

Mariusz NOWAK

INSTYTUT INFORMATYKI
POLITECHNIKA POZNAŃSKA

NOWE ROZWIĄZANIA INFORMATYCZNE WSPIERAJĄCE SYSTEMY STEROWANIA, MONITOROWANIA I WIZUALIZACJI W GOSPODARCE WODNO-ŚCIEKOWEJ

**NEW INFORMATION TECHNOLOGY SUPPORT 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. This paper presents a new approach to the HMI/SCADA systems, news solutions in the embedded systems, multi-level communication (M2M) and mobile technology for control, monitoring and visualization of water and wastewater. The paper will be presented to the modern hardware and software platforms that can be used to support the management of water distribution systems and wastewater engineering.

1. Wprowadzenie

Woda stanowi ponad 70% powierzchni globu, jednak zaledwie 1% z tych zasobów nadaje się do spożycia. Według naukowców zasoby słodkiej wody mogą skończyć się nawet za 25 lat w związku ze wzrostem ludności na świecie. Od 1990 roku stan środowiska naturalnego oraz jakość wód w Polsce ulega stopniowej, powolnej poprawie. Dużą rolę w postępie procesu poprawy stanu środowiska odgrywa wzrastająca świadomość ekologiczna mieszkańców przejawiająca się między innymi zmianą stosunku ludzi do przyrody i otoczenia. Ludzie chcą żyć w harmonii z naturą, a to wymaga od nich podejmowania działań w trzech obszarach: obszarze przyrodniczo-technologicznym, gdzie należy szukać nowych technologii chroniących przyrodę; obszarze społecznym, prawnym i ekonomicznym, gdzie konieczna jest współpraca pomiędzy różnymi organizacjami dla wypracowywania odpowiednich mechanizmów ochrony środowiska i zasobów wodnych; obszarze działań wychowawczych, gdzie niezbędna jest zmiana postaw ludzi w stosunku do otaczającego ich środowiska oraz wypracowanie modeli życia, które będą sprzyjały dbałości o otaczające środowisko i zasoby naturalne [9].

Na poprawę stanu środowiska naturalnego i zasobów wodnych znaczący wpływ miał Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko realizowany w latach 2007-2013 oraz aktualny 2014-2020, który pod względem dostępnych środków finansowych jest największym programem operacyjnym w całej Unii Europejskiej. Spośród pięciu priorytetów proekologicznych realizowanych w latach 2007-2013 największy udział miał „Priorytet I – Gospodarka wodno-ściekowa” w wymiarze 55% całości środków co przełożyło się na 2784 mln euro. Dzięki środkom finansowym wybudowano, rozbudowano oraz zmodernizowano wiele sieci wodno-kanalizacyjnych. Inwestycje w infrastrukturę wodno-ściekową pozwalają na szybszy rozwój społeczno-gospodarczy, dając dodatkowo gwarancje wypełniania wymogów dyrektywy wspólnotowych (Dyrektywa Rady 91/271/EWG – dyrektywa ściekowa, Dyrektywa Rady 2000/60/WE – ramowa dyrektywa wodna) [8].

Inwestowanie środków finansowych w infrastrukturę wodno-ściekową w Polsce oraz poprawa zarządzania gospodarką wodno-ściekową są w dalszym ciągu bardzo istotne. Nadrzędnym celem opracowanych kilkanaście lat temu dyrektyw jest zobowiązanie państw członkowskich Unii Europejskiej do racjonalnego wykorzystania i ochrony zasobów wodnych w myśl zasady zrównoważonego rozwoju oraz osiągnięcie tzw. dobrego stanu wód. Realizacja zdefiniowanego celu stanie się możliwa pod warunkiem budowy oraz rozbudowy sieci kanalizacyjnych, oczyszczalni ścieków, ujęć wody, stacji uzdatniania wody, sieci wodociągowych oraz modernizacji już istniejących obiektów wodno-ściekowych, poprzez wyposażanie tych obiektów w zaawansowane komputerowe systemy sterowania, monitorowania i wizualizacji [8,9].

W artykule przedstawione zostaną nowe rozwiązania informatyczne z zakresu systemów wbudowanych, wielopoziomowej komunikacji (m.in. typu M2M) oraz technologii mobilnych do zdalnego sterowania, monitorowania i wizualizacji w gospodarce wodno-ściekowej. Scharakteryzowane zostaną nowoczesne platformy sprzętowo-programowe, które mogą zostać wykorzystane do wspierania zarządzania systemami dystrybucji wody i systemami kanalizacyjnymi. Przedstawiona zostanie propozycja zaawansowanego i rozbudowanego systemu sterowania, monitorowania i wizualizacji wykorzystującego najnowsze rozwiązania informatyczne, obniżająca koszt wdrożenia i utrzymania systemu.

2. Modernizacja funkcjonujących systemów wodno-kanalizacyjnych

Najczęściej spotykanym efektem modernizacji systemów wodno-kanalizacyjnych, jest rozbudowa sieci wodociągowych i kanalizacyjnych, zwiększanie liczby ujęć wody i stacji uzdatniania wody. Modernizacji i rozbudowie poddawane są także oczyszczalnie ścieków. Dodatkowym efektem modernizacji systemów wodno-kanalizacyjnych, związanym z modernizacją systemów sterowania jest możliwość zdalnego monitoringu stanu pracy elementów składających się na sieci wodociągowe i kanalizacyjne. W prawie wszystkich już zakładach komunalnych standardem jest monitorowanie krytycznych systemów zasilania w energię elektryczną z podziałem na stacje uzdatniania wody, przepompownie ścieków i oczyszczalnie ścieków. Standardem staje się funkcjonowanie systemów teleinformatycznych, których zadaniem jest wykrywanie i informowanie obsługi o sytuacjach awaryjnych, takich jak zanik napięcia, suchobieg, przelanie, awaria napierzmiennego działania pomp.

Do zadań realizowanych przez systemy automatyki należy powiadamianie w trybie rzeczywistym o wszelkich odstępstwach od wartości zadanych (spadki ciśnienia, wzrosty ciśnienia, nieszczelności, zaniki zasilania energetycznego).

Wspieranie działań modernizacyjnych poprzez dofinansowywanie projektów wodno-kanalizacyjnych przyczynia się do poprawy stanu funkcjonowania zakładów wodno-kanalizacyjnych, co przekłada się bezpośrednio na poprawę jakości życia ludzi i poprawę jakości środowiska naturalnego.

3. Kierunku rozwoju automatyki i IT

Od kilku lat obserwuje się intensywny rozwój przemysłowy wymuszony pojawieniem się idei tzw. Internetu Rzeczy (IoT – Internet of Things). Koncepcja Internetu Rzeczy zakłada, że jednoznacznie identyfikowalne przedmioty mogą pośrednio lub bezpośrednio gromadzić, przetwarzać i wymieniać między sobą dane za pośrednictwem sieci komputerowej. W koncepcji Internetu Rzeczy zakłada się znaczącą autonomię funkcjonujących w sieci obiektów, które wymieniając między sobą dane, działając według opracowanych algorytmów, mogą realizować określone działania, oddziałując w ten sposób na otoczenie, bez udziału i wiedzy użytkowników końcowych. Tak sformułowana idea została bardzo szybko wchłonięta do branży automatyki przemysłowej pod często spotykanym hasłem Machine-to-Machine (M2M) [7].

Idea Internetu Rzeczy równolegle z zastosowaniem w branży automatyki przemysłowej, znalazła zastosowanie również w dziedzinie inteligentnych budynków. Zarówno urządzenia pomiarowe jak i urządzenia wykonawcze ściśle związane z funkcjonowaniem instalacji budynkowych oraz urządzenia należące do klasy AGD i RTV stały się smart-urządzeniami zdolnymi gromadzić dane, które między sobą wymieniają, w celu autonomicznej realizacji zadań, bez konieczności udziału człowieka.

Internet Rzeczy wkracza także do przemysłu dając początek idei Fabryki 4.0, rozumianej jako inteligentnej fabryki. Modernizacja przemysłu stała się możliwa dzięki połączeniu systemów automatyki i informatycznych narzędzi analitycznych. W Fabryce 4.0 łączy się wirtualny świat informacji i technologii z fizycznymi maszynami z pomocą zaawansowanych technologii IT (Information Technology). Zakładanym zyskiem przy wdrażaniu koncepcji Fabryki 4.0 jest zwiększenie elastyczności, szybkości, wydajności i skalowalności, możliwość realizacji produkcji zindywidualizowanej oraz łatwość adaptacji zmian w zarządzaniu produkcją. Komunikacja pomiędzy maszynami i smart-objektami wraz z funkcjonującymi w nich elementami sztucznej inteligencji przyczyniają się do zwiększenia stopnia automatyzacji procesów, poprawy monitoringu oraz zwiększenia możliwości analizy parametrów procesowych w czasie rzeczywistym.

3.1 Wykorzystanie Internetu Rzeczy w sterowaniu, monitorowaniu i wizualizacji procesów

Dzisiejsze oprogramowanie przemysłowe integruje w sobie możliwości zarówno automatyki jak i IT, pozwalając na programowanie maszyn w różnych językach, na implementację komunikacji z wykorzystaniem różnych protokołów sieciowych pozwalających na bezpieczną transmisję danych do lokalnych serwerów lub do chmury. Internet Rzeczy w zastosowaniu przemysłowym coraz częściej nazywany jest Przemysłowym Internetem Rzeczy (ang. IIoT – Industrial Internet of Things). Przedmiotami w IIoT są programowalne sterowniki PLC, urządzenia wejścia-wyjścia, napędy i systemy wizyjne. Z racji przesyłania między urządzeniami IIoT ogromnych ilości danych (przełączniki, przyciski, czujniki, systemy wizyjne) coraz częściej używane jest określenie Przemysłowy Internet Danych. Dane włączone do sieci stają się informacją, przekazywaną do systemów HMI (Human Machine Interface) lub archiwizowaną w bazach danych. W związku z poszerzającymi się możliwościami wykorzystania Internetu Rzeczy opracowano główne zasady, które powinny być spełnione w każdej z dziedzin zastosowań przez oprogramowanie i sprzęt IoT. Spełnienie ich gwarantuje możliwość wykorzystania wszystkich zalet wynikających z cech charakteryzujących nowe podejście w wykorzystaniu narzędzi IT do zwiększania wydajności i możliwości wglądu w nadzorowane procesy i wykorzystanie inteligentnych algorytmów sterowania. W dalszej części artykułu zasady te zostaną scharakteryzowane [2,3].

3.1.1. Otwarte standardy

W informatyce obserwuje się ciągły rozwój sieciowych standardów komunikacyjnych. W Internecie Rzeczy zakłada się funkcjonowanie otwartych standardów komunikacji, które pozwalają na dużo większą elastyczność w integracji różnych urządzeń i bezproblemową migrację w kierunku wykorzystania nowego oprogramowania w już istniejącej infrastrukturze sprzętowej automatyki. Otwartość oprogramowania pozwala na łatwiejszą integrację aplikacji z dziedziny automatyki z klasycznymi aplikacjami z dziedziny IT (sprzęt i sieci IT). Otwartość oprogramowania integrującego rozwiązania automatyki z IT może umożliwiać wykorzystywanie najnowszych rozwiązań z dziedziny IT, np. języków programowania wysokiego poziomu do implementacji zaawansowanych, inteligentnych algorytmów sterowania. Otwartość platform sieciowych i programistycznych pozwala wykorzystywać powszechne urządzenia mobilne (smartfony, tablety) do zdalnego zarządzania procesami poprzez zaawansowane narzędzia wizualizacji [5].

3.1.2. Decentralizacja

Do pełnego wykorzystania możliwości Internetu Rzeczy niezbędne jest rozproszenie inteligencji. Dzięki decentralizacji i rozproszeniu inteligencji urządzenia komunikujące się ze sobą posiadają autonomię w podejmowaniu decyzji. Każde z urządzeń pozyskujących dane procesowe może je wykorzystać do dokonywania, w sposób autonomiczny, korekt przebiegu procesu i minimalizacji kosztów jego realizacji. Urządzenia połączone ze sobą siecią komunikują się z sieciami wyższego poziomu, oferując dane procesowe do zarządzania procesem w sposób globalny.

3.1.3. Komunikacja

Od urządzeń IoT wymaga się szybkiej komunikacji zarówno w poziomie jak i w pionie, w sieciach służących do wymiany danych. Czujniki komunikują się ze sobą oraz z oprogramowaniem wyższego poziomu, lokalnie lub zdalnie. Z jednej strony pożądane są systemy otwarte, jednak duża liczba różniących się rozwiązań sieciowych może mnożyć problemy kompatybilności na etapie projektowania systemów informatycznych. Z pomocą może przyjść rozwiązanie architektury OPC UA (OPC Unified Architecture) zapewniającej dużą skalowalność rozwiązań i możliwości przesyłania danych za pośrednictwem różnych formatów.

3.1.4. Dostęp do informacji w czasie rzeczywistym

Urządzenia IoT oferują dostęp do danych w czasie rzeczywistym, co pozwala na natychmiastową reakcję w celu zmian parametrów procesu. Niepotrzebne staje się zbieranie i analizowanie danych z długich okresów w celu wykrycia sytuacji awaryjnych, przestoju lub zużycia energii. Informacje procesowe są natychmiast dostępne i integrowane z rutynowym raportowaniem o stanie maszyn i urządzeń. Dostęp do informacji w czasie rzeczywistym pozwala na natychmiastową ingerencję w zmiany procesu, w taki sposób aby uzyskać najwyższą wydajność minimalnym kosztem.

3.1.5. Autonomia

Wykorzystanie obiektów IoT gwarantuje autonomiczność realizowanych procesów. W zależności od potrzeb realizacja procesu może być dostosowywana do aktualnego zapotrzebowania bez ingerencji narzędzi wyższego poziomu. Poprzez zwiększenie elastyczności można realizować dowolne scenariusze procesowe, które w trybie natychmiastowym mogą być odpowiednio zmieniane.

IoT w zastosowaniu przemysłowym to terazniejszość. IIoT daje możliwości bezpośredniego połączenia między czujnikami i urządzeniami wykonawczymi oraz bezpośrednią komunikację pomiędzy czujnikami a narzędziami analitycznymi oraz innymi elementami systemu w celu zwiększenia wydajności, zwiększenia bezpieczeństwa, niezawodności i efektywności energetycznej poprzez:

- zwiększenie opłacalności organizacji sieci akwizycji danych z racji obecności większej liczby czujników bezprzewodowych z autonomicznym zasilaniem co ułatwia zbieranie danych,
- wykorzystanie do analizy danych rozwiązań typu Big Data Analytics oraz innych rozwiązań przetwarzających dane procesowe w celu wypracowania sygnałów sterujących,
- obecność sygnałów zwrotnych w czasie rzeczywistym, trafiających do właściwych operatorów nadzorujących proces,
- natychmiastowe podejmowanie właściwych decyzji przez wspieranie personelu obsługi.

3.2 Nowoczesne systemy HMI

Urządzenia mobilne, tak powszechnie używane do celów prywatnych, wkraczają do dziedziny zastosowań przemysłowych. Operatorzy nadzorujący procesy coraz częściej wykorzystują swoje prywatne smartfony do efektywniejszego zarządzania w miejscu pracy. Stało się to możliwe dzięki wdrożeniu otwartych systemów informatycznych w sieci IIoT. Nadzorca procesu staje się mobilny, może monitorować poprawność realizowanych procedur zdalnie, z każdego miejsca w zakładzie, z podróży służbowej, a nawet z domu, dzięki czemu obniżają się koszty funkcjonowania przedsiębiorstwa, fabryki lub zakładu komunalnego. Dostęp do zdalnego procesu polega najczęściej na szyfrowanym połączeniu za pośrednictwem przeglądarki internetowej. Taka funkcjonalność jest dzisiaj standardem systemów HMI/SCADA (Human Machine Interface/Supervisory Control And Data Acquisition). Wytwórcy systemów typu HMI/SCADA dostarczają również dedykowane aplikacje dla urządzeń mobilnych, gdzie użytkownicy mogą korzystać z pełnej dwukierunkowej transmisji gwarantującej szybkie nawiązywanie połączenia i krótkie czasy reakcji. Taka forma komunikacji z procesem zwalnia firmy z konieczności zapewnienia specjalistycznego wsparcia ze strony działu IT.

Nowoczesne systemy HMI korzystają z rozwiązań gromadzenia i udostępniania danych w chmurze. Bardzo często systemy SCADA korzystające z chmury wyposaża się aplikacje działające lokalnie, do której podłączone są sterowniki i koncentratory danych. Dane procesowe przesyłane są do chmury, dzięki czemu są natychmiast dostępne każdej osobie, uprawnionej do pozyskiwania takich danych. Wykorzystanie technologii chmury w HMI/SCADA może znacząco obniżyć koszty funkcjonowania systemów monitorowania i wizualizacji procesów z jednoczesnym zwiększeniem funkcjonalności. Nadzorcy procesów mogą przeglądać dane z poziomu tabletek lub smartfonów. Przetwarzanie danych w chmurze obniża koszty funkcjonowania sprzętowej warstwy infrastruktury IT. Takie podejście do problemu przechowywania i przetwarzania danych gwarantuje skalowalność oraz oszczędności w serwisowaniu serwerów, ponieważ kosztem jest tylko zajmowana przestrzeń dyskowa, a od opłat zwolnione jest tworzenie i utrzymywanie kopii bezpieczeństwa. Przechowywanie danych w chmurze gwarantuje zwiększone bezpieczeństwo ich utrzymywania, ponieważ dane te rozlokowane są na wielu serwerach w wielu lokalizacjach [10].

3.3 Postęp w dziedzinie sterowników programowalnych

Sterowniki swobodnie programowalne (PLC) pomimo wbudowanego procesora i wykorzystywania zamkniętego systemu operacyjnego czasu rzeczywistego nadal są najpopularniejszym rozwiązaniem dedykowanym do nadzoru procesów przemysłowych – również w gospodarce wodno-ściekowej. Na przestrzeni ostatnich lat sterowniki ewoluowały w kierunku zastępowania paneli przekaźnikowych mniejszymi sterownikami na bazie rack lub małymi sterownikami ze zdalnymi modułami I/O. Z drugiej strony nadal rośnie popularność programowalnych sterowników automatyki (PAC – Programmable Automation Controller) - modułowych sterowników przemysłowych wykorzystujących procesory oparte na architekturze komputerów klasy PC.

Standardem wśród sterowników PLC staje się technologia USB, mikro i mini-USB, pozwalające łączyć sterowniki on-line, wygodniej je programować oraz nadzorować ich pracę. Powszechnie wykorzystywanym standardem są przenośne pamięci typu SD, mini-SD oraz micro-SD, które zapewniają dodatkową pamięć do sterownika, z której może skorzystać użytkownik, projektant systemu lub integrator systemu automatyki. Sterowniki PLC coraz częściej posiadają wbudowane zaawansowane funkcje, takie jak integracja systemów wizyjnych, jednoczesna obsługa kilku protokołów komunikacyjnych. Norma IEC 61131-3 z 2013 roku definiuje języki programowania sterowników, które przyczyniają się do zacierania różnic między sterownikami PLC a PAC. W perspektywie najbliższej przyszłości na rynku pojawiają się rozwiązania sterowników PLC zintegrowane z panelami HMI, które będą programowane w jednym środowisku. W dziedzinie komunikacji sterowników PLC nadal wykorzystywane są porty RS232, jednak coraz większą popularność zdobywa USB. Komunikacja sieciowa coraz częściej opierana jest na Ethernetie i komunikacji bezprzewodowej. Z sieci bezprzewodowych prym wiodą standardy WiFi i protokół ZigBee. W perspektywie najbliższych lat przewiduje się integrację sterowników PLC z systemami planowania zasobów przedsiębiorstwa (ERP – Enterprise Resource Planning) i innymi systemami komputerowymi. Dzięki takiej integracji możliwym stanie się płynne manipulowanie oraz przekazywanie aktualnych danych procesowych użytkownikowi. Standardem stanie się dostęp do danych procesowych z poziomu przeglądarki internetowej lub aplikacji mobilnej. Możliwe będzie sprawne komunikowanie z bazami danych w celu zarządzania danymi procesowymi tworzonymi on-line. Podsumowując, można założyć następujące cechy charakterystyczne przyszłych sterowników swobodnie programowalnych:

- wyposażenie w szybki Ethernet,
- wbudowana komunikacja bezprzewodowa,
- dostęp do pamięci przenośnych,
- zwieszenie pamięci wbudowanej do przechowywania danych,
- wzrost mocy przetwarzania,
- zmniejszanie się wymiarów zewnętrznych,
- integracja środowisk do programowania,
- wbudowane zaawansowane funkcje typu HMI,
- dostęp mobilny,
- ujednolicenie interfejsu dostępu do systemu operacyjnego i innych aplikacji.

Pomimo postępu technologicznego w dziedzinie mikroelektroniki i wdrażaniu coraz to efektywniejszych systemów inteligentnego sterowania opartych o rozwiązania z zakresu systemów wbudowanych oraz IoT, przewiduje się że sterowniki PLC nadal będą stosowane do nadzoru procesów realizowanych w zakładach uzdatniania wody, oczyszczania ścieków oraz przepompowniach ścieków. Rozmiary modułów sterowników będą się sukcesywnie zmniejszały przy jednoczesnym zwiększaniu liczby funkcji realizowanych w ramach algorytmów sterowania. Zmianie ulegnie możliwość programowania – zarówno lokalnego jak i zdalnego. Przewidywane jest również zwiększenie możliwości komunikacyjnych przez wdrożenie najnowocześniejszych standardów i protokołów sieciowych [5].

3.4 Nowoczesne metody komunikacji przewodowej i bezprzewodowej

Coraz większa automatyzacja procesów oraz zwiększanie się stopnia złożoności systemów sterowania, monitorowania i wizualizacji wymusza stosowanie zaawansowanych sieci komunikacyjnych, zarówno przewodowych jak i bezprzewodowych. Dzisiaj trudno sobie wyobrazić system automatyki nadzorujący procesy wodno-kanalizacyjne bez działającej sieci komunikacyjnej, scalającej poszczególne elementy, zarówno pomiarowe jak i urządzenia wykonawcze. Wprowadzenie komunikacji sieciowej jest podstawowym warunkiem realizacji zdecentralizowanych systemów automatyki. W dalszej perspektywie pojawiają się korzyści wynikające z możliwości włączenia systemów sterowania do ogólnodostępnej sieci Internet. Zyskuje się w ten sposób możliwość optymalizacji zarządzania procesami oraz zdalnego monitorowania pracy systemów. Zyski takie są szczególnie istotne w systemach rozproszonych – szczególnie w systemach zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków. Rola komunikacji w takich zastosowaniach staje się krytyczna zarówno w odniesieniu do technologii jak i do ekonomii oraz bezpieczeństwa prowadzenia procesów. Dostęp do danych procesowych zbieranych w sposób on-line jest dzisiaj koniecznością. W szeroko pojętej automatyce procesowej wykorzystywanych jest wiele protokołów i standardów komunikacyjnych. Liczba wykorzystywanych standardów komunikacyjnych ciągle rośnie, co jest wynikiem rozwoju w komunikacji typu M2M i postępu technologicznego.

3.4.1. Komunikacja przewodowa

Wśród rozwiązań protokołów komunikacji sieciowej przewodowej istnieje podział na te, które lepiej sprawdzają się w zastosowaniach transmisji danych oraz takie, które lepiej wykorzystywać do sterowania urządzeniami wykonawczymi. W dalszej części przedstawione zostaną najpopularniejsze standardy wymiany informacji w przemyśle [1].

- EtherNet/IP – (Ethernet Industrial Protocol) – najpopularniejszy sposób wymiany danych w automatyce procesowej. Charakteryzuje się dużą przepustowością, łatwą rozbudową o nowe urządzenia. Wykorzystywany jest protokół CIP (Common Industrial Protocol), znany z sieci DeviceNet, CompoNet oraz ControlNet. Standard komunikacyjny pozwalający łączyć czujniki pomiarowe, elementy wykonawcze oraz panele HMI. Wykorzystywany w systemach sterowania ciągłego i dyskretnego oraz w systemach wsadowych i systemach bezpieczeństwa. Stosowane są dwa podstawowe typy komunikatów: wiadomości niekrytyczne (Explicit Message) oraz wiadomości krytyczne (Implicit Message lub Real time I/O Message). Dane niekrytyczne czasowo są przeznaczane dla konkretnego urządzenia. Dane krytyczne są wysyłane bez specyfikowania odbiorcy, natomiast urządzenia które chcą z tych danych skorzystać mają możliwość analizy ich w tym samym czasie. Każdy transfer danych wykorzystuje protokół TCP w warstwie transportowej.

- Modbus – umożliwia asynchroniczną, szeregową wymianę informacji między urządzeniami pomiarowymi, urządzeniami wykonawczymi, panelami HMI oraz sterownikami PLC. Odmianami protokołu Modbus jest Modbus TCP oparty na warstwie sprzętowej łącza Ethernetowego oraz Modbus RTU oparty na warstwie sprzętowej RS232/RS485. Pomimo wielu ograniczeń jest często stosowany ze względu na prostotę i dużą liczbę urządzeń wspierających protokół. Cechą charakterystyczną jest otwartość protokołu i istnienie wielu aplikacji na sterowniki PLC. Zaletą jest przesyłanie komunikatów zabezpieczonych przed przekłamaniami oraz wymóg potwierdzania rozkazów. Protokół zakłada sygnalizację błędów. Pozwala na komunikację pomiędzy 248 urządzeniami podłączonymi do tej samej sieci. Modbus jest popularny w łączeniu komputera nadrzędnego z urządzeniami zdalnymi w systemach typu SCADA. Modbus jest protokołem komunikacyjnym z jednym masterem, który inicjuje wymianę informacji z wieloma urządzeniami typu slave. Na każde przesłanie rozkazu przez mastera, zaadresowany slave powinien odpowiedzieć potwierdzeniem lub przesłaniem danych. Modbus RTU (Real Time Unit) realizuje komunikację z kontrolą czasu rzeczywistego, najczęściej w komunikacji szeregowej. Ramka zabezpieczona jest sumą kontrolną CRC, której zadaniem jest wykrywanie błędów w transmisji.
- Profinet, Profibus – odmianami sieci Profinet i Profibus jest Profibus-DP (Decentralized Peripherals) oraz Profinet IO (PROcess Field NETwork). Profinet jest otwartym protokołem komunikacyjnym o maksymalnym zasięgu 100m. Profibus jest zamkniętym protokołem komunikacyjnym z zasięgiem do 1200m. Profibus najlepiej nadaje się do zastosowań czasowo krytycznych w systemach automatyki procesowej. Zaletami są: szybka transmisja, prostota, niski koszt urządzeń sieciowych. W sieci Profibus współpracować ze sobą mogą urządzenia różnych producentów i dostawców. Węzłami sieci mogą być zarówno proste czujniki pomiarowe i urządzenia wykonawcze jak i panele HMI, komputery oraz sterowniki PLC. Profibus-DP jest protokołem do transmisji szeregowej z synchronizacją wejść i urządzeń wyjściowych. W sieci Profibus-DP może pracować do 32 urządzeń. Komunikacja odbywa się poprzez rozgłaszanie lub wysyłanie informacji typu peer-to-peer. Medium fizycznym dla Profibus-DP może być RS-485 lub światłowód. Sieć Profinet korzysta w warstwie fizycznej z Ethernetu oraz pozwala na realizację prostych, bezprzewodowych połączeń na bazie WLAN. Dzięki Profinet IO możliwe jest przesyłanie danych w czasie rzeczywistym. Za pomocą specjalistycznego routera IE/PB możliwe jest połączenie sieci Profibus z siecią Profinet.

Innymi, protokołami stosowanymi w automatyce procesowej są CANOpen, EtheCat, DeviceNet, Ethernet Powerlink, CC Link, IO-Link, BACnet, IEC61850, SafetyNET oraz DMCNET. Jednak przyszłość należeć będzie do Ethernetu, którego zaletami są prostota budowy, prostota rozbudowy już istniejących rozwiązań, łatwy dostęp do urządzeń sieciowych, niska cena, duża prędkość przesyłu danych, uniwersalność, elastyczność, odporność na zakłócenia elektromagnetyczne EMI i radiowe RFI, duża wydajność, możliwość wizualizacji danych procesowych bezpośrednio w przeglądarkach internetowych, łatwość serwisowania. Dostawcy urządzeń pomiarowych oraz urządzeń wykonawczych coraz częściej standardowo wyposażają swoje produkty w standard komunikacyjny Ethernetowy. Podejście takie redukuje koszty modernizacji istniejących systemów automatyki w zakładach gospodarki wodno-ściekowej.

3.4.2. Komunikacja bezprzewodowa

Rozwiązania przewodowe dominują w zastosowaniach przemysłowych, jednak w tych miejscach, gdzie połączenie kablowe jest trudne do zrealizowania lub koszt realizacji takiego połączenia jest zbyt wysoki i niczym nie uzasadniony – stosuje się rozwiązania komunikacji bezprzewodowej. W opinii specjalistów z branży automatyki procesowej komunikacja bezprzewodowa jest bardziej zawodna niż przewodowa oraz wprowadza opóźnienia w przesyłaniu danych. Rozwiązania bezprzewodowe są wrażliwe na zakłócenia elektromagnetyczne, które są charakterystyczne w zastosowaniach przemysłowych. Zaletami rozwiązań bezprzewodowych jest obniżenie kosztów instalacji i wdrożenia. Dodatkową zaletą jest swoboda projektowania systemów sterowania, monitorowania i wizualizacji. Systemy sieciowe bezprzewodowe charakteryzują się pełną skalowalnością, możliwością późniejszej, dowolnej modyfikacji i rozbudowy o kolejne węzły bez ponoszenia znaczących kosztów. Jest to szczególnie istotne w branży wodno-kanalizacyjnej, gdzie często istnieje potrzeba instalacji tymczasowego czujnika lub tymczasowego urządzenia wykonawczego, który w pewnej perspektywie czasowej ulegnie demontażowi lub przeniesieniu w inne miejsce. Już kilka lat temu zaczęto wdrażanie sieci bezprzewodowych, które pozwalały na komunikację pomiędzy urządzeniami pomiarowymi w formule point-to-point. Obecnie komunikacja bezprzewodowa wkracza do wielu zastosowań przemysłowych, również do wykorzystania w aplikacjach nadzorujących pracę sieci wodno-kanalizacyjnych. W branży wodno-kanalizacyjnej możliwe jest stosowanie obu rozwiązań komunikacyjnych (przewodowych i bezprzewodowych). Szczególnie w już istniejących rozwiązaniach sieciowych, szkielet sieci realizowany jest z wykorzystaniem komunikacji przewodowej, natomiast do miejsc, gdzie doprowadzenie przewodu komunikacyjnego jest niemożliwe stosuje się komunikację bezprzewodową. Komunikację bezprzewodową można także wykorzystywać jako łącze zastępujące tymczasowo uszkodzoną komunikację przewodową, co jest istotną zaletą dla branż krytycznych, jaką jest gospodarka wodno-kanalizacyjna. W dalszej części artykułu przedstawione zostaną najpopularniejsze, wykorzystywane w różnych branżach przemysłowych, technologie bezprzewodowe [4,6].

- Sieć WiFi oparta o standard IEEE 802.11 jest najczęściej wybierana do tworzenia sieci bezprzewodowych lokalnych - WLAN. Zaletami sieci WiFi są niski koszt sprzętu niezbędnego do realizacji komunikacji, stosunkowo łatwość konfiguracji i instalacji oraz praca w nielicencjonowanym paśmie częstotliwości ISM (Industrial, Scientific, Medical), gdzie gwarantowana jest największa przepustowość wśród wszystkich krótkodystansowych standardów komunikacji bezprzewodowej, dochodząca do 600Mb/s z zasięgiem do 100m. Wadami rozwiązania WiFi jest duży pobór mocy i stosunkowo duża moc obliczeniowa potrzebna do zarządzania stosem protokołu IEEE 802.11. WiFi jest także mało odporna na zakłócenia charakterystyczne dla branż przemysłowych.
- Sieć DECT (Digital Enhanced Cordless Telephony) to system cyfrowej łączności bezprzewodowej przystosowany zarówno do transmisji mowy jak i danych. Sieć ta jest bardzo odporna na zakłócenia występujące w branżach przemysłowych. Sieć DECT jest siecią z pełną kontrolą użytkownika, z niskimi kosztami eksploatacji, możliwością szyfrowania danych, bezproblemową skalowalnością oraz możliwością rozbudowy i rekonfiguracji.

W standardzie DECT wykorzystuje się 10 częstotliwości nośnych, na których realizowana jest transmisja z dostępem wieloużytkownikowym do medium transmisyjnego - TDMA (Time Division Multiple Access) za pomocą 24 okienek czasowych w trybie dwuleksowym TDD, gdzie ramki przesyłane są w obie strony na pojedynczej częstotliwości. W rozwiązaniu tym 12 ramek wykorzystywanych jest do transmisji od nadajnika do odbiornika, natomiast pozostałe 12 ramek wykorzystywanych jest do transmisji w kierunku odwrotnym.

- Sieć GSM bazująca na zewnętrznym dostawcy staje się równie popularna z powodu spadających cen za usługi oraz urządzenia telekomunikacyjne. Ograniczeniem są jednak możliwości wszechstronnego wykorzystanie tego typu komunikacji. Popularnymi rozwiązaniami jest realizacja komunikacji z wykorzystaniem protokołu GPRS lub powiadamianie SMS-owe oraz zwykła komunikacja głosowa. Wadą jest konieczność instalowania dodatkowych nadajników w otoczeniu urządzeń przemysłowych, zakłócających komunikację.
- Technologia Bluetooth wykorzystująca nielicencjonowane pasmo ISM 2,4GHz, oferująca połączenia ad-hoc typu point-to-point oraz point-to-multipoint, pozwalająca na realizację wielu niezależnych połączeń na małym obszarze. Protokół Bluetooth wspiera transmisje danych pomiędzy czujnikami lub urządzeniami wykonawczymi, a systemami informatycznymi. Bluetooth oferowany jest przez wielu dostawców. Zaletami technologii Bluetooth są niewielki pobór mocy oraz łatwość konfiguracji urządzeń. Wśród wad należy wymienić niską prędkość transmisji. Technologia Bluetooth bardzo dobrze nadaje się do monitorowania czujników rozmieszczonych na niewielkim obszarze. Rozszerzeniem technologii Bluetooth jest BLE (Bluetooth Low Energy) charakteryzujące się bardzo niskim poborem energii i dedykowane między innymi do zastosowań w monitorowaniu urządzeń według założeń smart meteringu. BLE jest do 100 razy mniej energochłonne w stosunku do klasycznego Bluetooth. Oszczędność energii uzyskuje się dzięki specjalnemu algorytmowi realizującemu transmisję w sposób optymalny z małymi porcjami danych przesyłanymi sporadycznie. W BLE ograniczono liczbę kanałów do 40, z 79 używanych w klasycznym Bluetooth. Najnowsza wersja specyfikacji protokołu oznaczona jako 4.1 oferuje poprawę efektywności komunikacji, lepszą elastyczność pracy i konfiguracji dołączonych urządzeń oraz możliwość pracy w trybie dual-mode, czyli jednoczesnej pracy w trybie nadawania i odbierania, co jest pierwszym krokiem w kierunku realizacji komunikacji w oparciu o IP. Urządzenia BLE 4.1 pobierają o dwie trzecie mniej energii niż BLE 4.0. Wdrożenie urządzeń BLE 4.1 daje możliwości pracy systemów zdalnego monitoringu przez lata z wykorzystaniem jednego ogniwa zasilającego.
- ZigBee jest standardem komunikacji bezprzewodowej typu mesh, cluster tree, charakteryzującym się niskim poborem energii, niewielkimi przepływnościami (do 250kbps) oraz zasięgiem między węzłami do 100m. Standardem specyfikującym ZigBee jest IEEE 802.15.4. Według opisu transmisja realizowana jest w pasmach 868MHz, 915MHz lub 2,4GHz. Urządzenia ZigBee dzieli się na 3 typy: koordynator – pracujący jako węzeł początkowy do którego można przyłączać pozostałe urządzenia, router – przekazujący pakiety dalej, urządzenie końcowe – przesyłające dane do routera, do którego jest przyłączone. Sieć ZigBee dobrze nadaje się do zastosowań w sieciach sensorowych, systemach alarmowych lub systemach monitoringu.

- WirelessHART jest standardem komunikacji bezprzewodowej według którego sieć działa w niewymagającym zezwoleń paśmie 2,4GHz. Jest w pewnym sensie odmianą sieci WLAN. WirelessHART tworzy sieć płaską typu mesh, w której wszystkie urządzenia radiowe tworzą sieć. Każde urządzenie działa jednocześnie jako źródło sygnału i jako przekaźnik sygnału, wysyłając dane do najbliższego sąsiada i tak dalej aż do osiągnięcia stacji bazowej. Komunikacja jest synchronizowana przez TDMA (Time Division Multiple Access), która synchronizuje użytkowników w sieci w 10ms szczelinach czasowych, dzięki czemu działanie sieci jest bezkolizyjne oraz minimalizowany jest czas, w którym stacja musi być aktywna. W celu uniknięcia zakłóceń w WirelessHART wykorzystuje się FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), gdzie wszystkie 15 kanałów zdefiniowanych w standardzie IEEE 802.15.4 używanych jest jednocześnie. FHSS wykorzystywane jest aby przeskakiwać z kanału na kanał. Kanały wykorzystywane do komunikacji są blokowane w celu uniknięcia kolizji z innymi systemami komunikacji bezprzewodowej. Dysponując 15 kanałami z synchronizacją 10ms mamy do dyspozycji 1500 połączeń w ciągu jednej sekundy.
- LoRa (Long Range) to sieć bezprzewodowa klasy LPWAN (Low Power Wide Area Networks) bazująca na protokole, który kosztem gorszej przepustowości posiada lepsze parametry w zakresie odporności na zakłócenia i zaniki sygnału. Sieć LoRa zapewnia prędkość transmisji do 41kbit/s. Protokół LoRa jest asynchroniczny, pozwala na tworzenie wydzielonych sieci prywatnych lub sieci publicznych. Zasięg urządzeń transmitujących dane w sieci LoRa wynosi od 2km do nawet 15km pomiędzy węzłem a punktem dostępowym. W sieci LoRa komunikacja realizowana jest dwukierunkowo w półduplesie w topologii gwiazdy. Liczba węzłów dołączonych do koncentratora zależy od parametrów tego urządzenia i wynosi maksymalnie 10 tysięcy węzłów. Wymiana danych w sieci realizowana jest za pomocą 128-bitowego szyfrowania AES, a protokół realizuje adaptacyjne dostosowywanie mocy nadajnika i szybkości transmisji do aktualnych warunków propagacyjnych, co przekłada się bezpośrednio na niski pobór mocy przez sieć. Sieć LoRa cieszy się dużym zainteresowaniem w rozproszonych systemach pomiarowych, wodomierzach, przepływomierzach, systemach zdalnego sterowania, systemach kontrolnych. Zastosowanie LoRa jest opłacalne w sytuacji braku możliwości doprowadzenia przewodów, gdzie konieczne staje się zastosowanie zasilania bateryjnego lub zasilania ze źródeł odnawialnych.
- Radiomodemy – nadal mają zastosowanie w systemach automatyki procesowej. Radiomodemy z pierwszej grupy – pracujące w paśmie ogólnodostępnym ISM – 433MHz i 868MHz lub 2,4GHz – charakteryzują się brakiem opłat za transmisję danych. Druga grupa radiomodemów pracuje w pasmach częstotliwości wymagających wykupienia licencji, jednak charakteryzują się one mniejszym poziomem zakłóceń i możliwością osiągnięcia większego zasięgu.

3.4.3. Komunikacja bezprzewodowa

Według standardu ISA 100.11a ochrona danych przesyłanych sieciami komunikacyjnymi zależy od poziomu bezpieczeństwa warstwy transportowej. Zakłada się, że dane na drodze od nadawcy do odbiorcy są autentyczne i poufne. Poziom bezpieczeństwa sieci determinuje również warstwa łącza danych, ponieważ zakłada się, że sygnał przechodząc z jednego węzła sieciowego do drugiego nie straci na jakości i zostanie bezbłędnie przesłany w obrębie sieci. Przyjmuje się, że największym zagrożeniem w sieciach bezprzewodowych są zakłócenia komunikacji radiowej. Celowe zakłócanie (zagłuszanie) fal o określonej częstotliwości skutecznie przeszkadzające w odbiorze sygnałów radiowych należy do działań określanych mianem blokady usług – DOS (Denial of Service). Włamanie do sieci komunikacyjnej bezprzewodowej możliwe jest według scenariusza, gdzie haker podszywa się pod funkcje węzła sieciowego, przechwytuje komunikację pomiędzy bezprzewodowym czujnikiem a bramą sieciową i zawłaszcza wymianę danych. Atak taki zwany jest man-in-the-middle. Przed tego typu włamaniami ustrzec może szyfrowanie danych.

Publiczne standardy komunikacji bezprzewodowej takie jak WiFi czy Bluetooth to protokoły otwarte, powszechnie dostępne, narażone na ataki hackerskie. Poprawę bezpieczeństwa rozwiązań sieciowych wykorzystywanych w automatyce procesowej można osiągnąć za pomocą wielu przedstawionych poniżej działań [1].

- Szyfrowanie danych sieciowych - przy pomocy klucza, gwarantujące brak możliwości odczytania danych w trakcie transmisji. Najpopularniejsze standardy szyfrowania to WEP (Wired Equivalent Privacy), WPA (Wireless Protected Access) oraz WPA2. Standard WPA2 stosuje zaawansowany standard szyfrowania AES (Advanced Encryption Standard), zapewniający najwyższy stopień ochrony sieci bezprzewodowych.
- Uwierzytelnianie - definiuje tożsamość użytkowników w sieci oraz przyznaje im poziomy dostępu. Poziomy dostępu mogą określać status użytkowników – od mających pełne uprawnienia do tych, którzy mają dostęp tylko do jednego urządzenia.
- Działanie zgodnie z zasadami zdrowego rozsądku – poprzez ograniczenie mocy transmisji, instalowanie zapór sieciowych, wdrażanie w życie surowej i konsekwentnej polityki w zakresie haseł i korzystania z pamięci USB, dobrej komunikacji pomiędzy pracownikami zakładu a zespołem informatyków.

Wykorzystywanie w zakładzie zajmującym się gospodarką wodnościekową rozwiązań komunikacyjnych bazujących na sieciach bezprzewodowych wymaga szczególnej dbałości o bezpieczeństwo przesyłanych danych zarówno pomiędzy czujnikami i urządzeniami wykonawczymi a systemami sterowania, monitorowania i wizualizacji jak i pomiędzy systemami sterowania a systemami komputerowego zarządzania. Szczegółowy plan bezpieczeństwa powinien dotyczyć następujących, wymienionych dalej obszarów [1].

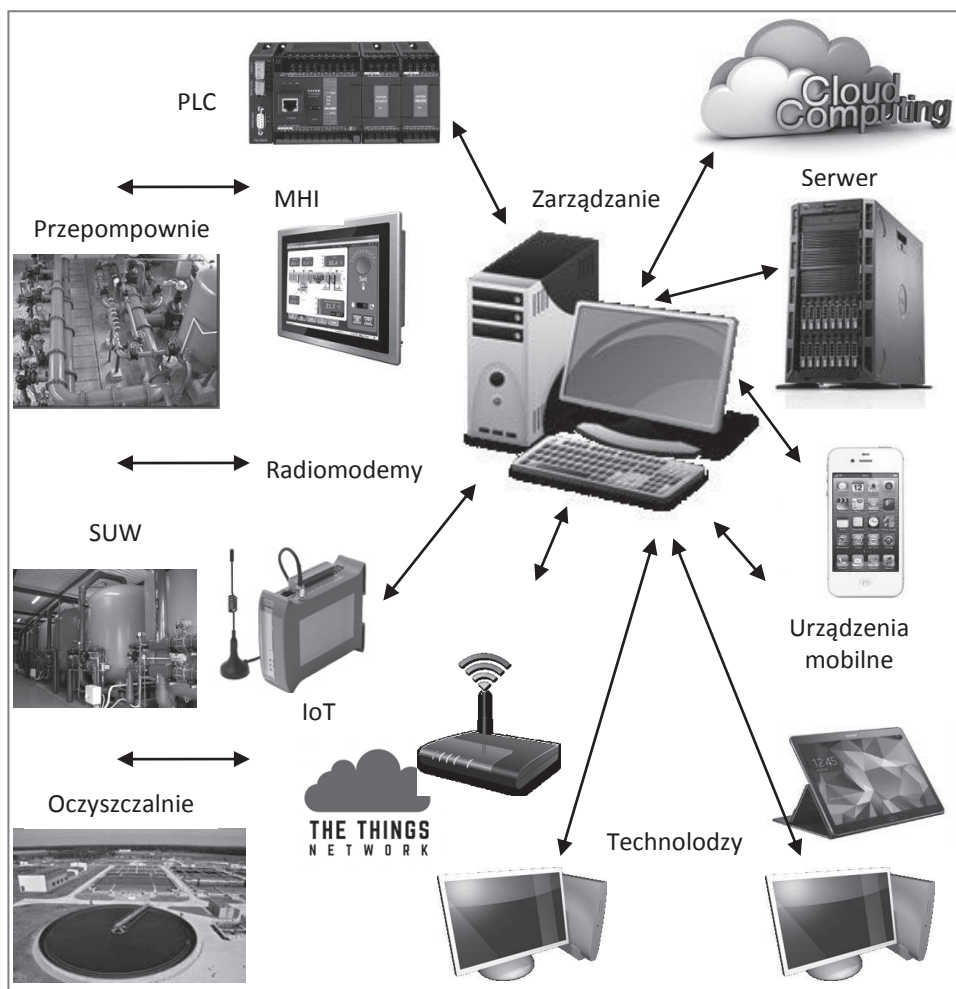
- Plan bezpieczeństwa – czyli opracowana strategia organizacyjna procedur bezpieczeństwa, którymi elementami są edukacja, monitoring, sprawne zarządzanie zasobami.
- Założenie, że każda sieć zawsze jest w pewnym sensie niebezpieczna – ponieważ zawsze istnieje ryzyko ataku cybernetycznego.
- Stosowanie silnego hasła – jest gwarancją podstawowego zabezpieczenia przed nieuprawnionym dostępem.
- Nigdy nie stosować minimalnego poziomu bezpieczeństwa – polegające tylko na filtrowaniu adresu MAC (Media Access Control) lub ukrywaniu identyfikatora sieci SSID (Service Set Identifier).
- Szyfrowanie danych sieciowych – zabezpiecza transferowane dane przed wykorzystaniem przez osoby niepowołane.
- Bieżące aktualizowanie protokołów ochrony – ponieważ nawet najlepsze, aktualnie zabezpieczenia zostaną złamane i konieczne stanie się zastąpienie ich nowszymi rozwiązaniami.
- Czujność i świadomość istnienia zagrożeń – poprzez staranne i bieżące aktualizowanie oprogramowania systemowego i samego sprzętu sieciowego.

Wypełniając wyżej wymienione zalecenia zwiększamy bezpieczeństwo systemu sterowania, monitorowania i wizualizacji funkcjonującego w ramach zakładu gospodarki wodno-ściekowej.

4. Zaawansowany i rozbudowany system sterowania, monitorowania i wizualizacji do zastosowań w gospodarce wodno-ściekowej

Posiadanie aktualnych danych z urządzeń pracujących w stacjach uzdatniania wody, przepompowniach ścieków i oczyszczalniach ścieków jest niezbędne do podejmowania właściwych decyzji dotyczących optymalizacji prowadzonych procesów. Procesowi monitorowania w zakładach wodno-kanalizacyjnych poddawane są między innymi: napięcie zasilania (brak napięcia, brak fazy), stan pomp (sprawna/awaria pompy, wydajność pompy), poziom w studni, kontrola prądu pomp. Zdalne sterowanie realizowane jest między innymi poprzez: załączanie/wyłączanie pomp, otwieranie/zamykanie zasów i inne. Na podstawie danych archiwalnych można raportować: liczbę załączeń pomp, czas pracy pomp, liczbę awarii i czas przestoju oraz sumaryczne przepływy. Monitoring i sterowanie pracą urządzeń stosowanych w systemach wodno-kanalizacyjnych powinien odbywać się w czasie rzeczywistym za pomocą stałego, bezkolizyjnego dostępu obiektów do kanałów transmisji danych. Do realizacji komunikacji niezbędne jest wykorzystanie omówionych wcześniej rozwiązań sprzętowo-programowych zarówno przewodowych jak i bezprzewodowych. Z racji dużego rozproszenia stacji i urządzeń, zdalne monitorowanie urządzeń jest podstawą do poprawnego zarządzania kompleksem urządzeń. Bez dysponowania zaawansowanymi rozwiązaniami sieciowymi zarządzanie takie będzie niemożliwe. Poza bieżącym monitorowaniem i sterowaniem bardzo ważne jest również optymalne planowanie przeglądów, serwisów i remontów.

Do podejmowania decyzji o terminach wymienionych akcji niezbędny jest dostęp do danych archiwalnych. Sprawne usuwanie awarii jest warunkowane dostępem do danych bieżących, których pozyskiwanie z całego systemu wodno-kanalizacyjnego można realizować z wykorzystaniem zaawansowanego systemu informatycznego [10]. Na rysunku 1 przedstawiono propozycję zaawansowanego i rozbudowanego systemu sterowania, monitorowania i wizualizacji możliwego do zastosowań w gospodarce wodno-ściekowej wykorzystującego najnowsze rozwiązania sprzętowo-programowe.



Rys. 1. System sterowania, monitorowania i wizualizacji obiektów wodociągowych i kanalizacyjnych
Fig. 1. Control, monitoring and visualization system of water supply and sewage treatment plant

5. Podsumowanie

Zaawansowany i rozbudowany system sterowania, monitorowania i wizualizacji zbiera aktualne wyniki pomiarów wszystkich parametrów, istotnych dla pracy systemu produkcji i dystrybucji wody, przepompowni ścieków i oczyszczalni ścieków, zapewniając najlepszy dozór nad pracą urządzeń i obiektów. Dyspozytor ma w każdej chwili pełną informację o aktualnym stanie systemu, może szybko reagować na wszelkie zachodzące w nim zmiany dotyczące np. rozbioru wody lub awarii elementów systemu. Pozwala to na poprawną eksploatację systemu, zmniejszanie strat wody oraz zmniejszanie uciążliwości ewentualnych awarii obiektowych dla końcowego odbiorcy. Zarówno obiekty technologiczne jak i magistrale przesyłowe są obiektami rozproszonymi na znacznym terenie stąd zapewnienie prawidłowej komunikacji pomiędzy sterownikami obiektowymi a stacją dyspozytorską jest krytycznym zadaniem.

Zaawansowany system sterowania, monitorowania i wizualizacji urządzeń wykonawczych i instalacji technologicznych w stacjach uzdatniania wody i oczyszczalniach ścieków powinien być 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) Abramczyk, A. Sieci komunikacyjne w przemyśle. Raport. Control Engineering Polska. Listopad/Grudzień 2015. Nr 6(116) Rok XIII, 35-46
- 2) Hoske, M. T. Internet Rzeczy w Fabryce 4.0. Control Engineering Polska. Listopad/Grudzień 2015. Nr 6(116) Rok XIII, 22-24
- 3) Industrial Internet of Things. Unleashing the Potential of Connected Products and Services. Industry Agenda. In collaboration with Accenture. January 2015. http://www3.weforum.org/docs/WEFUSA_IndustrialInternet_Report2015.pdf (dostęp 15.03.2016)
- 4) Komunikacja bezprzewodowa w przemyśle. Raport. Control Engineering Polska. Marzec/Kwiecień 2016. Nr2(118) Rok XIV, 82-90
- 5) Krawiec, P. i inni. Technologia Internetu Rzeczy: architektura, protokoły, zastosowania – cz. 1. Instytut Łączności. Państwowy Instytut Badawczy. Warszawa. Grudzień 2012
- 6) LoRa Alliance Wide Area Networks for IoT <https://www.lora-alliance.org> (dostęp 15.03.2016)
- 7) Łukaszewski, T., Nowak, M. Inteligentne systemy sterowania w inżynierii środowiska wykorzystujące podejście predykcyjne. W: *Zaopatrzenie w wodę jakość i ochrona wód*, Zbysław Dymaczewski, Joanna Jeż-Walkowiak, Mariusz Nowak (red.). Wyd. PZiTS O/Wielkopolski, Poznań, Toruń, 2014, 1123-1131
- 8) Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju. Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko 2014-2020. Warszawa, 2014. https://www.pois.gov.pl/media/1238/POIS_2014_2020_13022015.pdf (dostęp 15.03.2016)
- 9) Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Instytucja Wdrażająca. Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko 2007-2013. Gospodarka wodno-ściekowa. Warszawa, 2011. <http://www.nfosigw.gov.pl> (dostęp 15.03.2016)
- 10) Nowak, M. Nowe rozwiązania systemów sterowania, monitorowania i wizualizacji w gospodarce wodno-ściekowej. W: *Zaopatrzenie w wodę jakość i ochrona wód*, Zbysław Dymaczewski, Joanna Jeż-Walkowiak (red.). Wyd. PZiTS O/Wielkopolski, Poznań, 2012, 339-357 tom I

