

mgr inż. Andrzej Bratek, dr inż. Roman Szewczyk, mgr inż. Katarzyna Rzeplińska-Rykała,
mgr inż. Wojciech Winiarski

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP

Al. Jerozolimskie 202, 02-486 Warszawa

SYSTEM MONITOROWANIA ZASOBÓW WÓD GRUNTOWYCH NA ROZLEGŁYCH OBSZARACH - ROZWIĄZANIE APLIKACYJNE, ZDALNE ADMINISTROWANIE I DOŚWIADCZENIA EKSPLOATACYJNE

W referacie przedstawiono system monitorujący zasoby wód gruntowych, zaimplementowany na wybrzeżu Almerii w Hiszpanii. Szczególną uwagę poświęcono rozwiązaniom oprogramowania, które zaprezentowano na tle doświadczeń zebranych podczas długotrwałej eksploatacji systemu. W projekcie zastosowano przemysłowe, rozproszone systemy kontrolno-pomiarowe oraz środki transmisji danych obejmujące transmisję satelitarną, transmisję przez sieć telefonii komórkowej i Internet. Opracowując oprogramowanie użytkowe należało dokonać zespolenia rozwiązań stosowanych w systemach bazodanowych, systemach SCADA oraz rozwiązań ekspozycji i wymiany danych przez Internet. Pokazano również, użyte z powodzeniem, metody zdalnego administrowania systemem i serwisowania przez Internet.

THE LARGE AREAS SOIL WATER RESOURCES MONITORING SYSTEM - IMPLEMENTATION, REMOTE ADMINISTRATION AND EXPLOITATION EXPERIENCE

The paper presents the soil water resources monitoring system, implemented in Almeria Coast. There is focus on software solutions along with the experience of long-term exploitation of the system. Monitoring of wells is based on industrial distributed measurement subsystems and diverse data transmission means: satellite transmission, cell network and Internet. The application software integrates solutions of data interchange via Internet as well as solutions applied in database and SCADA systems. Besides, the remote administration and maintenance methods via Internet, which have been successfully used, are also shown.

WSTĘP

Problemy związane z ograniczeniem dostępności do zasobów wodnych dotyczą w zasadzie całego kontynentu europejskiego, dlatego zapewnienie zrównoważonego zarządzania zasobami wodnymi na terenach rolniczych jest przedmiotem głębokiego zainteresowania wszystkich państw naszego regionu. Właściwe zarządzanie zasobami wodnymi wymaga wsparcia przez efektywne narzędzia do monitorowania poziomu wód gruntowych. Znalazło to odbicie w budżecie Komisji Europejskiej, w którym znaczne środki finansowe przeznaczone są w ramach kolejnych Programów Ramowych na opracowanie nowoczesnych rozwiązań technicznych w tym zakresie, co z kolei spowodowało przyspieszenie prac związanych z rozwojem tego typu telemetrycznych systemów monitoringu.

Wyrazem tych tendencji jest realizacja projektu Alert, w którym uczestniczy kilka ośrodków naukowych z Europy, ukierunkowanego na badania zasobów wód gruntowych na południowym wybrzeżu Hiszpanii. W ramach projektu opracowano między innymi telemetryczny system monitoringu wód gruntowych o globalnym zasięgu przepływu informacji, wprowadzając nowe rozwiązania techniczne i organizacyjne. Niezbędna była tu integracja rozwiązań z zakresu automatyki przemysłowej, telekomunikacji, jak również rozwiązań z różnych obszarów technologii informatycznych. Zastosowane środki komunikacji umożliwiają zdalnie nadzo-

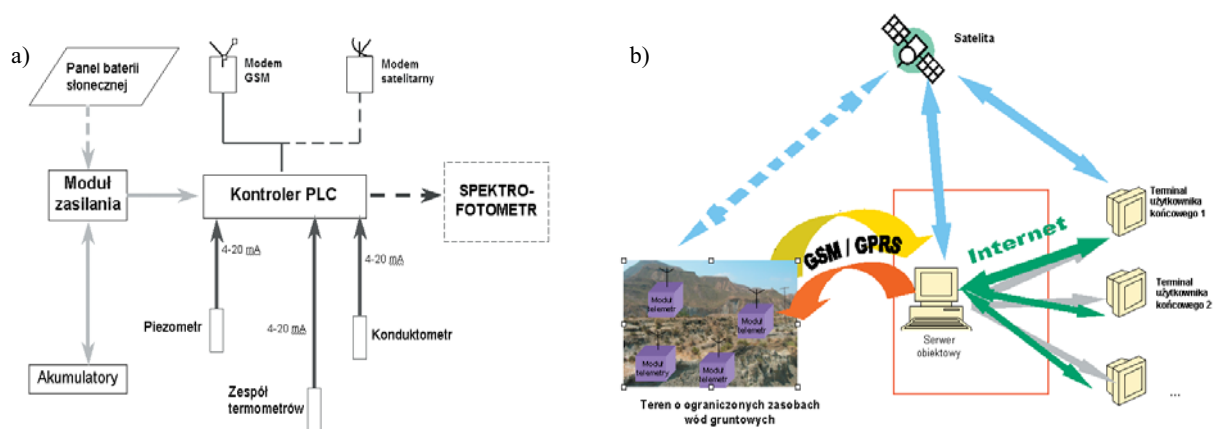
rować funkcjonowanie systemu monitoringu, z odległego miejsca w stosunku do położenia kontrolowanych zasobów wód gruntowych, oraz dowolnie usytuować ośrodek, w którym prowadzone są w trybie on-line procesy analityczne i decyzyjne.

1. KONCEPCJA SYSTEMU MONITORINGU

Do skutecznego zarządzania zasobami wód gruntowych, opartego na modelu geofizycznym, potrzebne są informacje o poziomie wód gruntowych, jej temperaturze oraz konduktywności. Konduktywność, która dostarcza informacji o intruzjach wody morskiej, jest ważna na terenach nadmorskich.

Na rys. 1 został przedstawiony uproszczony schemat modułu telemetrycznego przeznaczonego do monitorowania poziomu wód gruntowych oraz szkic ideowy działania systemu monitoringu.

Dane z przetworników pomiarowych, rozmieszczonych w odwiertach lub studniach na monitorowanym obszarze, są zbierane za pomocą modułu telemetrycznego wyposażonego w sterownik przemysłowy PLC, który odczytuje wartości mierzonych parametrów (w tym poziomu, konduktywności i temperatury wody) oraz wprowadza ewentualne poprawki. W opracowanym module mogą być wykonywane także pomiary spektrofotometryczne, których zadaniem jest zidentyfikowanie cząstek i stężeń pierwiastków występujących w pobranej do badań próbce wody. Następnie zebrane dane są przesyłane do komputera nadrzędnego (stacji SCADA) poprzez sieć telefonii komórkowej GSM (w trybie GPRS lub komunikatów tekstowych SMS). W przypadku braku dostępu do sieci telefonicznej, przewidziano komunikację łączem satelitarnym w sieci Immarsat D+ [4]. Całość modułu telemetrycznego jest zasilana z akumulatora lub może być zasilana z baterii słonecznej, co znacznie podnosi niezawodność systemu. Zbieranie danych pomiarowych następuje w stałych odstępach czasu, istnieje również możliwość pomiaru na „żądanie” w momencie zaistnienia takiej konieczności.



Rys. 1. System monitoringu zasobów wód gruntowych: a) budowa modułu telemetrycznego, b) schemat komunikacji pomiędzy terenem badanym a użytkownikiem końcowym

System monitoringu oparty jest o transmisję GSM. Zadaniem modułu komunikacji jest przekazywanie danych z terenu do serwera obiektowego, na którym jest zainstalowane oprogramowanie typu SCADA (ang. *Supervisory Control And Data Acquisition*), które umożliwi sprawną wizualizację, archiwizowanie oraz raportowanie przesyłanych danych [5]. Z serwera

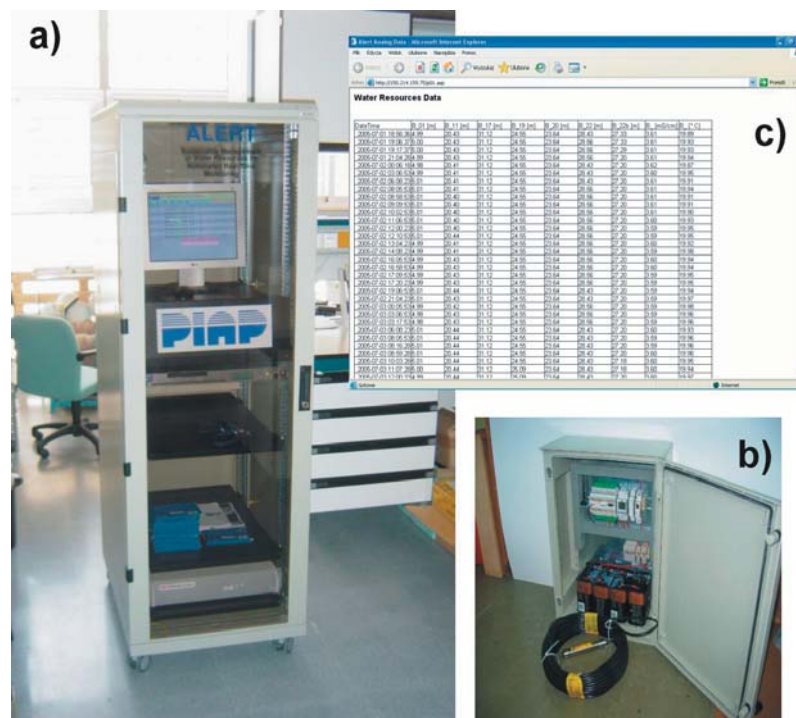
obiektywego raporty są wysyłane za pośrednictwem Internetu do użytkownika końcowego (np. samorządu lokalnego), który ma możliwość na bieżąco obserwować stan wód gruntowych na badanym terenie.

Zaletą takiego systemu jest jego niezawodność i niskie koszty eksploatacji [6]. Ponadto umożliwia włączenie danych pomiarowych do zintegrowanego systemu zarządzania środowiskiem i zasobami naturalnymi, jak również usprawnia proces decyzyjny przez zautomatyzowanie przetwarzania potrzebnych danych [7].

2. PILOTAŻOWA IMPLEMENTACJA SYSTEMU

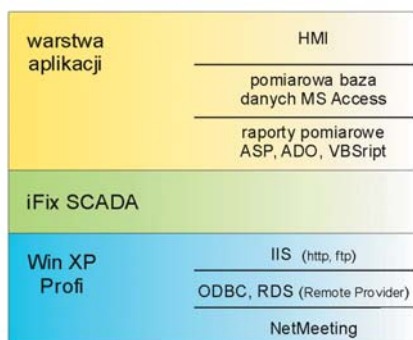
Pilotażowy system monitoringu, uruchomiony w 2005 roku, objął swym zasięgiem pomiary poziomu, temperatury i konduktywności wód gruntowych w odwiertach rozmieszczonych w zlewni rzeki Andarax w Południowej Hiszpanii.

Na rys. 2 przedstawiono elementy składowe systemu. W skład systemu wchodzi 7 oddalonych stacji pomiarowych oraz zlokalizowany na terenie Uniwersytetu Almeria komputer z zainstalowanym pakietem oprogramowania SCADA, pełniący funkcje serwera danych obiektywych.



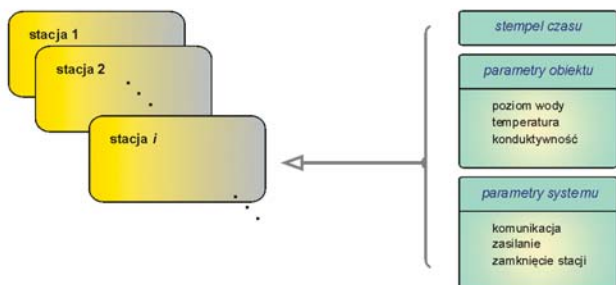
obiektowych i przekazywanie ich bezpośrednio już do serwera danych. Transmisja pomiarów z terenu do stacji centralnej realizowana jest za pośrednictwem lokalnego operatora telefonii komórkowej GSM w trybie komunikatów tekstowych SMS, dalej zaś protokołem *Modbus* do systemu SCADA. Ponadto, komputer dołączono do uniwersyteckiej sieci LAN i przydzielono globalny numer IP, umożliwiając dostęp do serwera przez Internet.

Na rys. 3 zilustrowano budowę oprogramowania stacji centralnej systemu. Serwer systemu skonfigurowano w oparciu o system operacyjny Windows XP Professional i pakiet oprogramowania iFix SCADA. Właściwy nadzór nad pomiarami wód gruntowych zapewnia przygotowana w tym celu aplikacja, która w sposób ciągły prowadzi skanowanie czujników pomiarowych zainstalowanych w stacjach terenowych. Dane przekazywane są do serwera kilkakrotnie w ciągu doby, gdzie podlegają archiwizacji w bazie danych zorganizowanej jako źródło ODBC. Aplikacja, wyposażona w intuicyjne ekrany wizualizacji HMI, udostępnia operatorowi pełną informację o bieżącym stanie obiektu, pozwala również odtworzyć zarejestrowane dane historyczne w formie histogramów z przebiegami parametrów w dowolnym wycinku czasu.



Rys. 3. Podstawowe elementy architektury oprogramowania serwera obiektowego

Transmisja GSM i zasilanie stacji pomiarowych to najbardziej wrażliwe elementy systemu. Przerwanie któregośkolwiek z nich zamyka częściowo lub nawet całkowicie zdolność gromadzenia pomiarów na serwerze. Z tego powodu informacja o przebiegu komunikacji i poziomie zasilania, jako najbardziej istotny atrybut opisu bieżącego stanu funkcjonowania systemu, umieszczana jest w pomiarowej bazie danych, obok odczytywanych wartości parametrów wód gruntowych (rys. 4).



Rys. 4. Struktura pomiarowej bazy danych

W systemie operacyjnym serwera uaktywniono usługi Internetowe IIS (Internet Information Services) obejmujące serwisy *www* oraz *ftp*. Na podstawie pomiarów przechowywanych w bazie danych, posługując się technologią ASP, VBScript i ADO, generowane są dynamiczne raporty dotyczące kontrolowanych zasobów wodnych, które następnie przez łącza Internetu udostępniane są zainteresowanemu ośrodkom (użytkownikom końcowym) w trybie serwisu *www*. Protokół *ftp* obecnie nie jest używany, lecz jako rezerwowany kanał przekazywania danych raportowych może być wykorzystywany w przyszłości. Wobec dostrzeganej potrzeby zautomatyzowania przetwarzania danych obiektowych, ten sposób komunikacji może się okazać przydatnym szczególnie w sytuacji występującej różnorodności platform współpracujących systemów.

Wprowadzono ponadto dwa dodatkowe tory komunikacji z otoczeniem, zdalną konsolę NetMeeting oraz oddalone źródło danych ODBC przypisane do pomiarowej bazy danych. Przewidziano je dla wypełniania zadań zdalnego administrowania systemem poprzez Internet, w tym programowej eksploracji bazy danych.

2. EKSPLOATACJA SYSTEMU I ADMINISTROWANIE JEGO ZASOBAMI

Od chwili wdrożenia eksploatacja systemu przebiega zgodnie z wytyczonymi założeniami. Informacja pomiarowa o stanie wód gruntowych zbierana jest automatycznie z przewidzianego terenu i sukcesywnie gromadzona w bazie danych. Dokonywane jest to w sposób systematyczny, rzetelny i z nieporównywalnie wyższą częstotliwością aktualizacji pomiarów w stosunku do odczytów prowadzonych ręcznie.

Zainteresowane pomiarami ośrodki naukowe uczestniczące w projekcie (usytuowane w różnych miejscach Europy z dala od lokalizacji systemu) mogą bezpośrednio korzystać ze zgromadzonych danych za pośrednictwem Internetu, mając tą drogą zapewniony stały dostęp do systemu. Napływające z terenu pomiary eksponowane są na serwerze *www* i dostępne u klienta końcowego w przeglądarce stron *www* (rys. 5). Dane te mogą być w prosty i standardowy sposób przeniesione do arkusza kalkulacyjnego Excel, co ułatwia ich analizę i obróbkę statystyczną

Date/Time	B_01 [m]	B_11 [m]	B_17 [m]	B_19 [m]	B_20 [m]	B_22 [m]	B_22b [m]	B [mS/cm]	B [°C]
2005-07-01 18:58:38.499	20.43	31.12	24.55	23.64	28.43	27.33	3.61	19.89	
2005-07-01 19:06:37.500	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.33	3.61	19.93	
2005-07-01 19:17:37.500	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.29	3.61	19.93	
2005-07-01 21:04:28.499	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.61	19.94	
2005-07-02 00:06:18.498	20.41	31.12	24.55	23.64	28.43	27.20	3.62	19.87	
2005-07-02 03:06:53.499	20.41	31.12	24.55	23.64	28.43	27.20	3.60	19.95	
2005-07-02 06:06:23.501	20.41	31.12	24.55	23.64	28.43	27.20	3.61	19.91	
2005-07-02 08:06:53.501	20.41	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.61	19.94	
2005-07-02 08:58:53.501	20.40	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.61	19.91	
2005-07-02 09:06:53.501	20.40	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.61	19.91	
2005-07-02 10:02:23.501	20.40	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.61	19.90	
2005-07-02 11:06:53.501	20.40	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.60	19.93	
2005-07-02 12:00:23.501	20.40	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.69	19.95	
2005-07-02 12:10:53.501	20.44	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.69	19.95	
2005-07-02 13:04:23.499	20.41	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.60	19.92	
2005-07-02 14:06:23.499	20.41	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.69	19.98	
2005-07-02 16:06:53.499	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.60	19.94	
2005-07-02 16:58:53.499	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.60	19.94	
2005-07-02 17:09:53.499	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.69	19.95	
2005-07-02 17:20:23.499	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.69	19.95	
2005-07-02 18:06:53.501	20.44	31.12	24.55	23.64	28.43	27.20	3.69	19.94	
2005-07-02 21:04:23.501	20.43	31.12	24.55	23.64	28.43	27.20	3.69	19.97	
2005-07-03 03:06:53.498	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.69	19.96	
2005-07-03 03:17:53.498	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.69	19.96	
2005-07-03 06:06:23.501	20.44	31.12	24.55	23.64	28.43	27.20	3.60	19.93	

Rys. 5. Wyniki pomiarów poziomu wód gruntowych dostępne jako dane na stronie *www*

Z podziału obowiązków przypisanych poszczególnym partnerom uczestniczącym w projekcie wyniknęła konieczność prowadzenia w PIAP-ie podstawowych działań mających na celu

utrzymanie w ciągłym ruchu systemu, który jest eksploatowany w Hiszpani. W pierwszych miesiącach od wdrożenia dopracowane zostały więc procedury zdalnego nadzoru systemu i zarządzania jego zasobami oraz przetestowano je w rzeczywistych warunkach pracy. Działania administracyjne, które prowadzone są w Warszawie, wspierane są w Almerii przez lokalny zespół, co polega na incydentalnym wypełnianiu zgłaszanych zaleceń i instrukcji serwisowo-konserwacyjnych oraz administracyjnych.

Doświadczenia eksploatacyjne potwierdziły przydatność przyjętych rozwiązań. Techniczna obsługa instalacji zasadniczo sprowadza się do zapewnienia zasilania i zagwarantowania dostępu do usług telekomunikacyjnych dostarczanych przez operatora GSM. Po pełnym rozładowaniu się akumulatorów konieczna jest ich wymiana na nowy zestaw, po czym stacja pomiarowa wznawia swą aktywność. Z kolei zastosowana łączność przez telefonię komórkową jest na tyle niezawodnym środkiem transmisji danych, że jej przerwanie bywa zazwyczaj prozaicznym skutkiem zablokowania karty SIM (w modemie modułu telemetrycznego) przez operatora sieci komórkowej. Wznowienie pracy następuje więc po przywróceniu aktywności numeru telefonicznego, aczkolwiek w pewnych sytuacjach może zaistnieć także konieczność rekonfiguracji parametrów sterownika modułu telemetrycznego.

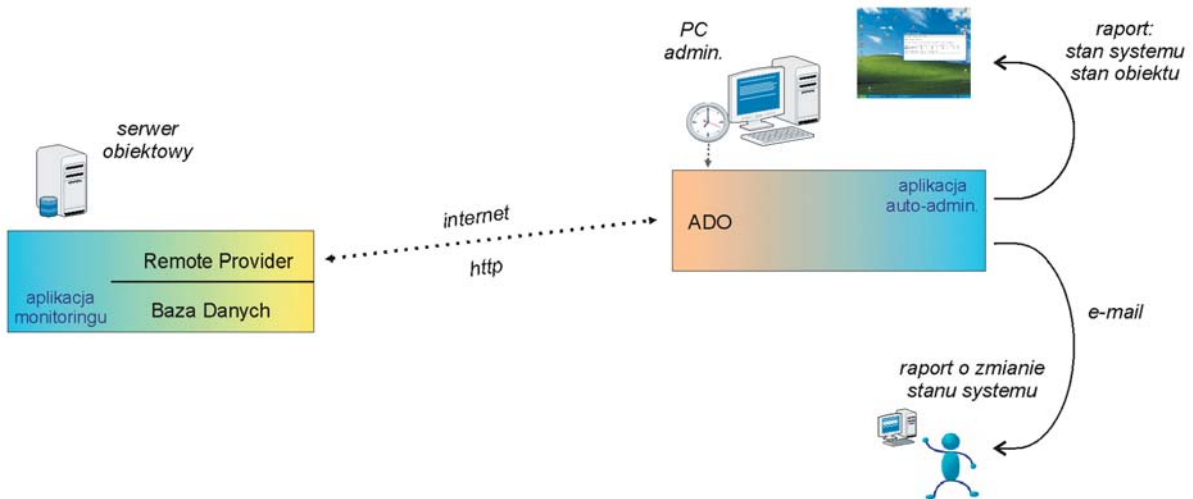
Dla zapewnienia ciągłości poprawnego funkcjonowania systemu krytyczne są następujące obszary aktywności administracyjno-serwisowej:

- nadzór zasilania terenowych stacji pomiarowych
- kontrola komunikacji GSM
- konserwacja oprogramowania serwera obiektowego
- konserwacja aplikacji sterowników PLC modułów telemetrycznych

Rutynowy nadzór funkcjonowania systemu polega na weryfikacji ciągłości komunikacji serwera ze stacjami terenowymi i obserwacji stanu zasilania urządzeń teledystrybucji. Pozostałe działania (których przedmiotem jest oprogramowanie systemu) miały istotne znaczenie głównie w początkowej fazie eksploatacji, tj. do czasu osiągnięcia pełnej stabilności systemu. Istotne kroki działania podejmowane są przez administratora jedynie w sytuacjach awaryjnych i takie sytuacje są przedmiotem jego głównego zainteresowania. Z kolei częste okresowe sprawdzanie pracy systemu jest zajęciem monotonnym i możliwym do przeoczenia, a jednocześnie nadającym się do zautomatyzowania. Powyższe spostrzeżenia dały asumpt do opracowania aplikacji, która przejęła ciężar prowadzenia permanentnej kontroli pracy systemu. Wykorzystano przy tym fakt, że pomiarowa baza danych jest źródłem informacji o stanie transmisji i poziomie naładowania zasilających baterii dla każdej stacji terenowej, jak również to, że na etapie konfiguracji serwera zapewniony został kanał bezpośredniego, zdalnego dostępu do bazy danych przez Internet.

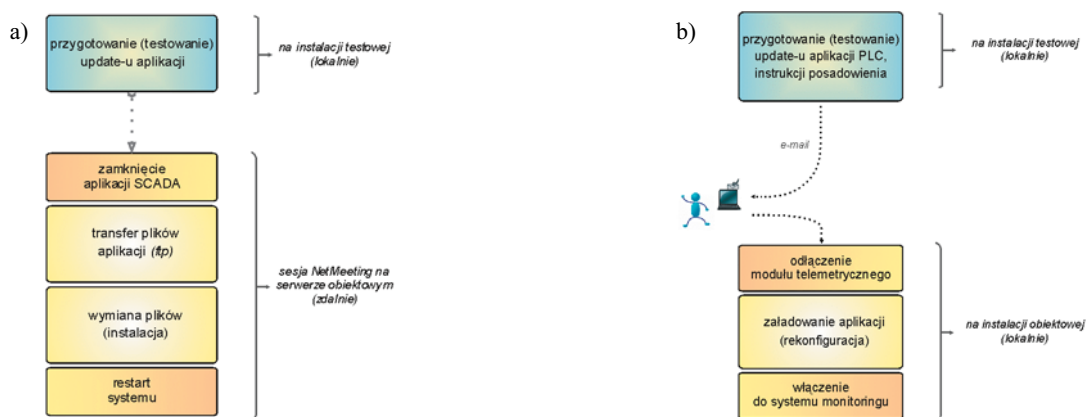
Schemat działania aplikacji pełniącej rolę automatycznego administratora przedstawiono na rys. 6. Aplikację opracowano w oparciu o technologię VB i ADO. Na komputerze PC administratora, w wyniku odpowiednich ustawień w harmonogramie zadań systemu operacyjnego, jest ona automatycznie uruchamiana codziennie o ustalonej godzinie. Na wstępie przebiegu nawiązuje połączenie z pomiarową bazą danych, znajdującą się na serwerze obiektowym. Połączenie realizowane jest poprzez protokół *http* za pośrednictwem, skonfigurowanego na serwerze, zdalnego źródła danych *RDS/MS Remote Provider* [8]. Następnie dokonuje przeglądu ostatnio zapisanych w bazie rekordów, odczytując wartości zmierzonych parametrów oraz ustalając bieżący stan komunikacji i zasilania stacji pomiarowych. Na tej podstawie generuje, w postaci pliku tekstowego, raport o stanie obiektu i stanie systemu, który umieszcza

na pulpicie systemowym. Jeśli nastąpi zmiana stanu komunikacji lub poziomu naładowania akumulatorów w porównaniu ze stanem zanotowanym podczas poprzedniego odczytu bazy danych, to wówczas raport rozsyłany jest pocztą *e-mail* do wybranych użytkowników. W ten sposób automatyczne powiadomienie zgłaszane jest jedynie w odniesieniu do rzeczywiście istotnych wydarzeń, a jednocześnie administrator ma uproszczony dostęp w każdej chwili do aktualnej informacji o nadzorowanym obiekcie.



Rys. 6. Przebieg procesu automatycznego nadzoru pracy systemu monitoringu

Schemat postępowania mającego na celu dokonanie modyfikacji aplikacji serwera obiektowego przedstawiono na rys. 7a. Na wstępie na instalacji doświadczalnej przygotowana jest aplikacja i testowana w zakresie wprowadzanych zmian. Następnie, w trybie zdalnej konsoli *NetMeeting*, nawiązywane jest połączenie z systemem oddalonym [8]. Po uzyskaniu dostępu do serwera obiektowego transferowane są pliki instalacyjne przy pomocy *ftp*, po czym wykonywane są niezbędne modyfikacje w systemie plików serwera. Po zakończeniu zmian restartowana jest aplikacja SCADA lub cały system.



Rys. 7. Przebieg modyfikacji oprogramowania systemu monitoringu: a) serwera obiektowego, b) modułów telemetrycznych

Konserwacja oprogramowania sterowników modułów telemetrycznych, z uwagi na brak zdalnego dostępu do ich zasobów, wymaga nieco innego podejścia, co zilustrowano na rys. 7b. W tym przypadku aplikacja również testowana jest z wykorzystaniem instalacji doświadczalnej, jednak jej posadowieniem w sterowniku zajmuje się lokalna obsługa instalacji obiektywnej. W związku z tym pliki upgrade-u przekazywane są pocztą *e-mail* operatorowi instalacji, łącznie z precyzyjnie przygotowaną instrukcją ich załadowania do sterownika, przedstawianą w postaci zrzutów ekranów programu narzędziowego. Powyższa procedura jest znacznie bardziej kłopotliwa i czasochłonna, lecz przy starannym wykonaniu umożliwi skuteczne przeprowadzenie całej operacji nawet gdy osoba zaangażowana w końcową fazę procedury, tj. mająca bezpośredni dostęp do urządzeń, nie posiada głębszej technicznej wiedzy, która by wykraczała poza typową ich obsługę.

PODSUMOWANIE

Blisko trzyletnia eksploatacja opracowanego w PIAP-ie systemu monitoringu zasobów wód gruntowych na terenie wybrzeża Almerii potwierdziła jego przydatność zarówno z punktu widzenia parametrów funkcjonalnych, jak i wybranych parametrów metrologicznych. Z tego względu można stwierdzić, że jest narzędziem, które może znaleźć szerokie zastosowanie w badaniach hydrologicznych i zarządzaniu zasobami wodnymi, także w innych lokalizacjach kontynentu europejskiego.

Osiągnięte rezultaty świadczą też o właściwym doborze metod i procedur zdalnego administrowania wdrożoną instalacją. W szczególności w pełni owocne i efektywne okazało się ograniczenie czynnika ludzkiego w procesie administrowania, co nastąpiło na drodze software'owego zautomatyzowania rutynowych czynności nadzoru pracy systemu. Należy podkreślić, że uzyskane w tym zakresie doświadczenia mogą być z powodzeniem przeniesione i wykorzystane w innych, podobnych systemach telemetrycznego monitoringu, nie tylko w zastosowaniach hydrologicznych.

Uzyskane doświadczenia wskazują także na realne perspektywy budowy telemetrycznych systemów monitoringu nieograniczających się do lokalnego zasięgu, lecz tworzące bardziej złożone struktury, pozwalające zarządzać w trybie on-line zasobami wód gruntowych w skali regionalnej lub ponadregionalnej z dowolnie położonego centrum analityczno-decyzyjnego.

Praca została zrealizowana w ramach projektu współfinansowanego przez Komisję Europejską (kontrakt nr GOCE-CT-2004-505329).

Literatura

- [1] Szewczyk R., Winiarski W, Nadzór sieci rurociąkowej przy pomocy telefonii komórkowej GSM, Rurociągi 4/2001, s. 35-36
- [2] Simmonds A., Data Communications and Transmission Principles – An Introduction, MacMillan Press, 1997
- [3] Parker T., Sportack M., TCP/IP Księga eksperta, Helion, Warszawa 2000
- [4] Wiczyński A., Bienias A., Jabłkowski J., Kaczanowski S., Karasiński R., Majewski A., Mickiewicz J., Integration and Comparison of Mobile Radiocommunication solutions: EUTELTRACS, INMARSAT-C, - D+ and GSM for hazardous goods Monitoring over the east-west transport corridors in Europe, materiały konferencji „AUTOMATION' 99” s. 286-293

- [5] Chow V.T., Maidment D. R., Mays L. W., Applied Hydrology, McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1988
- [6] Gliński M., Szewczyk R., (2002) Utilizing of the GSM/GPRS technology in monitoring of the distributed technological networks, materiały konferencji „AUTOMATION’2002” p.174-178
- [7] Szewczyk R., Rzeplińska K., Winiarski W., Bratek A., Wieczyński A., Dopierała P., Perski A., Mickiewicz J., Rozproszony system automatycznego monitorowania poziomu wód gruntowych na terenie południowego wybrzeża Hiszpanii, materiały konferencji „AUTOMATION’ 2006” s. 174-181
- [8] <http://www.msdn.microsoft.com>