

# System automatycznego monitorowania poziomu wód gruntowych w skali paneuropejskiej

Roman Szewczyk, Katarzyna Rzeplińska-Rykała  
Wojciech Winiarski, Andrzej Bratek  
Artur Wieczyński, Piotr Dopierała  
Arkadiusz Perski, Jacek Mickiewicz

W e współczesnym świecie woda staje się powoli jednym z najcenniejszych bogactw naturalnych. W odniesieniu do tego surowca kluczowym elementem zarządzania zasobami jest właściwe i zrównoważone jego zużycie. Jednak zarządzanie to powinno opierać się nie tylko na odpowiednio skonstruowanych normach prawnych, lecz także na aktualnych i wiarygodnych informacjach odnośnie do zasobów. Należy podkreślić, że aby proces decyzyjny był efektywny, decyzje powinny zapadać na szczeblach samorządowych. Dlatego władze lokalne szczególnie w terenach rolniczych, gdzie zużycie wody podlega poważnym wahaniom należy wyposażać w odpowiednie środki techniczne, które dostarczą wiarygodnych danych dla procesu decyzyjnego. Danych tych w czasie rzeczywistym może dostarczyć jedynie zintegrowany system zdalnego monitoringu wód gruntowych.

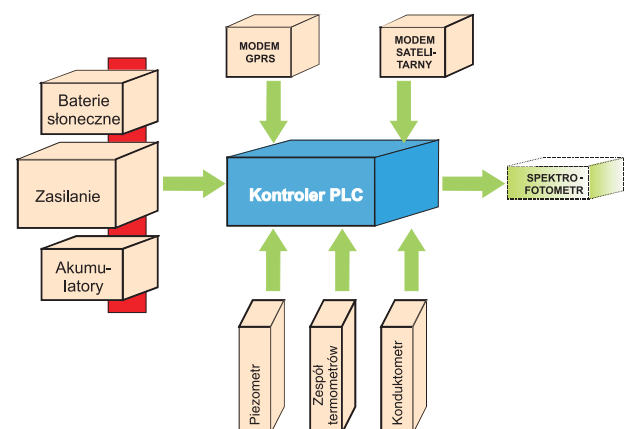
Uwarunkowania klimatyczne powodują, że systemy monitorowania zasobów wód gruntowych na terenach rolniczych mają oczywiste znaczenie w krajach południa Unii Europejskiej, takich jak Hiszpania czy Włochy. Jednak problemy związane z ograniczeniem dostępności do zasobów wodnych dotyczą w zasadzie całego kontynentu europejskiego. Z punktu widzenia legislacyjnego zarządzanie zasobami wodnymi regulują przede wszystkim dyrektywy Unii Europejskiej dotyczące polityki wodnej [2000/60 CE (ECOJ 22 Dec 2000)], a w szczególności „Zintegrowane zużycie zasobów wodnych” jak również aneks V „Woda gruntowa: monitoring” oraz deklaracja Ministerialnej Rady Bezpieczeństwa Wodnego w XXI Wieku (Druga Światowa Konferencja dotycząca Wody, maj 2000, Haga, Holandia). Jednak działania legislacyjne muszą być powiązane z budową zintegrowanych systemów technicznych wspierających zarządzanie zasobami wody gruntowej. Z tych właśnie powodów w budżecie Komisji Europejskiej zarówno w 6., jak i w 7. Programie

Ramowym przeznaczono znaczne środki finansowe na opracowanie nowoczesnych rozwiązań technicznych dla monitoringu zasobów wodnych. Spowodowało to silną intensyfikację zarówno prac w obszarze badań stosowanych, jak i prac techniczno-wdrożeniowych związanych z rozwojem tego typu telemetrycznych systemów monitoringu.

## Opracowany system monitoringu wód gruntowych

Już uproszczona analiza wymagań wskazuje, że do skutecznego zarządzania zasobami wód gruntowych (opartego na modelu geofizycznym) są potrzebne informacje o poziomie wód gruntowych, jej temperaturze oraz konduktywności. Konduktywność jest szczególnie ważna na terenach nadmorskich, ponieważ dostarcza informacji o ewentualnych intruzjach wody morskiej.

Uproszczony schemat modułu telemetrycznego przeznaczonego do monitorowania poziomu wód gruntowych został przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Moduł telemetryczny zastosowany w monitoringu zasobów wód gruntowych

dr inż. Roman Szewczyk, mgr inż. Katarzyna Rzeplińska-Rykała, mgr inż. Wojciech Winiarski, mgr inż. Andrzej Bratek, dr inż. Artur Wieczyński, inż. Piotr Dopierała, mgr inż. Arkadiusz Perski, mgr inż. Jacek Mickiewicz – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP, Warszawa

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

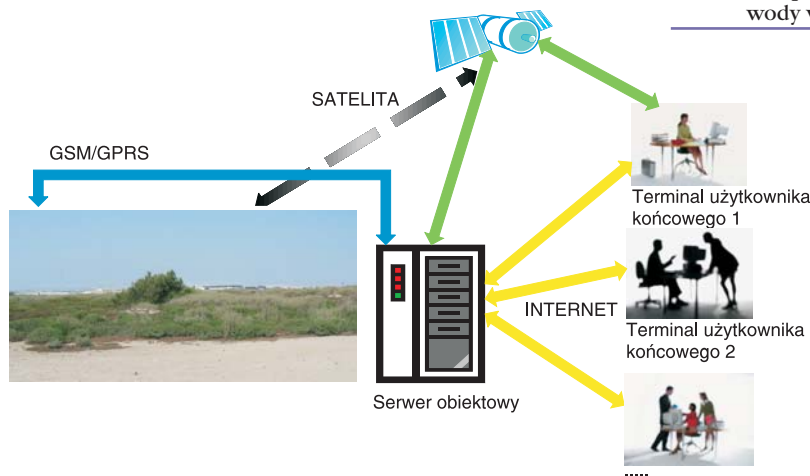
(w tym poziomie, konduktywności i temperatury wody) oraz wprowadza ewentualne poprawki. W opracowanym module mogą być wykonywane także pomiary spektrofotometryczne, których zadaniem jest zidentyfikowanie cząstek i stężeń pierwiastków występujących w pobranej do badań próbce wody. Następnie zebrane dane są przesyłane do komputera nadrzędnego (stacji SCADA) poprzez sieć telefonii komórkowej (w trybie GSM/GPRS) lub jeśli sieć telefoniczna jest niedostępna – łączem satelitarnym [1]. 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 przedziałach czasu, jak również istnieje możliwość pomiaru na żądanie w chwili zaistnienia takiej konieczności.

### Transmisja danych w systemie monitoringu wód gruntowych

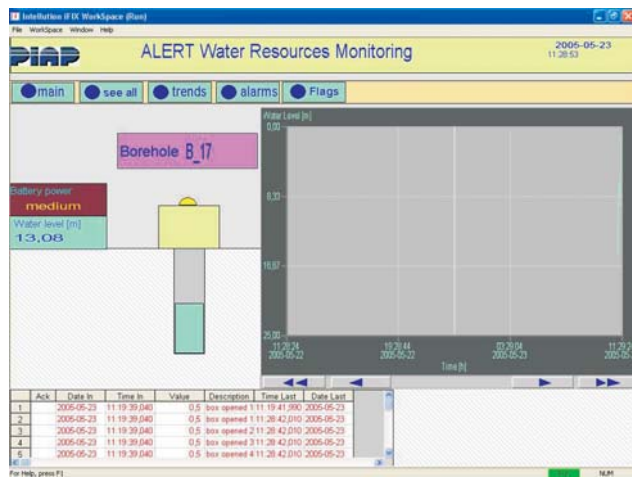
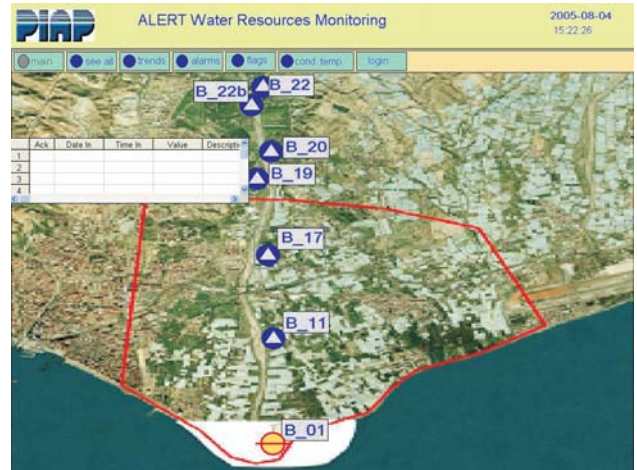
Praktyczna analiza niezawodności wykazała, że pod system transmisji danych jest najbardziej podatnym na uszkodzenia elementu systemem monitoringu poziomu wód gruntowych. Dlatego obiektowy moduł pomiarowy został zaopatrzony w dwa niezależne systemy transmisji danych: transmisję pakietową w sieci GSM (GPRS) oraz transmisję satelitarną w sieci INTELSAT. Schemat ideowy działania systemu monitoringu został przedstawiony na rys. 2.

System monitoringu jest oparty głównie na transmisji GSM/GPRS, ponieważ jest on tani i niezawodny. W rzadkich przypadkach zawodności systemu GSM/GPRS zostanie uruchomiony system satelitarny. Obydwa moduły mają za zadanie transmisję danych z terenu do serwera obiektowego, na którym jest zainstalowane oprogramowanie typu SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), które umożliwia sprawną wizualizację, archiwizowanie oraz raportowanie przesyłanych danych [2]. Z serwera obiektowego sprawozdania

oraz raporty są wysyłane za pośrednictwem Internetu do użytkownika końcowego (np. samorządu lokalnego), który ma możliwość na bieżąco obserwować stan wód gruntowych na badanym terenie. Przykładowe ekrany sterowania i analizy danych systemu zarządzania zasobami wodnymi przedstawiono na rys. 3.



Rys. 2. Schemat systemu komunikacji pomiędzy terenem badanym a użytkownikiem końcowym



Rys. 3. Ekrany sterowania i analizy danych systemu zarządzania zasobami wodnymi: 1) widok ogólny rozmieszczenia punktów pomiarowych (rejon Almerii w Południowej Hiszpanii), 2) ekran danych statystycznych poziomu wody w jednym z odwiertów

Zaletą takiego systemu jest niezawodność i niskie koszty eksploatacji, ponieważ w systemie najczęściej jest używana transmisja przez sieć telefonii komórkowej GSM oraz przez Internet, zaś transmisja satelitarna jest wykorzystywana jedynie w stosunkowo rzadkich stanach awaryjnych systemu. Ponadto wszystkie istotne parametry związane z zasobami wody mogą być obserwowane przez naukowców znajdujących się często w innym rejonie Europy.

Dane pomiarowe mogą być archiwizowane, co stwarza możliwość poddania ich obróbce statystycznej oraz tworzenie rzetelnych raportów. [3] Otwiera to nowe możliwości obiektywnej weryfikacji opracowanych strategii zarządzania zasobami wodnymi.

Monitoring wspomagany komputerowo umożliwia włączenie danych pomiarowych oraz raportów statystycznych do zintegrowanego systemu zarządzania środowiskiem i zasobami naturalnymi. Dzięki temu znaczna część procesu decyzyjnego może zostać zautomatyzowana, co umożliwia powiązanie reakcji systemu z wyrafinowanym procesem decyzyjnym.

Ponieważ, jak wspomniano powyżej, transmisja danych jest jednym z najważniejszych elementów systemu monitoringu, należy uświadomić sobie wady i zalety każdej z dostępnych metod.

## Transmisja GSM/GPRS

System transmisji danych dostępny w sieciach telefonii komórkowej polega na tym, że dane użytkownika są dzielone na pakiety przesyłane w kanale transmisyjnym (w rzeczywistości składającym się z 8 szczelin czasowych), do którego użytkownik ma stały, lecz nie wyłączny dostęp. Pozwala to na efektywniejsze wykorzystanie łącza i naliczanie przez operatora opłat w funkcji faktycznej ilości przesłanych danych.

Usługa ta jest zoptymalizowana dla użytkowników mobilnych korzystających głównie z zasobów stacjonarnych

sieci Internet. Powoduje to, że poza wymienionymi wyżej zaletami ma niestety dość poważne wady w przypadku stosowania jej do aplikacji telemetrycznych.

Pozostałe zalety bezprzewodowej transmisji danych to: elastyczność, nieograniczony zasięg, co daje ogromne możliwości, niskie koszty eksploatacji (koszt jest taki sam przy odległości 20 km, jak przy 100 km), niezawodność systemu pod warunkiem nieograniczonego zasięgu operatora. Do wad należy zaliczyć fakt, że niektóre tereny nieurbanizowane nie są pokryte przez sieć GSM.

## Satelitarna transmisja danych

Satelitarna transmisja danych jest oparta na kilku satelitach przebywających na orbicie okołoziemskiej [4]. Całodobową komunikację pomiędzy każdymi dwoma punktami na Ziemi zapewniają już trzy satelity, położone w odległości kątowej 120° i wysokości 35 800 km.



Rys. 4. Zasięg działania satelity INTELSAT

DateTime	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 18:56:36	4.99	20.43	31.12	24.55	23.64	28.43	27.33	3.61	19.89
2005-07-01 19:06:37	5.00	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.33	3.61	19.93
2005-07-01 19:17:37	5.00	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.29	3.61	19.93
2005-07-01 21:04:28	4.99	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.61	19.94
2005-07-02 00:06:18	4.98	20.41	31.12	24.55	23.64	28.43	27.20	3.62	19.87
2005-07-02 03:06:53	4.99	20.41	31.12	24.55	23.64	28.43	27.20	3.60	19.95
2005-07-02 06:08:23	5.01	20.41	31.12	24.55	23.64	28.43	27.20	3.61	19.91
2005-07-02 08:05:53	5.01	20.41	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.61	19.94
2005-07-02 08:58:53	5.01	20.40	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.61	19.91
2005-07-02 09:09:53	5.01	20.40	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.61	19.91
2005-07-02 10:02:53	5.01	20.40	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.61	19.90
2005-07-02 11:06:53	5.01	20.40	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.60	19.93
2005-07-02 12:00:23	5.01	20.40	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.59	19.95
2005-07-02 12:10:53	5.01	20.44	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.59	19.95
2005-07-02 13:04:23	4.99	20.41	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.60	19.92
2005-07-02 14:08:23	4.99	20.41	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.59	19.98
2005-07-02 16:05:53	4.99	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.60	19.94
2005-07-02 16:58:53	4.99	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.60	19.94
2005-07-02 17:09:53	4.99	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.59	19.95
2005-07-02 17:20:23	4.99	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.59	19.95
2005-07-02 19:06:53	5.01	20.44	31.12	24.55	23.64	28.43	27.20	3.59	19.94
2005-07-02 21:04:23	5.01	20.43	31.12	24.55	23.64	28.43	27.20	3.59	19.97
2005-07-03 00:05:53	4.99	20.42	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.59	19.98
2005-07-03 03:06:53	4.98	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.59	19.96
2005-07-03 03:17:53	4.98	20.43	31.12	24.55	23.64	28.56	27.20	3.59	19.96
2005-07-03 06:08:23	5.01	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

Obecnie można stwierdzić, że satelitarna transmisja danych z pewnością należy do najmniej zawodnych. Rysunek 4 przedstawia zasięg aktualnie pracujących satelitów w systemie INTELSAT, zasięg satelitarnej transmisji danych pokrywa cały świat.

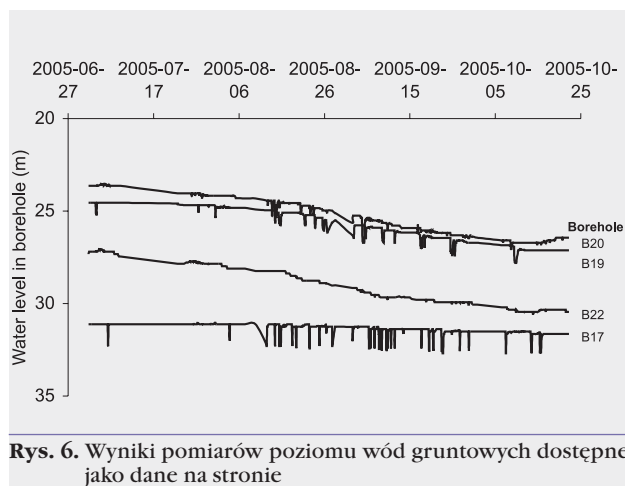
Choć opłata za użytkowanie systemu satelitarnego jest wysoka, to biorąc pod uwagę jego niezawodność, jest to cena akceptowalna. W zintegrowanym systemie monitoringu zasobów wód gruntowych system satelitarny ma rolę ratującą system w chwili zaniku sieci GSM, więc udział kosztów jest proporcjonalny do czasu pracy modułu satelitarnego.

### Internetowa transmisja danych

Internetowa transmisja danych jest tania, szybka i niezawodna z każdego miejsca na ziemi. Jest również łatwa w użyciu dla potencjalnego użytkownika końcowego, oczywiście pod warunkiem istnienia odpowiedniej infrastruktury kablowej. Z tego też powodu transmisja danych przez Internet jest zastosowana wyłącznie na odcinku pomiędzy serwerem obiektowym a pracującym zdalnie użytkownikiem końcowym [5]. W tym wypadku ta droga transmisji daje niezastąpione i elastyczne możliwości prezentacji wyników, także dzięki możliwości przedstawienia agregowanych danych w każdej przeglądarce stron www (rys. 5). Dane te mogą być także w prosty i standardowy sposób przeniesione do arkusza kalkulacyjnego Excel, co ułatwia ich analizę i obróbkę statystyczną.

### Wyniki pomiarów pilotowych w Południowej Hiszpanii

Na rys. 6 przedstawiono wyniki pilotowych pomiarów w odwiertach rozmieszczonych w zlewni rzeki Andarax w Południowej Hiszpanii. Na wykresie integrującym dane pomiarowe z trzech miesięcy widać, że wahania poziomu wody podlegają zarówno długookresowemu cyklowi związanemu z porami roku, jak i krótkookresowym zmianom związanym z pompowaniem wody gruntowej dla rolnictwa.



Rys. 6. Wyniki pomiarów poziomu wód gruntowych dostępne jako dane na stronie

Powyższe wyniki potwierdzają poprawną pracę systemu w dłuższym czasie. Ponadto z analizy statystycznej wyników pomiarów stwierdzono, że niepewność wskazań modułów pomiarowych w odniesieniu do pomiaru poziomu wody gruntowej jest mniejsza od rozdzielczości przetwornika pomiarowego. Ta właściwość upraszcza proces analizy metrologicznej wyników pomiarów.

### Podsumowanie

Należy podkreślić, że zintegrowane systemy monitoringu zasobów wód gruntowych na terenach rolniczych mogą przynieść wymierne korzyści zarówno społeczne, jak i ekonomiczne. Dlatego należy spodziewać się dalszego, intensywnego rozwoju technologii z nimi związanych. Rozwój ten będzie w dużej mierze finansowany ze środków Komisji Europejskiej. W trakcie projektowania i eksploatacji systemu monitoringu zasobów wód gruntowych szczególną uwagę należy zwrócić na poprawny dobór metodyki transmisji danych, ponieważ to on decyduje (w głównej mierze) o niezawodności systemu.

Opracowany system do monitoringu zasobów wód gruntowych potwierdził swoją przydatność zarówno z punktu widzenia parametrów funkcjonalnych jak i wybranych parametrów metrologicznych. Z tego względu jest przydatnym narzędziem, które może znaleźć zastosowanie w badaniach hydrologicznych i zarządzaniu zasobami wodnymi nie tylko na południu Hiszpanii.

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

### Bibliografia

1. R. Szewczyk, W. Winiarski, *Nadzór sieci rurociągowej przy pomocy telefonii komórkowej GSM*, Rurociągi 4/2001, s. 35–36.
2. A. Simmonds, *Data Communications and Transmission Principles – An Introduction*, MacMillan Press, 1997.
3. T. Parker, M. Sportack *TCP/IP Księga eksperta*, Helion, Warszawa 2000.
4. A. Wieczyński, A. Bienias, J. Jabłkowski, S. Kaczanowski, R. Karasiński, A. Majewski, J. Mickiewicz, *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 1999 s. 286–293.
5. M. Gliński, R. Szewczyk, *Utilizing of the GSM/GPRS technology in monitoring of the distributed technological networks*, materiały konferencji AUTOMATION 2002 s. 174–178. ■