

## Telemetryczny System Monitoringu stanów i temperatury wód podziemnych. Projekt GeoReader

Telemetry Monitoring System of groundwater level and temperatures. The GeoReader project

Jan Przybyłek<sup>1</sup>, Marek Marciniak<sup>1</sup>, Dariusz Kasztelan<sup>1</sup>, Maciej Przybyłek<sup>1</sup>

**Streszczenie:** Głównym celem projektu GeoReader jest stworzenie otwartej, uniwersalnej platformy oprogramowania oraz sprzętu do monitorowania środowiska. Projekt został opracowany na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM we współpracy z firmą H2ONET.

Otwarta platforma umożliwia automatyzację zbierania danych z prowadzonego monitoringu wód podziemnych oraz pozwala na bezpieczną, szyfrowaną transmisję wyników do bazy danych. Wiele z ustawień i parametrów rejestratora danych GSM, takich jak: częstotliwość i liczba pomiarów, stanu baterii, siła sygnału GSM są zdalnie kontrolowane. Dane obserwacyjne, wykresy, raporty wyników monitoringu wód podziemnych i ustawienia rejestratora danych GSM mogą być zarządzane online za pomocą standardowej przeglądarki internetowej.

Uniwersytety i instytucje publiczne mogą uczestniczyć w tym otwartym projekcie i zintegrować swoje czujniki i przetworniki ciśnienia z platformą GeoReader.

**Abstract:** The main objective of the GeoReader project is to create an open, universal hardware and software platform for environmental monitoring. The project is developed by the Faculty of Geographical and Geological Sciences, Adam Mickiewicz University in collaboration with the company H2ONET. The open platform will automate the collection of the groundwater monitoring data and allow the secure encrypted transmission of the results to the database. Many of the settings and parameters of the GSM data logger such as: frequency and number of measurements, battery status, GSM signal strength are remotely controlled. Data, graphs, groundwater monitoring reports and the GSM data logger settings can be managed directly online using a standard web browser. Universities and public institutions can participate in this open project and integrate their sensors and pressure transmitters into the GeoReader platform.

**Słowa kluczowe:** monitoring, wody podziemne, telemetria.

**Key words:** monitoring, groundwater, telemetry.

### ZAŁOŻENIA I CELE PROJEKTU GEOREADER

System monitoringu stanów i temperatury wód podziemnych jest rozwijany w ramach Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych we współpracy z firmą H2ONET. Jako innowacyjna technologia był współfinansowany ze środków Poznańskiego Parku Naukowo-Technologicznego.

Zadaniem projektu jest stworzenie otwartej, uniwersalnej platformy sprzętowo-programowej do monitorowania szeroko rozumianego środowiska przyrodniczego, która pozwoliłaby na zautomatyzowanie przesyłania wyników

pomiarów oraz zdalne programowanie pracy rejestratora.

Istniejące systemy telemetryczne oferowane przez producentów sond hydrostatycznych są najczęściej systemami zamkniętymi, ograniczonymi wyłącznie do obsługi sond hydrostatycznych lub czujników danego producenta. Użytkownik nie ma możliwości dostosowania oprogramowania do swoich potrzeb, a dane z pomiarów są przechowywane często w chmurze na zagranicznych serwerach, co może być niepożądane w przypadku instytucji publicznych. Są to również często rozwiązania kosztowne.

W nowoczesnych rozwiązaniach telemetrycznych rejestrator odpowiada za kontrolę pracy sondy oraz czujników, a także przesyła dane do komputera lub serwera bazy danych.

<sup>1</sup>Adres do korespondencji: Jan Przybyłek, Zakład Hydrogeologii i Ochrony Wód UAM, janex@amu.edu.pl

Uwzględniając powyższe uwarunkowania określono następujące cele projektu:

1. Zbudowanie dedykowanego rejestratora umożliwiającego podłączenie dowolnej hydrostatycznej sondy głębokości oraz dowolnego innego czujnika, dla których producent udostępnił dokumentację techniczną.

2. Opracowanie oprogramowania do tego rejestratora.

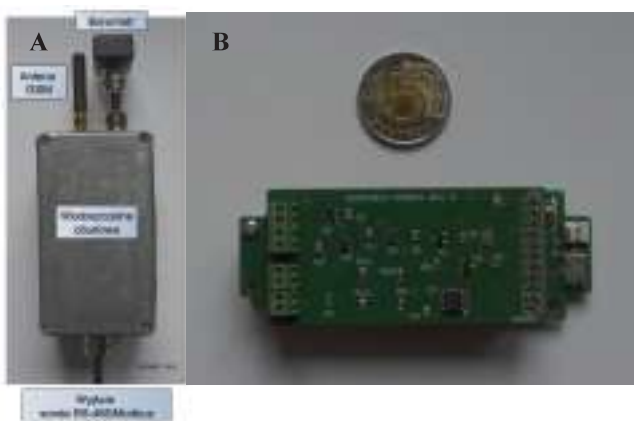
3. Po stronie serwera stworzenie aplikacji w oparciu o dostępną bezpłatnie wersję bazy danych Oracle Database Express Edition 11g Release 2 umożliwiającą gromadzenie oraz analizę danych z pomiarów w czasie rzeczywistym.

4. Aplikacja w trybie administratora danych powinna umożliwiać zdalne sterowanie pracą rejestratora.

5. Przesył danych pomiędzy rejestratorem a bazą danych powinien być szyfrowany za pomocą certyfikatów SSL i haseł.

6. Platforma powinna być otwarta, tak aby umożliwić dodawanie dodatkowych urządzeń oraz funkcji innym uczelniom i instytucjom.

Badania testowe prototypu rejestratora przeprowadzono w 2015 roku na ujęciu komunalnym Dębina w Poznaniu w nowo wykonanej studni wierconej nr 96 w biegu 3 lewara ujęcia. W celu wykonania doświadczalnych pomiarów wykorzystano prowadzone pompowanie odwadniające w wyżej wymienionej studni, niezbędne do obniżenia zwierciadła wody do stanu umożliwiającego podłączenie studni wierconej do rurociągu lewarowego. Testy prototypu potwierdziły założoną koncepcję systemu.



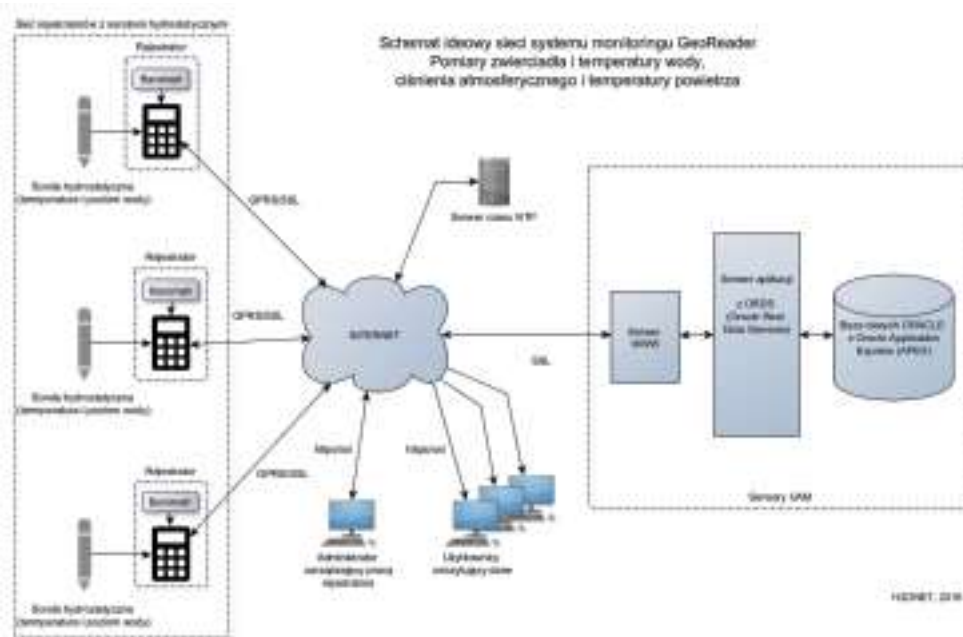
Rys. 1. Wizualizacja zaprojektowanego urządzenia: obudowa oraz elementy elektroniczne. 1A – rejestrator w obudowie, 1B – elementy elektroniczne rejestratora

Fig. 1. Picture of the designed device: enclosure and electronic components. 1A – data logger's enclosure, 1B – data logger's electronic components

W 2016 roku opracowano docelową wersję zminiaturyzowanego urządzenia ze sprawdzoną wodoszczelnością (rys. 1A) i z możliwością jego zabudowy w głowicy otworu hydrogeologicznego. Układ elektroniczny składa się z dwóch obwodów drukowanych: obwodu głównego z modułem modem GSM/mikrokontroler oraz obwodu rozszerzającego z konwerterami oraz złączami do czujników. Część rozszerzająca wraz z zamontowanymi sterowniczo-kontrolnymi podzespołami elektronicznymi może być wymieniana i dostosowywana do wymagań i specyfikacji obsługiwanych czujników. Na rysunku 1B przedstawiono zdjęcie (rzut z góry) urządzenia elektronicznego w celu ukazania jego wielkości w skali.

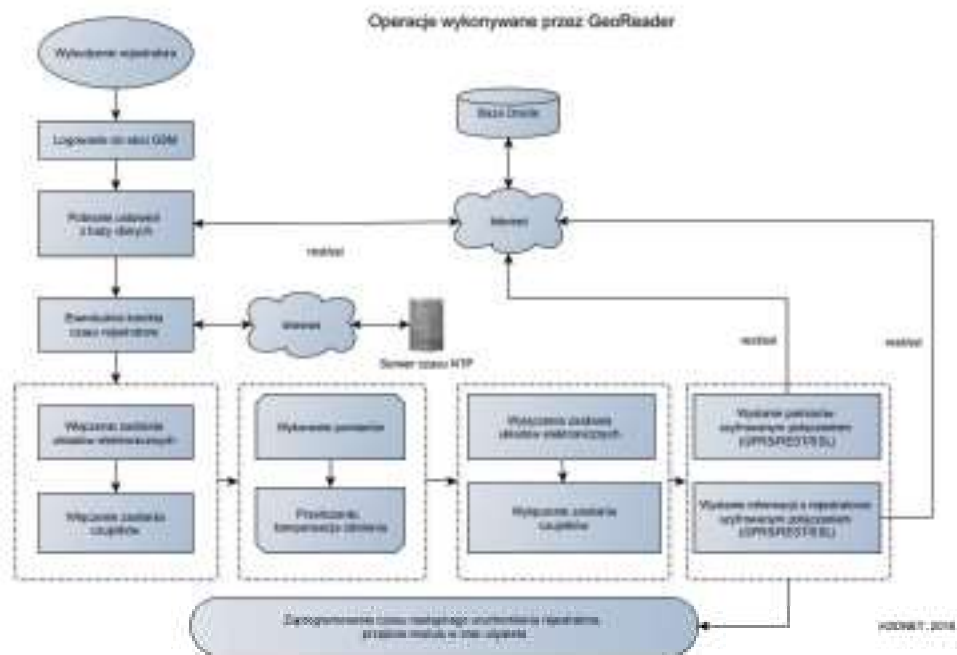
## OPIS FUNKCJONALNY SYSTEMU MONITORINGU GEOREADER

Telemetryczny system monitoringu poziomu i temperatury wód podziemnych składa się z dwóch modułów: modułu rejestratora wraz z oprzyrządowaniem oraz modułu serwera (rys. 2). Do rejestratora podłączona jest sonda hydrostatyczna, która mierzy poziom oraz temperaturę wód podziemnych i przekazuje dane do rejestratora. Rejestrator pobiera dane do kalibracji barometru, a następnie wykonuje pomiar temperatury zewnętrznej oraz ciśnienia atmosferycznego i przelicza wartości, dokonując w zależności od typu sondy kompensacji wahań ciśnienia atmosferycznego (rys. 3). Dane z pomiarów zapisywane są w pamięci flash oraz po zakończonej serii pomiarów przesyłane poprzez GSM/GPRS szyfrowanym połączeniem do serwera bazy danych Oracle (rys. 2) (Moore S., 2014; Ashdown L. i in., 2015). Uwierzytelnianie transmisji odbywa się za pomocą certyfikatów oraz haseł (Cinterion BGS5 Java User's Guide, 2013). Prawidłowa transmisja danych jest potwierdzana zwrotną informacją z serwera. Dane mogą być analizowane w czasie rzeczywistym za pomocą przeglądarki internetowej w formie tabelarycznej lub wykresu, eksportowane do dowolnego formatu oraz drukowane w formacie PDF (Jennings T., 2015). Również z poziomu przeglądarki internetowej możliwe jest ustawianie parametrów pracy rejestratora np. wybór sondy, częstotliwości pomiarów (rys. 4), określanie serii pomiarów, a także zdalne monitorowanie parametrów pracy rejestratora jak np. stan baterii, temperatura mikroprocesora, siła sygnału GSM (rys. 5) (Cinterion BGS5 AT Command Set, 2013).



Rys. 2. Schemat ideowy systemu monitoringu GeoReader  
Fig. 2. Diagram of the GeoReader monitoring system

Rys. 3. Schemat funkcjonowania systemu Georeader  
Fig. 3. Diagram of the GeoReader operations



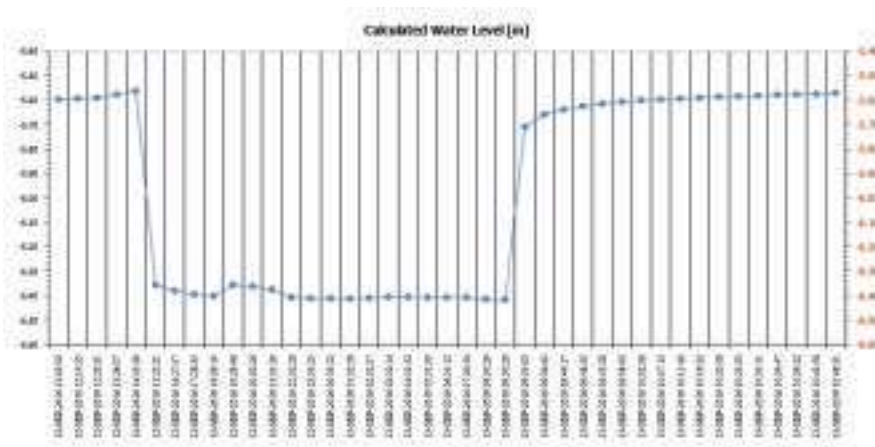
Dodatkowy planowany moduł Systemu Informacji Przestrzennej (SIG/GIS) wykorzystujący oprogramowanie Oracle Locator pozwoli na przeprowadzenie zaawansowanych analiz danych przestrzennych i atrybutowych na pozyskanych pomiarach.

Zakładana autonomia urządzenia wynosi minimum 6 miesięcy.

Opracowanie własnego oprogramowania do rejestratora pozwala na pełną kontrolę jego pracy, umożliwiając w razie potrzeby dodawanie nowych funkcji np. niezbęd-

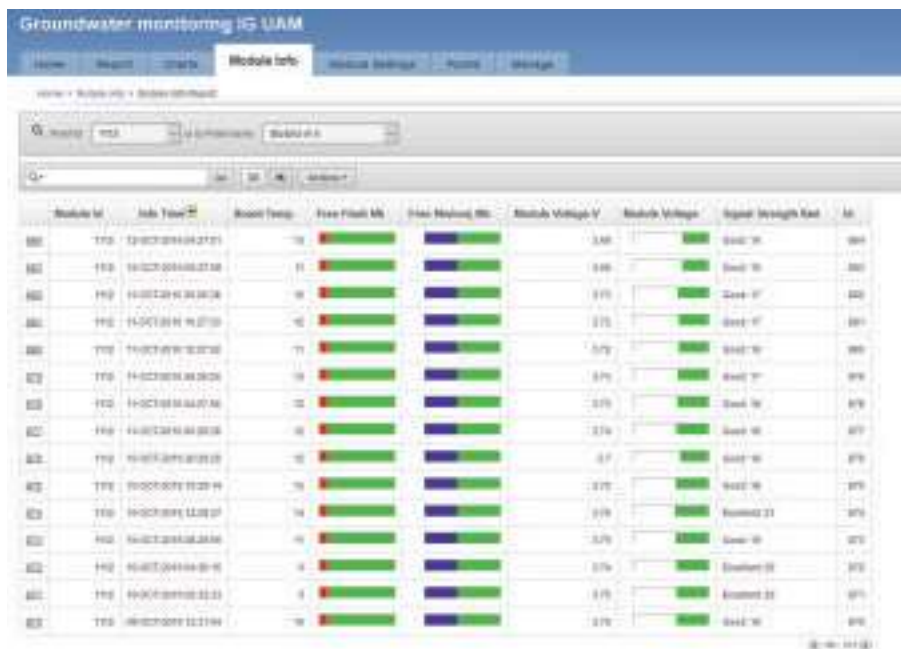
nych w badaniach naukowych oraz integrowanie dodatkowych urządzeń pomiarowych i czujników (Cinterion BGS5 Hardware Interface Description, 2014). Dotychczas opracowano biblioteki dla wiodących na polskim rynku sond Keller, Aplisens oraz Leeg, zarówno w wersjach z kompensacją ciśnienia atmosferycznego jak i z ciśnieniem bezwzględny.

Opracowanie po stronie serwera własnej aplikacji do przetwarzania danych pozwala na uniezależnienie się od drogiego, komercyjnego oprogramowania producentów



**Rys. 4.** Przykład rejestracji stanu wody podziemnej ze zdalną zmianą częstotliwości pomiarów z interwału co 1 godzinę na co pięć minut. Zwierciadło wody podziemnej w metrach od kryzy.  
Fig. 4. Water level data and the remote change of the interval in measurements from 1 hour to 5 minutes. Water level in meters from the reference point/orifice

**Rys. 5.** Informacje o stanie rejestratora: temperatura pracy mikrokontrolera, ilość zajętej/dostępnej pamięci flash, stan pamięci RAM mikrokontrolera, napięcie elektryczne baterii, siła sygnału GSM.  
Fig. 5. Real-time information about the state of the data logger: board temperature, available flash memory, available RAM, battery voltage, GSM signal strength



sond. Moduł serwerowy może wykorzystywać istniejącą infrastrukturę operatora i zostać zintegrowany z istniejącym oprogramowaniem.

### TESTOWE POMIARY W SYSTEMIE MONITORINGU GEOREADER

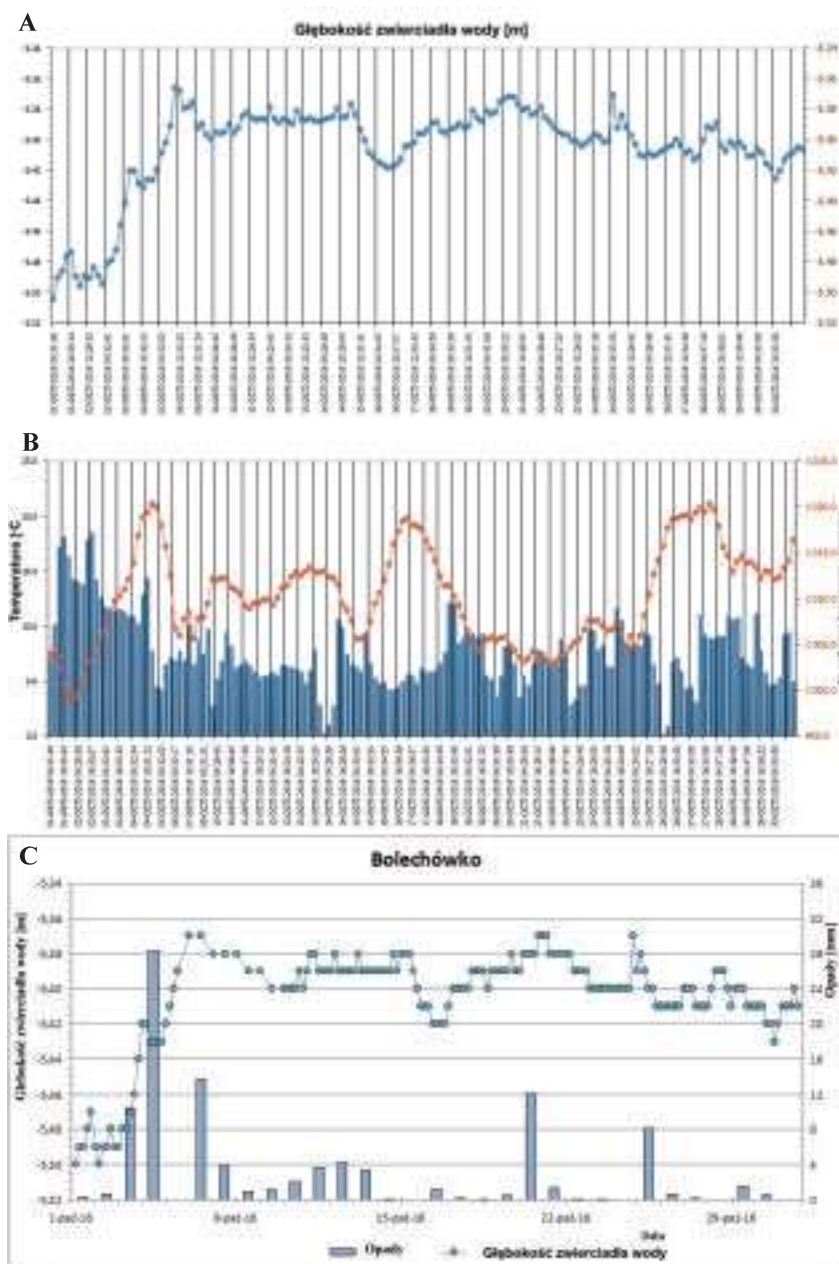
Rejestrator i jego oprzyrządowanie informatyczno-transmisyjne jest obecnie testowane w trakcie stacjonarnych obserwacji ciśnienia atmosferycznego, temperatury powietrza, temperatury i zwierciadła wody podziemnej w piezometrze zlokalizowanym w Bolechówku k/Poznań. Piezometr o głębokości 10 m, z rurą nadfiltrową PVC110 mm wyprowadzoną do powierzchni terenu, ujmuje warstwę wodonośną w postaci piasków wodnolodowcowych o zwierciadle swobodnym. Stanowisko pomiarowe

zainstalowano we wrześniu 2016 r. Na rysunku 6 przedstawiono miesięczne fragmenty wykresów: A – stanów zwierciadła wody podziemnej, B – temperatury powietrza i ciśnienia atmosferycznego, C – stanów zwierciadła wody podziemnej w korelacji z diagramem opadów atmosferycznych.

### POTENCJALNI UŻYTKOWNICY SYSTEMU GEOREADER

Poniżej określono możliwości zastosowania systemu GeoReader w badaniach hydrogeologicznych prowadzonych przez potencjalnych użytkowników tego systemu, którymi mogą być:

1. Uczelnie i ośrodki badawcze prowadzące prace naukowe i zajęcia dydaktyczne związane z monitoringiem środowiska,



**Rys. 6.** Piezometr w Bolechówku o zwierciadle swobodnym w piaskach akumulacji wodnolodowcowej – fragmenty wykresów obserwacji stacjonarnych z okresu jednego miesiąca: 1 października – 31 października 2016 r. A – zwierciadło wody podziemnej w metrach od kryzy, B – ciśnienie atmosferyczne w hPa i temperatura powietrza w °C, C – zwierciadło wody podziemnej w metrach zestawione z opadami w mm

**Fig. 6.** Piezometer in Bolechówko, unconfined aquifer in the sands of fluvioglacial accumulation – fragments charts observation stationary with one-month period from 1 of October to 31 October 2016. A – water table in meters below orifice, B – atmospheric pressure in hPa and the air temperature in °C, C – water table in meters below orifice summarized with precipitation in mm

2. Operatorzy ujęć wód podziemnych i oczyszczalni ścieków – przedsiębiorstwa wodociągów i kanalizacji w strefach ochronnych ujęć i w otoczeniu oczyszczalni dla monitorowania ich presji na wody podziemne,

3. Działy geologiczno-miernicze kopalń odkrywkowych w tym kopalnie odkrywkowe węgla brunatnego, a także małe kopalnie odkrywkowe kruszywa w zakresie ich oddziaływania na środowisko przyrodnicze, zwłaszcza w rozpoznaniu zasięgu leje depresji na terenach górniczych,

4. Zakłady przemysłowe i składowiska odpadów zobowiązane do prowadzenia monitoringu wód podziemnych,

5. Służby pomiarowo-kontrolne prowadzące pomiary na i w rejonie zbiorników retencyjnych wybudowanych w dolinach rzecznych pozostające w gestii Regionalnych Zarządów Gospodarki Wodnej i Wojewódzkich Zarządów Melioracji Wodnych,

6. Służby leśne w Parkach Narodowych i w Nadleśnictwach (programy małej retencji) oraz w obszarach Natura 2000,

7. Stacje badawcze Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego.

## PERSPEKTYWY ROZWOJOWE SYSTEMU GEO-READER

System GeoReader umożliwia projektowanie dowolnie skonfigurowanych systemów pomiarowych dostosowanych do różnych zadań naukowych, gospodarczych czy też ekologicznych.

Przykładem zastosowania systemu GeoReader może być monitoring obiegu wody w zlewni rzecznej. Czujniki temperatury i poziomu wody mogą być zainstalowane na przekrojach hydrometrycznych rzek, strumieni oraz w strefach źródłiskowych, co pozwoli na systematyczny monitoring wód powierzchniowych. Można też zainstalować takie czujniki w studniach i piezometrach dla prowadzenia monitoringu wód podziemnych. Czujniki wahań ciśnienia atmosferycznego pozwolą zarówno na rejestrację sytuacji barycznej w zlewni jak i na kompensację wahań ciśnienia atmosferycznego przy pomiarach stanów wód powierzchniowych i podziemnych. Licznik impulsów deszczomierza korytkowego oraz precyzyjny czujnik poziomu wody w ewaporometrze basenowym umożliwią ciągłe obserwacje wysokości opadu i parowania (Reference manual, Ultra-low-power STM32L0x1, 2016, Programming manual, STM32L0 Series, 2014). Czujniki temperatury i wilgotności powietrza, prędkości i kierunku wiatru, radiacji słonecznej w podczernieni, paśmie widzialnym oraz ultrafiolecie pozwolą na monitoring pozostałych parametrów meteorologicznych w monitorowanej zlewni.

Każdy z wymienionych czujników za pomocą łącza GSM może wysyłać dane do serwera z zaprogramowanym krokiem czasowym. Gromadzone dane mogą być udostępniane on-line poprzez Internet albo wszystkim zainteresowanym, albo tylko zalogowanym użytkownikom systemu.

Tak zaprojektowany system umożliwi sporządzenie bilansu wodnego zlewni hydrologicznej. System taki jest obecnie uruchamiany w zlewni Rózanego Strumienia na kampusie Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM w Poznaniu. Zlewnia Rózanego Strumienia, w granicach której jest położony m.in. sandr umultowski, już od kilkunastu lat jest przedmiotem badań przyrodniczych (Choiński i in., 1995; Przybyłek i in., 2011; Okońska, Pietrewicz, 2016).

## PODSUMOWANIE

Założeniem projektu realizowanego przez Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. A.

Mickiewicza jest stworzenie uniwersalnej, otwartej platformy umożliwiającej automatyczne zbieranie, przesyłanie oraz gromadzenie danych z pomiarów terenowych z zakresu monitoringu środowiska przyrodniczego. W celu integracji dodatkowych czujników oraz urządzeń pomiarowych wskazana jest szeroka współpraca jednostek badawczych zainteresowanych dalszym rozwojem tej otwartej platformy.

## BIBLIOGRAFIA

Literatura naukowa:

CHOIŃSKI A., GOGOŁEK A., KANIECKI A., MARCIŃIAK M., ZIĘTKOWIAK Z., 1995 – Charakterystyka zlewni Rózanego Potoku. [w:] *Konf. Nauk. pt. „Wody powierzchniowe Poznania. Problemy wodne obszarów miejskich”* – Poznań, Wyd. SORUS: 304-313

OKOŃSKA M., PIETREWICZ K. 2016 – Physical and chemical properties of surface waters in the Rózań Strumień catchment in the years 1988-2012. *Quaestiones Geographicae* (w druku, po recenzjach).

PRZYBYŁEK J., REMISZ W., THEUSS T., 2011 – Dzieściolecie (2002-2011) badań wód podziemnych sandru umultowskiego na terenie kampusu WNGiG UAM. [w:] *Biernacka J., Kijowska J. (red.) Varia. Prace z zakresu geografii i geologii*. Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań: 39-54

Literatura techniczna:

ASHDOWN L., KYTE T., 2015 – *Oracle Database Concepts*, 11g Release 2 (11.2), E40540-04, Oracle.

MOORE S., 2014 – *Oracle Database PL/SQL Language Reference*, 11g Release 2 (11.2), E25519-13, Oracle.

JENNINGS T., 2015 – *Oracle Application Express Administration Guide*, Release 5.0, E39151-06, Oracle, 2015.

Cinterion BGS5 Hardware Interface Description, 2014.

Cinterion BGS5 Java User's Guide, 2013.

Cinterion BGS5 AT Command Set, 2013.

Reference manual, 2016: *Ultra-low-power STM32L0x1 advanced ARM-based 32-bit MCUs*, RM0377, STMicroelectronics.

Programming manual, 2014: *STM32L0 Series Cortex-M0+ programming manual*, PM0223, STMicroelectronics.



## MIEJSKIE WODOCIĄGI I KANALIZACJA W BYDGOSZCZY - SP. Z O.O.

ul. Toruńska 103, 85-817 Bydgoszcz  
<http://www.mwik.bydgoszcz.pl/>

### Dział Głównego Geologa

ul. Koronowska 96

85-405 Bydgoszcz

[geolog@mwik.bydgoszcz.pl](mailto:geolog@mwik.bydgoszcz.pl)

Firma zajmuje się poborem, uzdatnianiem i dostarczaniem wody. Spółka powstała w 1991 r. na bazie Wojewódzkiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Bydgoszczy. W strukturze spółki w 2001 r. wydzielono **Dział Głównego Geologa z Pracownią hydrogeologiczną**, która zajmuje się projektowaniem, nadzorem nad eksploatacją i ochroną ujęć wód podziemnych oraz nowego ujęcia infiltracyjnego w Bydgoszczy. Działem od początku kieruje mgr Marzena Boroń (absolwentka UŚ w Katowicach). Dział projektuje eksploatację ujęcia infiltracyjnego w oparciu o system 40 sond hydrostatycznych z satelitarnym przesyłem danych w oparciu o tworzone w pracowni mapy hydroizohips i hydrogeoizoterm na potrzeby pompy ciepła. Pracownia dysponuje własną kamerą do inspekcji otworów wiertniczych do głębokości 100 m, przygotowuje również renowacje studni. Dział prowadzi nadzór nad ochroną ujęć wody podziemnej i powierzchniowej w MWiK oraz Chemwik (d. Zachem).

**Pracownia geologii inżynierskiej** utworzona w 2012 r. dysponuje własną wiertnicą typu H16P z zasięgiem ok. 20 m i małym laboratorium geologicznym. Prowadzi wiercenia i sondowania pod inwestycje sieciowe realizowane w MWiK.



**Geologia środowiskowa** – dział przeprowadził rekultywację terenu pól irygowanych i osadnika „Łoskoń” z przywróceniem jego pierwotnej funkcji jako starorzecza Wisły. Prowadzi monitoring terenów zanieczyszczonych przy współpracy akredytowanego Centralnego Laboratorium Badań Wody i Ścieków MWiK.

Oprócz w/w działalności MWiK w Bydgoszczy prowadzi jedyne w Europie **Muzeum Wodociągów**. W zabytkowej Hali Pomp na Lesie Gdańskim od 8 lat odbywa się festiwal Muzyki Kameralnej „**Muzyka u Źródeł**”. Za popularyzację kultury Spółka zyskała miano Mecenasa Kultury.