurację, która będzie wynikała z wymogów bezpieczeństwa komunikacyjnego oraz żądanego czasu reakcji na zmiany zachodzące w systemie ze względu na przepływ danych procesowych. W celu podwyższenia zabezpieczeń możliwe jest zastosowanie sieci VPN (ang. Virtual Private Network) pomiędzy klientem mobilnym a serwerem [6, 11]. Aplikacja udostępnia użytkownikowi możliwość decydowania o czasie odświeżania danych co jest istotne w sytuacji konieczności minimalizacji kosztów związanych ze zdalnym dostępem, szczególnie w sytuacji nadzoru nad wieloma rozproszonymi lokalizacjami obiektów wodno-kanalizacyjnych. Lokalizacja użytkownika może wpływać na sposób połączenia źródła z serwerem poprzez lokalną sieć Wi-Fi lub połączenie do mobilnej sieci Internet [7]. Na rysunku 6 przedstawiono aplikacje mobilne do zdalnej kontroli, tworzenia trendów i wizualizacji oraz prezentacji alarmów. Po uruchomieniu aplikacji SCADA Serwer uruchamia proces weryfikacji użytkownika. Po poprawnej autoryzacji aplikacja przenosi użytkownika do panelu nadzorczego. Główna część aplikacji udostępnia kontrolę i nadzór nad zasadniczymi procesami, odpowiednio związanymi z uzdatnianiem wody lub oczyszczaniem ścieków. Przechodzenie pomiędzy elementami aplikacji zostało zrealizowane za pomocą zakładek, z których najważniejsze to kontrola nad: połączeniem OPC Serwerem, kontrola i sterowanie głównymi parametrami procesów, definiowanie alarmów, alarmy, reakcje na zdarzenia, parametryzacja interwałów i uruchamianie akwizycji danych.

W przedstawionym zaawansowanym systemie sterowania, monitorowania i wizualizacji procesów wodno-kanalizacyjnych główne moduły programowe zostały zrealizowane w języku C# przy użyciu narzędzia Microsoft Visual Studio 2008, w którym powstał klient mobilny oraz przy użyciu Microsoft Visual Studio 2010, w którym powstał klient OPC DA i serwer WCF. Obsługę bazy danych zrealizowano z wykorzystaniem technologii LINQ, natomiast mapowanie tabel baz danych zostało stworzone w LINQ to SQL Classes z platformy .NET. Dodatkowo użyto specjalizowanych bibliotek OpcNetApi oraz OpcNetApi.Com. Baza danych przechowująca dane procesowe, konta użytkowników aplikacji serwerowej i mobilnej została stworzona w środowisku Microsoft SQL Server 2008. Aplikacja serwerowa składa się między innymi z funkcji subskrybującej oraz oferującej zapisywanie danych z OPC Serwera do serwera WCF z jednoczesnym zapisem do klasycznej bazy danych. Osobną aplikację stanowią interfejsy użytkownika.



Rys. 6. Przykładowe komponenty OPC Mobile.Net

Fig. 6. Sample components for OPC Mobile.Net

#### 4. Bezpieczeństwo zaawansowanego systemu SCADA

Od systemów sterowania, monitorowania i wizualizacji stanu instalacji technologicznych w stacjach uzdatniania wody i oczyszczalniach ścieków wymaga się pełnego bezpieczeństwa. Projektując system wykorzystujący rozwiązania uniwersalne oraz z dziedziny Open Source należy ze szczególną uwagą przeanalizować bezpieczeństwo poszczególnych elementów składowych systemu. Na poziomie serwera OPC za bezpieczeństwo odpowiada specyfikacja OPC Security. OPC Security służy zapewnieniu bezpieczeństwa dostępu do danych oferowanych przez serwery OPC. Umożliwia poprawną weryfikację klienta, który chce uzyskać dostęp oraz weryfikację poprawności transmisji [6, 10].

Szczegółnej uwagi wymaga kwestia bezpieczeństwa przy dostępie bezprzewodowym. Tworząc chroniony Web Serwis należy pamiętać o możliwości ataku zarówno od wewnątrz jak i z zewnątrz. Ochrona systemu SCADA polega na analizie możliwych zagrożeń oraz implementacji efektywnych środków, które tym zagrożeniom zapobiegają. Przy tworzeniu zaawansowanego systemu SCADA należy respektować założenia, które funkcjonują w rozwiązaniach typowo informatycznych, takie jak:

- autentykacja – nadawanie unikalnych identyfikatorów użytkownikom stworzonego Web Serwisu,
- autoryzacja – sprawdzanie autentykacji oraz wiarygodności użytkownika komunikującego się z serwisem,



- kontrolowanie – efektywne kontrolowanie w celu monitorowania stanu zabezpieczeń oraz weryfikacji poprawności procesu uwierzytelniania użytkowników danego serwisu,
- poufność – sprawdzanie, czy nieupoważnieni użytkownicy mają uniemożliwiony dostęp do procesu oraz sprawdzenie blokady przejścia wiadomości podczas komunikacji,
- integralność – gwarantowanie braku uszkodzeń i braku modyfikacji informacji podczas ich przesyłu,
- dostępność – gwarancja odpowiedniego dostępu do danych lub procesu dla uwierzytelnionych użytkowników.

Podczas tworzenia aplikacji zaawansowanego systemu SCADA należy respektować standardy WS-Security, który jest zestawem ustandaryzowanych protokołów ukierunkowanych na zabezpieczenie komunikacji z Web Serwisami. Standardy WS-Security zawierają:

- WS-Policy – pozwala zdefiniować politykę wymagań dla endpoint-ów, za pomocą określonych zasad prywatności, zasad kodowania, tokenów zabezpieczających,
- WS-Security – pozwala Web Serwisowi używać zabezpieczeń w komunikatach SOAP poprzez kodowanie i sprawdzanie integralności całego komunikatu lub jego części,
- WS-Trust – pozwala używać zabezpieczających tokenów do ustalenia stopnia zaufania,
- WS-SecureConversation – realizuje zabezpieczoną komunikację pomiędzy klientem a serwisem,
- WS-ReliableMessaging – zapewnia bezwarunkowe dostarczenie komunikatu do Web Serwisu lub klienta,
- WS-AtomicTransactions – pozwala transakcyjnym Web Serwisom na wycofanie transakcji w sytuacji pojawienia się błędu.

Przy wymianie informacji SOAP między klientem mobilnym a serwerem istotne jest wiązanie BasicHttpBinding, które może występować w jednej z pięciu wersji – jednej niezabezpieczonej oraz czterech zabezpieczających: komunikaty, komunikację, poświadczenie tożsamości i poświadczenie wiadomości. Coraz częściej w celu zagwarantowania pełnego bezpieczeństwa połączenia zarówno przewodowego jak i bezprzewodowego wykorzystuje się wirtualną sieć prywatną – VPN. Tunel VPN gwarantuje bezpieczeństwo w sytuacji, gdy istnieje ryzyko przechwytywania danych oraz braku możliwości bezpośredniego połączenia z urządzeniem mobilnym ze względu na istnienie zapór typu firewall. Do zarządzania wirtualną siecią prywatną stosuje się serwery VPN, które mogą pracować z wykorzystaniem ogólnie dostępnego oprogramowania OpenVPN. Oprogramowanie to bazuje na bibliotekach OpenSSL do szyfrowania danych i kanałów kontrolnych [6, 11].

## 5. Podsumowanie

Obiekty wodno-kanalizacyjne wyposaża się w zaawansowane systemy sterowania, monitorowania i wizualizacji, które najczęściej są dedykowanymi rozwiązaniami w pełni komercyjnymi. W artykule przedstawiono możliwość realizacji systemu SCADA, który charakteryzuje się dużą elastycznością dzięki zastosowaniu standardu OPC oraz Windows Communication Foundation. W proponowanym rozwiązaniu usunięto ograniczenia komunikacyjne dzięki wykorzystaniu serwera opartego o architekturę SOA. Takie rozwiązanie pozwala na realizację komunikacji z urządzeniami mobilnymi obsługującymi między innymi platformę Windows Mobile oraz innymi dostępnymi platformami. Praktycznie nie ma żadnych ograniczeń na tworzenie dowiązań klientów działających na różnych platformach systemowych i sieciowych, zarówno stacjonarnych jak i mobilnych, takich jak Android, iOS, Windows Phone 7 lub innej aplikacji webowej. Możliwość zastosowania zabezpieczeń przez dodanie VPN gwarantuje bezpieczeństwo komunikacyjne pomiędzy urządzeniami końcowymi a serwerem. Dodatkowo zastosowanie WCF przyczynia się do zmniejszenia kosztów oraz ograniczeń platformowych związanych z tworzeniem klientów mobilny z komercyjnych komponentów OPC Mobile.Net dostępnych wyłącznie na platformę Windows Mobile. Zaawansowany system sterowania, monitorowania i wizualizacji urządzeń wykonawczych i instalacji technologicznych w stacjach uzdatniania wody i oczyszczalniach ścieków w takiej konfiguracji jest otwarty na przyszłe rozszerzenia i modyfikacje co jest istotne w kontekście przyszłej rozbudowy sieci wodociągowych, budowy nowych hydroforni i ujęć wody oraz modernizacji, rozbudowy oraz budowy nowych oczyszczalni ścieków i przepompowni ścieków będących w zarządzaniu zakładu komunalnego lub zakładu przemysłowego.

## Bibliografia

- [1] Mahnke W., Leitner S-H., Damm M., *OPC Unified Architecture*, Springer, Heidelberg, 2009
- [2] Meier J.D., Farre C., Taylor J., Bansode P., Gregersen S., Sundararajan M., Boucher R., *Improving Web Services Security*, Microsoft Corporation, 2008
- [3] Nowak M., Szymczak A., *Wykorzystanie technologii mobilnych do sterowania instalacjami w inteligentnym budynku*, Napędy i sterowanie – Miesięcznik naukowo-techniczny, Racibórz, 12(152)/2011, (82-86)
- [4] Nowak M., Urbaniak A., *Utilization of intelligent HMI/SCADA system in environmental engineering*, Proceedings of 11th International Carpathian Control Conference ICCO'2010, A. K. Varga, J. Vasarhelyi (Eds.), Pub. Department of Automation University of Miskolc, Eger, Hungary, 2010, (83-86)
- [5] Nowak M., *Rozproszone sterowanie, monitorowanie i wizualizacja w inżynierii i ochronie środowiska*, Inteligentne systemy w inżynierii i ochronie środowiska z cyklu Komputer w Ochronie Środowiska, Jan F. Lemański, S. Zabawa (red.), Wyd. PZiTS, Poznań, 2007, (13-22)

- [6] Serafin M., *Sieci VPN. Zdalna praca i bezpieczeństwo danych. Wydanie II rozszerzone*, Wyd. Helion, Gliwice, 2009
- [7] Szymczak A., *Systemy SCADA na urządzenia mobilne*, Praca magisterska, Wydział Informatyki Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2011
- [8] <http://www.kzgw.org.pl>
- [9] <http://www.microsoft.com/net>
- [10] <http://www.opcfoundation.org>
- [11] <http://www.openvpn.net>
- [12] <http://www.rdw.org.pl>
- [13] <http://www.w3.org/TR/soap>

