

ZASTOSOWANIE AUTOMATYCZNYCH REJESTRATORÓW POZIOMU WÓD PODZIEMNYCH W BADANIACH HYDROGEOLOGICZNYCH

APPLICATION OF AUTOMATIC GROUNDWATER LEVEL RECORDERS IN HYDROGEOLOGICAL RESEARCH

Grzegorz Firlit - „Poltegr-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

W artykule przedstawiono przykłady zastosowania automatycznych rejestratorów poziomu wody w badaniach hydrogeologicznych. Wahania wód podziemnych wywołane czynnikami antropogenicznymi, takimi jak m. in. eksploatacja kopalni i wód podziemnych, piętrzenie wód powierzchniowych, mogą charakteryzować się częstą amplitudą zmian. Wykazano, że właściwy dobór częstotliwości pomiaru położenia zwierciadła wody podziemnej jest niezmiernie ważny w interpretacji obserwowanego zjawiska i jakości otrzymanych wyników. Automatyczne rejestratory umożliwiają ciągły pomiar położenia zwierciadła wód podziemnych, dzięki czemu są niezastąpionym narzędziem w badaniach monitoringowych.

Słowa kluczowe: automatyczne rejestratory poziomu wody, monitoring wód podziemnych, badania hydrogeologiczne

The article presents examples of the use of automatic water level recorders in hydrogeological research. Fluctuations in groundwater caused by anthropogenic factors, such as exploitation of minerals and groundwater, damming of surface waters may be characterized by a frequent amplitude of changes. It has been shown that the correct selection of the frequency of measuring the level of the groundwater table is extremely important in the interpretation of the observed phenomenon and the quality of the obtained results. Automatic recorders enable continuous measurement of the groundwater table position, making them an indispensable tool in monitoring research.

Keywords: automatic water level recorders, ground water monitoring, hydrogeological research

Wstęp

Wody podziemne są elementem środowiska naturalnego, które ulegają ciągłym zmianom ilościowym. Mogą one być wywołane czynnikami naturalnymi, takimi jak wahania sezonowe, zależne od wielkości zasilania oraz czynnikami sztucznymi – m. in. odwodnieniami górniczymi, eksploatacją ujęć wód podziemnych lub piętrzeniem wód powierzchniowych. Obserwacje i badania środowiska wodnego są prowadzone zarówno w warunkach naturalnych, na przykład w trakcie rozpoznawania i dokumentowania złoża jak i w etapach późniejszych związanych z jego udostępnianiem i eksploatacją, a następnie rekultywacją wyrobisk poeksploatacyjnych. Rozpoznanie warunków naturalnych oraz zmian zachodzących pod wpływem odwadniania umożliwia wiarygodną ocenę wpływu odwadniania na: ciekły powierzchniowe oraz naturalne i sztuczne zbiorniki wodne, zasoby wód podziemnych, funkcjonowanie ujęć wód podziemnych, gleby, szatę roślinną, użytki rolne i lasy, chemizm wód powierzchniowych i podziemnych oraz osiadanie terenu. Zagadnieniem monitoringu wód podziemnych zajmowało się wielu autorów. Można tutaj wymienić m. in.: Kazimierski B., Piechowska-Kazimierska E.[4]; Kazimierski B., Małecka D., Różkowski A. [3]; Błaszyk T., Hordejuk T., Górski J., Płochniewski Z. [1]; Krogulec E., Mikołajków J., Józwiak K., [5].

Niezmiernie istotne są dane o parametrach hydraulicznych warstw wodonośnych określane z próbnych pompowań w studniach i hydrowęzłach. Pozwalają one umożliwić ocenę parametrów hydraulicznych warstw wodonośnych oraz utworów półprzepuszczalnych. Badania wykonywane w rejonach cieków i zbiorników wodnych umożliwiają ocenę wodoprzewodności koryt rzecznych oraz osadów jeziornych. W monitoringu wód podziemnych bardzo istotne jest właściwe dopasowanie częstotliwości pomiarów do obserwowanego zjawiska, co umożliwi właściwą ocenę zachodzących zmian w środowisku. Pod tym względem bardzo pomocnym narzędziem są automatyczne rejestratory poziomu wód podziemnych.

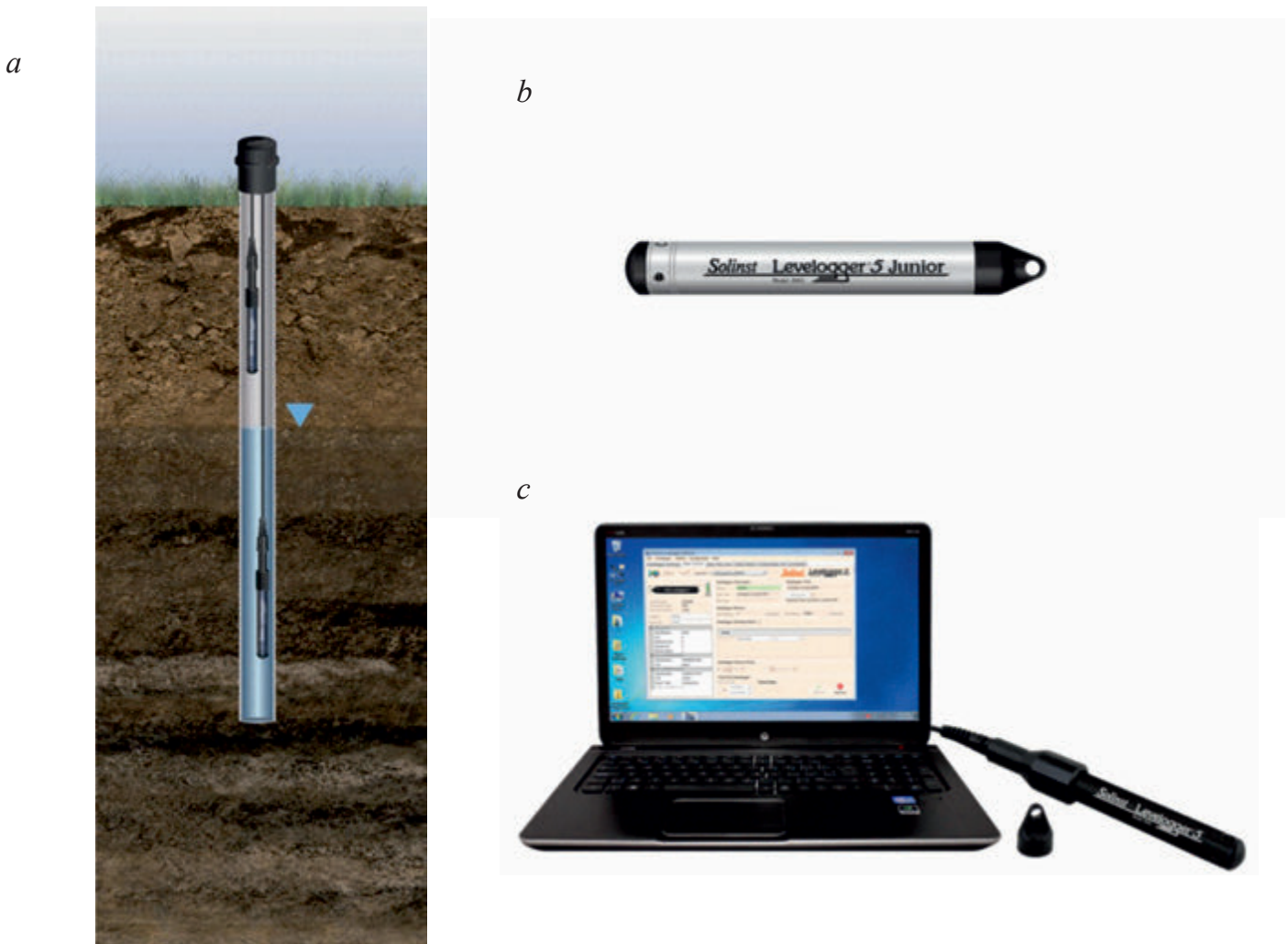
Wykorzystanie automatycznych rejestratorów poziomu wód podziemnych w warunkach zmian poziomu wód o dużej częstotliwości

W ramach badań hydrogeologicznych prowadzonych w „Poltegr-Instytut” do pomiarów zmian położenia zwierciadła wód podziemnych wykorzystano mierniki typu Levelogger Junior Edge firmy Solinst (Rys. 1), umożliwiające automatyczny pomiar wahań zwierciadła wody. Są to rejestratory absolutne, mierzące całkowite ciśnienie wywierane na sensor (ciśnienie słupa wody oraz ciśnienie atmosferyczne). Dokładne wyniki

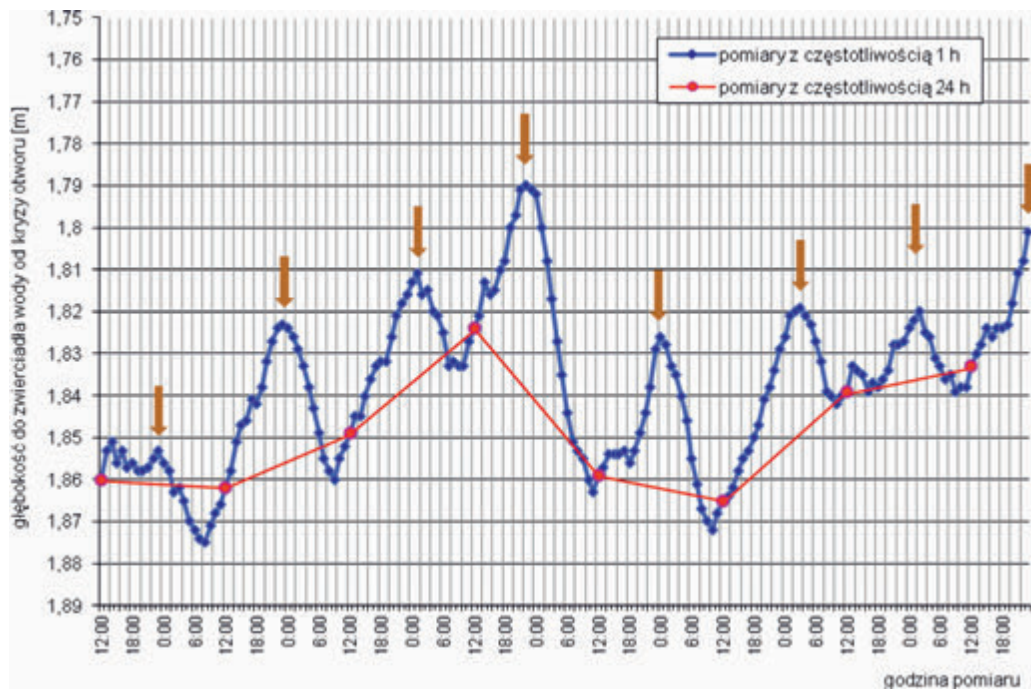
uzyskuje się po zainstalowaniu Barologgera – rejestratora powierzchniowego, mierzącego ciśnienie atmosferyczne. Służy on do kompensacji odczytów z rejestratorów zanurzeniowych o ciśnienie atmosferyczne. Taki zestaw pozwala na wykonywanie pomiarów z dokładnością do 0,01-0,02 % dla pełnej skali pomiarowej oraz zapis z częstotliwością od 0,5 sek. do 99 h. Rejestrator posiada pamięć umożliwiającą zapis 40 000 odczytów. Dodatkowo jest wyposażony w sensor temperatury Platinium RTD, który umożliwia pomiar z dokładnością $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Rejestracja temperatury odbywa się z taką samą częstotliwością jak pomiar poziomu wody. Programowanie i odczyt danych z rejestratorów odbywa się za pomocą optycznej stacji dokującej do komputera PC (Field Reader 5). Oprogramowanie Levelogger umożliwia przegląd danych zapisanych w rejestratorze w postaci tabeli oraz wykresu, eksport danych do innych formatów oraz programowanie rejestratora.

Automatyczne mierniki poziomu wód podziemnych zastosowane zostały w ramach pomiarów wykonanych w rejonie dolnego zbiornika elektrowni szczytowo-pompowej. Piezometr, w którym prowadzono pomiary znajduje się ok. 300 m od brzegu zbiornika, ujmując pierwszą warstwę wodonośną, zbudowaną z piasków średnio- i gruboziarnistych z domieszką pospółki i żwiru. W piezometrze zainstalowano

na 191 godzin automatyczny miernik poziomu wody, który został zaprogramowany na pomiar i zapis z częstotliwością co 1 h. Na wykresie uzyskanym na podstawie zebranych wyników (Rys. 2) można zaobserwować wyraźne maksima stanu wód podziemnych, które powtarzają się regularnie co 24 ± 2 godziny. Wskazuje to jednoznacznie na wpływ stanu wód powierzchniowych dolnego zbiornika elektrowni szczytowo-pompowej na wody podziemne jego najbliższej okolicy. Wahania te są ściśle związane z rytmem pracy elektrowni szczytowo-pompowej, napełnianiem i opróżnianiem dolnego zbiornika elektrowni. W przypadku prowadzenia pomiarów z częstotliwością co 24 h i wykonywanych w południe, kształt wykresu przedstawiającego poziom zwierciadła wód podziemnych (Rys. 2) nie pozwoliłby na obserwację 24-godzinnych cykli zmian poziomu wód podziemnych. W takim przypadku można jedynie zaobserwować co najwyżej 2 maksima, które nie korelują się z pracą elektrowni szczytowo-pompowej. Również amplituda wahań zwierciadła wód podziemnych różni się znacznie dla pomiarów wykonywanych z częstotliwością co 1 h i 24 h. Dla pomiarów co 1 h wynosi 0,083 m, a dla pomiarów co 24 h wynosi 0,041 m i jest dwukrotnie mniejsza. Przykład ten ilustruje możliwość interpretacji otrzymanych wyników na podstawie właściwie dobranej częstotliwości pomiarów.



Rys. 1. A – schemat instalacji leveloggera i barologgera w otworze hydrogeologicznym, B – levelogger 5 Junior firmy Solinst, C – okno oprogramowania do współpracy rejestratorów z komputerem oraz podłączony rejestrator za pomocą optycznej stacji dokującej (źródło: aquaterra.pl)
 Fig. 1. A – installation scheme of the levelogger and barologger in the hydrogeological borehole, B – levelogger 5 Junior by Solinst, C – software window for the connecting the recorders to a computer and a connected recorder using the optical docking station (source: aquaterra.pl)



Rys. 2. Wykres wahania zwierciadła wód podziemnych w rejonie dolnego zbiornika elektrowni szczytowo-pompowej dla pomiarów wykonywanych z częstotliwością co 1 h i 24 h

Fig. 2. Diagram of the groundwater table fluctuation in the area of the lower reservoir of the pumped storage power plant for measurements performed with the frequency of 1 h and 24 h

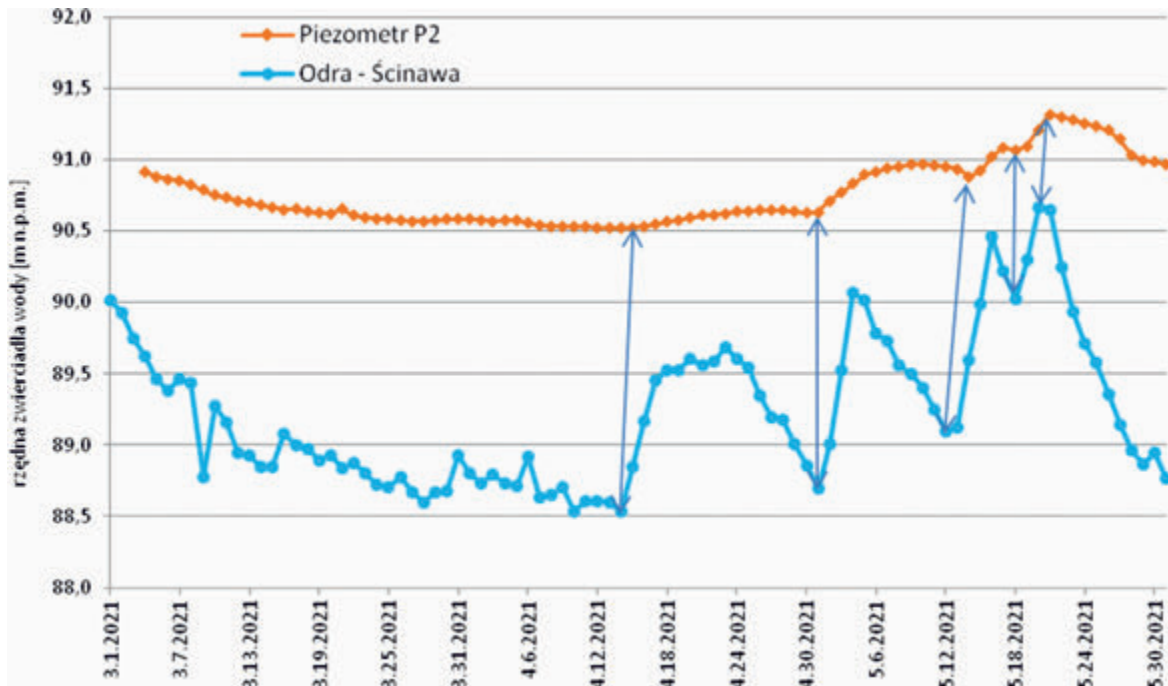
Kolejny przykład zastosowania automatycznych mierników poziomu wód podziemnych pochodzi z obserwacji współdziałania wód powierzchniowych z podziemnymi w systemie doliny dużej rzeki. W tym przypadku mierniki zainstalowano w piezometrach zlokalizowanych w dolinie Odry w górę rzeki od Ścinawy. Jako reprezentatywny punkt wybrano piezometr P2 zlokalizowany 600 m od koryta rzeki. Na wykresie (Rys. 3) zaprezentowano poziom wody w Odrze na wodowskaziu IMGW w Ścinawie oraz wahania wód podziemnych w piezometrze P2 w okresie marca 2021 r. W drugiej połowie miesiąca zanotowano przejście fali wezbraniowej na Odrze, a poziom alarmowy na wodowskaziu w Ścinawie przekroczony był przez 5 dni. Levelogger zainstalowany w piezometrze P2 zaprogramowano na wykonywanie pomiaru z częstotliwością raz na dobę. Pomiar wykonywane w takim cyklu pozwoliły na korelację stanów charakterystycznych poziomu wód powierzchniowych i podziemnych. Umożliwiło to określenie czasu reakcji wód podziemnych na zasilanie ze strony wód powierzchniowych, wynoszącej w tym przypadku 1-2 doby. Dane te mogą zostać wykorzystane do określenia właściwej wysokości piętrzenia wód przez stopnie wodne dla spełnienia wymogów środowiskowych w dolinie rzecznej, jako ekosystemu zależnego od wysokiego poziomu wód podziemnych. Obserwacje prowadzone z mniejszą częstotliwością pomiarów nie pozwolą na korelację poziomu wód powierzchniowych i podziemnych w przypadku przechodzenia krótkotrwałego wezbrania. Pomiar przeprowadzane z częstotliwością raz na dobę wymuszałyby zatrudnienie obserwatora, co w przypadku sieci obserwacyjnej składającej się z kilkunastu lub kilkudziesięciu punktów staje się bardziej kosztowne, niż instalacja mierników automatycznych.

Zagadnieniem wykorzystania danych z monitoringu wód podziemnych do oceny wpływu budowli piętrzących takich jak elektrownie wodne zajmowali się m.in. Worsa-Kozak M., Kotowski A. [7]. Nowoczesne rozwiązania w postaci automa-

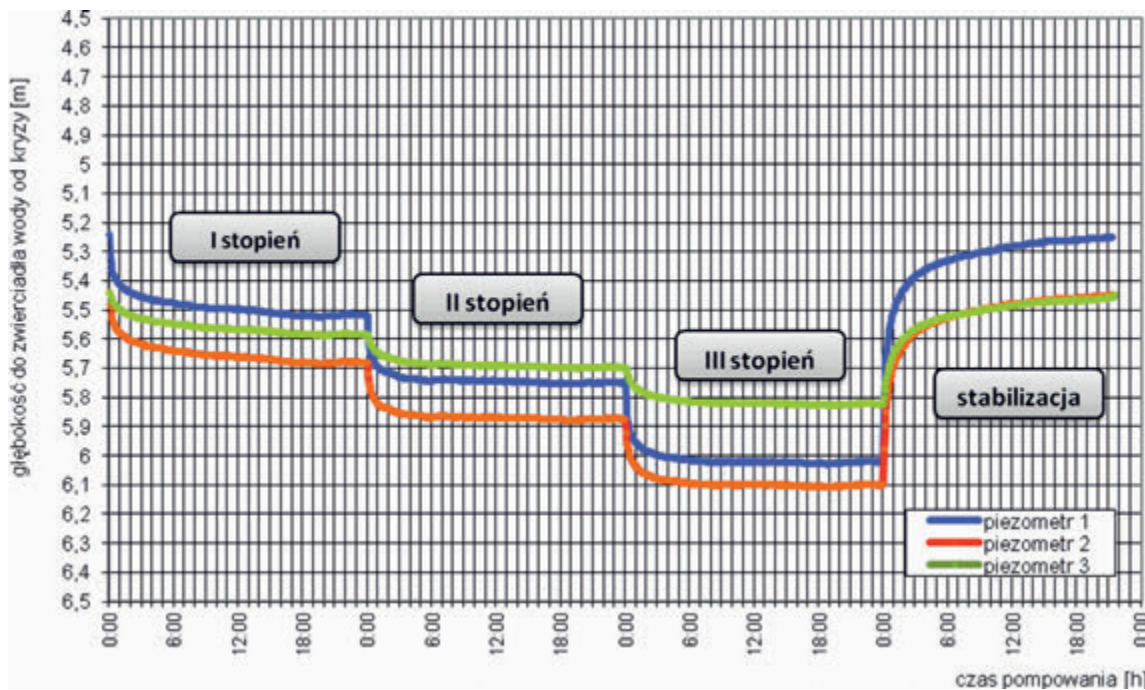
tycznych rejestratorów poziomu wód podziemnych ułatwiają właściwą interpretację otrzymanych danych z monitoringu.

Automatyczne rejestratory poziomu wód podziemnych są z dużym powodzeniem wykorzystywane do monitoringu zmian położenia zwierciadła wody w trakcie pompowania pomiarowego otworów hydrogeologicznych, w szczególności w układzie hydrowęzłowym, kiedy istnieje konieczność obserwacji od kilku do kilkunastu lub więcej piezometrów jednocześnie. Najbardziej newralgicznym etapem jest początkowa faza pompowania pomiarowego, kiedy pomiary zwierciadła wody wykonywane są z dużą częstotliwością, tj. co 1 min od rozpoczęcia pompowania do 15 minuty, co 2 minuty do 30 minuty pompowania, co 5 minut do 2 godzin pompowania (Dąbrowski S., Przybytek J. [2]). Dokładny wykres opadania zwierciadła wody podczas pompowania pomiarowego oraz jego powrót do stanu ustabilizowanego umożliwia przeprowadzenie właściwej interpretacji wyników eksperymentu hydrogeologicznego i dokładne wyznaczenie takich parametrów warstwy wodonośnej jak wodoprzewodność (T), współczynnik filtracji (k), czy odsączalność (μ). Automatyczne rejestratory z powodzeniem mogą być instalowane w piezometrach obserwacyjnych hydrowęzła oraz w studni pompowej, po zakończeniu pompowania, w czasie wypełniania się powstałego lejka depresji. Praca pompy zaburza odczyt rejestratora ciśnieniowego, co uniemożliwia instalację loggera w otworze pompowanym.

Rysunek 4 prezentuje wyniki pomiarów zwierciadła wód podziemnych w trzech piezometrach obserwacyjnych hydrowęzła podczas pompowania pomiarowego. Rejestratory zostały zaprogramowane na pomiar i zapis z częstotliwością co 5 minut, co pozwoliło na otrzymanie dokładnych wykresów wahań zwierciadła wód podziemnych w trakcie pompowania pomiarowego z trzema stopniami wydajności oraz podczas stabilizacji zwierciadła wód podziemnych. Dane otrzymane z taką dokładnością pozwalają na wykreślenie krzywej pom-



Rys. 3. Stany wód powierzchniowych na wodowskaziu IMGW w Ścinawie i wód podziemnych w piezometrze P2 w marcu 2021 r.
 Fig. 3. The level of Surface water on the IMGW water gauge in Ścinawa and groundwater level in the P2 piezometer in March 2021.



Rys. 4. Wykres zwierciadła wód podziemnych w trzech piezometrach obserwacyjnych w trakcie pompowania pomiarowego hydrowęzła
 Rys. 4. The plot of the groundwater table in three observation piezometers during the measurement pumping in the hydrotechnical system

powodzenia (funkcja $s = f(\lg r)$) oraz na jej podstawie wyznaczenie współczynnika kierunkowego c :

Dla pełnego cyklu logarytmicznego, a więc dla $\Delta \lg r = 1$,

$$c = \operatorname{tg} \alpha \frac{\Delta s}{\Delta \lg r}$$

mamy $c = \Delta s$. Znając wielkość współczynnika c , można obliczyć przewodność wg wzoru:

Z wykresu $s = f(\lg r)$ można również wyznaczyć zasięg lejka

$$T = \frac{0,366Q}{c} \quad T = \frac{0,366Q}{c}$$

depresyjnego (Dąbrowski S., Przybyłek J. [2]). Automatyczne rejestratory umożliwiają opracowanie krzywych pompowania z dużą precyzją, co z kolei wpływa na dokładność obliczeń parametrów warstwy wodonośnej lub studni.

Podsumowanie

Powyższe przykłady ilustrują tylko kilka wybranych zastosowań automatycznych rejestratorów zwierciadła wód podziemnych wykorzystanych podczas badań hydrogeologicznych przez pracowników „Poltegor-Instytut”. Urządzenia te są szczególnie przydatne w przypadku konieczności wykonywania pomiarów z dużą częstotliwością lub jednoczesnego

pomiaru w wielu punktach w tym samym czasie. Z powodzeniem można je stosować w obserwacji zmian zwierciadła wód podziemnych wywołanych czynnikami antropogenicznymi, takimi jak odwodnienia górnicze, intensywna eksploatacja wód podziemnych, piętrzenie wód powierzchniowych i retencja. Zmiany w środowisku wód podziemnych wywołane opisanymi czynnikami często zachodzą gwałtownie, dużo szybciej, niż naturalne zmiany sezonowe, a pomiary wykonywane manualnie

nie zawsze pozwolą właściwie rozpoznać skalę obserwowanego zjawiska. Wykazano, że bardzo istotny jest dobór właściwej częstotliwości wykonywania pomiarów do zjawiska jakie się obserwuje. Pomiary wykonywane zbyt rzadko mogą w dużym stopniu zaburzać wyniki obserwacji i wpłynąć na ich niewłaściwą interpretację.

Literatura

- [1] Błaszyk T., Hordejuk T., Górski J., Płochniewski Z., 1991 – *Koncepcja monitoringu wód podziemnych*. *Przegląd Geologiczny* nr 1, 1991
- [2] Dąbrowski S., Przybyłek J., 2005 – *Metodyka próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych*. *Poradnik metodyczny*, Ministerstwo Środowiska, Warszawa
- [3] Kazimierski B., Małecka D., Różkowski A., 1999 – *Cel, metody i wyniki monitoringu wód podziemnych w Polsce*. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, nr 388 *Hydrogeologia*, s. 79-114
- [4] Kazimierski B., Piechowska-Kazimierska E., 2006 – *Monitoring i ocena stanu wód podziemnych – Monitoring Środowiska Przyrodniczego* nr 7, s. 9-19, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce
- [5] Krogulec E., Mikołajków J., Józwiak K., 2005 – *Badania monitoringowe wód podziemnych obszarów chronionych o różnym poziomie antropopresji*. *Przegląd Geologiczny*, vol. 53, No 6 (2005)
- [6] Worsa-Kozak M., Kotowski A., 2009 – *Przykład wykorzystania danych z monitoringu wód podziemnych do oceny wpływu elektrowni wodnych na środowisko*. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, Vol. 436, No 436-2 (2009)

