

Bezpompowa, dyskretna technika opróbowania hydrogeologicznego głębokich piezometrów, otworów wiertniczych i studni: ewaluacja terenowa i rekomendacje

No-purge, discreet technique of hydrogeological sampling of deep piezometers, boreholes and wells: field experience and evaluation

Adam Porowski¹, Michał Oleksiewicz², Roman Becker³, Tomasz Kaczorek⁴, Radosław Miller⁴, Albert Włoch⁵

Streszczenie: W praktyce opróbowania hydrogeologicznego jednym z najbardziej wymagających, najtrudniejszych i najbardziej kosztownych jest opróbowanie otworów udostępniających głęboko położone poziomy wodonośne, gdy ustabilizowane zwierciadło wód podziemnych zalega na głębokościach rzędu kilkuset metrów poniżej powierzchni terenu. W ramach prac wykonywanych na rzecz KGHM PM S.A. do opróbowania hydrogeologicznego głębokich piezometrów zastosowano alternatywną technologię - mało znaną w Polsce bezpompową technikę dyskretnego próbnika HydraSleeve®. W niniejszej pracy, na przykładzie dwóch głębokich piezometrów (573 m i 438 m) omówiono szczegółowo technikę poboru prób wody z zastosowaniem próbnika HydraSleeve®, pokazano główne zalety i wady takiej metody, zamieszczono przydatne rekomendacje techniczne dla potencjalnych użytkowników. Generalnie technika próbnika HydraSleeve® ma potencjał do szerokiego stosowania w opróbowaniu hydrogeologicznym. Może być ona z powodzeniem wykorzystywana do poboru reprezentatywnych prób wody do wszelkich analiz chemicznych i izotopowych gdyż próbnik jest zbudowany z pasywnego dla środowiska wodnego materiału, nie następuje natlenienie wody w procesie poboru próby, i nie powodujemy turbulencji ani nadmiernego mieszania się wody w kolumnie rur eksploatacyjnych.

Abstract: One of the most challenging, difficult and expensive issue in hydrogeological sampling is a collection of high quality representative samples of groundwater from deep piezometers and wells when groundwater table is located several hundred meters below the ground surface. In this study we present the application of little-known in Poland alternative technique of HydraSleeve® sampler which can be successfully used for such purpose, however under specific conditions and technical improvements. Based on the two exemplary deep piezometers (573 m and 438 m) belonging to KGHM PM S.A. the sampling technique were described, major advantages and disadvantages were discussed, and some useful recommendations were formulated. Generally, the HydraSleeve® can be used to collect representative samples for all chemical parameters and isotopic compositions due to its construction with inert materials, lack of aeration (no oxidation of sensitive chemical compounds such as trace metals) and avoiding the turbulence or excessive mixing of water in sampled water column.

Słowa kluczowe: głębokie piezometry, reprezentatywna próba, dyskretna opróbowanie hydrogeologiczne, technika bezpompowa, próbnik HydraSleeve®.

Key words: deep piezometer, representative sample, discreet hydrogeological sampling, non-purged technique, groundwater, HydraSleeve sampler.

WSTĘP

W hydrogeologii proces pozyskiwania danych dotyczących wód podziemnych można podzielić na trzy etapy: etap I – pobór reprezentatywnych prób wody, etap II – analiza laboratoryjna, etap III – interpretacja wyników oznaczeń analitycznych.

Najważniejszym celem wszelkich hydrogeologicznych projektów badawczych, programów monitoringowych czy innych kampanii terenowych ukierunkowanych na opróbowanie wód podziemnych, jest pobór prób, które reprezentują wodę podziemną w jej warunkach in situ (i.e. w warstwie

¹ – Instytut Nauk Geologicznych PAN, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa; adamp@twarda.pan.pl

² – Aquaterra.pl, ul. Cytrynowa 15, 60-185 Skórzewo k./ Poznań; info@aquaterra.pl

³ – Departament Gospodarki Zasobami i Ochrony Powierzchni KGHM PM S.A., ul. Marii Skłodowskiej-Curie 48, 59-301 Lubin; roman.becker@kgm.com

⁴ – Zakłady Górnicze Lubin, Dział Geologiczny, KGHM PM S.A., ul. Marii Skłodowskiej-Curie 188, 59-300 Lubin; tomasz.kaczorek@kgm.com, radoslaw.miller@kgm.com

⁵ – Zakład Górniczy Polkowice-Sierszowice, Dział Geologiczny, KGHM PM S.A., 59-101 Kaźmierzów; albert.wloch@kgm.com

wodonośnej) – czyli pobór reprezentatywnych prób wody. Z definicji, reprezentatywna próba wody podziemnej powinna odzwierciedlać właściwości chemiczne i fizyczne wody w części warstwy wodonośnej udostępnionej danym ujęciem. O ile główny cel opróbowania hydrogeologicznego pozostaje w większości przypadków niezmienny (i.e. pozyskanie reprezentatywnej próby wody), to robocza definicja „reprezentatywności” próby wody może oznaczać coś innego w zależności od celów w jakich dokonujemy opróbowania. Dla przykładu: inaczej będziemy definiować reprezentatywną próbę wody gdy chcemy monitorować jakość wody podziemnej uzyskiwanej z danego ujęcia w danym użytkowym poziomie wodonośnym, a zupełnie inaczej – jeśli chcemy badać rozkład (migrację) zanieczyszczeń. W pierwszym przypadku, reprezentatywna próba będzie wodą podziemną pozyskaną po jakimś okresie pompowania studni tak by odzwierciedlała typową, uśrednioną, wodę z danej warstwy wodonośnej. W drugim zaś przypadku, reprezentatywność będzie dotyczyła raczej pozyskania prób typu „najgorszy przypadek” (tzw. worst-case) – czyli takich, o największych stężeniach badanego zanieczyszczenia w ujęciu: pobieramy więc próbę wody dyskretną metodą, bez pompowania studni, co w tym wypadku doprowadziłoby tylko do rozcieńczenia badanego zanieczyszczenia.

W rzeczywistości, z technicznego punktu widzenia, pobór reprezentatywnych prób wody podziemnej może być bardzo trudny. Głównie sprowadza się do tego, aby nie doprowadzić do zaburzenia właściwości chemicznych i fizycznych pobieranej wody w stosunku do tych jakie posiada ona w warstwie wodonośnej. Tak więc musimy zadbąć o dwa najważniejsze aspekty: (1) unikać zaburzenia warunków geochemicznych istniejących w warstwie wodonośnej na danej głębokości opróbowania, i (2) zabezpieczyć odpowiednie warunki transportu prób wody do laboratorium. W praktyce różnych technik opróbowania, zwykle nie da się uniknąć pewnych zaburzeń*(np. związanych już z samym udostępnieniem warstwy wodonośnej) dlatego należy dołożyć wszelkich starań, aby utrzymać je na poziomie jak najniższym.

O ile w obszarze analityki laboratoryjnej na przestrzeni ostatnich dekad w parze z dynamicznym rozwojem technologicznym idą duże nakłady na ujednoczenie procedur analitycznych, to w obszarze technik, i procedur poboru prób wód podziemnych panuje spory chaos i brak wyraźnych

trendów ujednoczenia i ewaluacji funkcjonujących metod (np. Puls and Powell, 1992; Nielsen D. and Nielsen G., 2007). To prowadzi do „produkowania” dużej ilości danych analitycznych, których jakość jest niska, głównie z powodu niewłaściwej procedury poboru próby wody. Tak więc jakość danych hydrogeochemicznych ma bezpośredni związek z reprezentatywnością pobieranych prób wody i wpływa ostatecznie na jakość, i wiarygodność interpretacji wyników badań.

Należy pamiętać, że dane terenowe i analityczne pozyskiwane podczas badań i opróbowania hydrogeologicznych są bardzo ważne: często stanowią podstawę dla dalekosiężnych i kosztownych decyzji inwestycyjnych czy przedsięwzięć komercyjnych, co sprawia, że dane te muszą być zawsze najwyższej możliwej jakości.

Niniejsza praca bezpośrednio opisuje nową technikę, która w tym przypadku dotyczy poboru reprezentatywnych prób wody podziemnej z głębokich poziomów wodonośnych udostępnionych za pomocą otworów hydrogeologicznych i piezometrów.

W roku 2014 Instytut Nauk Geologicznych PAN (ING PAN) wspólnie z firmą AquaTerra.pl, wykonał pilotażowe opróbowanie kilkunastu wybranych głębokich piezometrów na obszarze Monokliny Przedsudeckiej, w obszarach górniczych kopalń KGHM PM S.A. Badania zostały wykonane na zlecenie KGHM PM S.A. Po raz pierwszy w Polsce do tego celu została wykorzystana bezpompowa (bez wcześniejszego oczyszczenia otworu) technika dyskretnego (pobór z określonej głębokości) próbnika rękawowego HydraSleeve®.

Na przykładzie dwóch piezometrów o głębokości całkowitej 580 m i 438,5 m zaprezentowano szczegółowo metodykę poboru prób wody oraz przedyskutowano jakość uzyskanych danych hydrochemicznych w świetle reprezentatywności prób wody.

METODA DYSKRETNEGO PRÓBNIKA RĘKAWOWEGO HYDRASLEEVE®

Piezometry lub inne obserwacyjne otwory udostępniające głęboko położone poziomy wodonośne stanowią najtrudniejsze punkty do opróbowania hydrogeologicznego, szczególnie wtedy gdy ustabilizowane zwierciadło wód podziemnych zalega na dużych głębokościach, np. rzędu 350–500 m. W takich przypadkach, biorąc pod uwagę niestandardowe głębokości zalegania poziomu wód podziem-

nych oraz konstrukcję otworów, w szczególności ich średnicę, nie ma wielu możliwości na sensowne pod względem kosztów pobranie reprezentatywnych prób wody do badań chemicznych i izotopowych. Zastosowanie standardowych metod polegających na spompowaniu piezometru wiąże się z bardzo dużymi kosztami (np. zaangażowanie specjalistycznego sprzętu w terenie o ograniczonej dostępności, dostęp do pomp głębinowych o niestandardowej średnicy, zapewnienie źródła prądu), czasochłonnością, i zapewnieniem warunków do zgodnego z prawem zrzutu wypompowanych objętości wody, która często może mieć charakter ścieku, np. pod względem mineralizacji czy przekroczenia dopuszczalnych stężeń szkodliwych dla środowiska pierwiastków.

W celu opróbowania hydrogeologicznego kilkunastu głębokich piezometrów na zlecenie KGHM PM S.A., ING PAN wspólnie z firmą AquaTerra.pl zaproponowali zastosowanie bardzo mało znanej w Polsce, metody dyskretnego próbnika rękawowego HydraSleeve®. Metoda ta jest tania, nie wymaga angażowania specjalistycznego ciężkiego sprzętu, i nie wymaga spompowania otworu obserwacyjnego przed opróbowaniem. Jednocześnie, po raz pierwszy w Polsce zastosowano taką metodę do opróbowania tak głębokich piezometrów, co wymagało wprowadzenia dodatkowych, autorskich modyfikacji techniki poboru ze strony wykonawców.

HydraSleeve® jest jednorazowym, polietylenowym (PE – dzięki temu jest pasywny w stosunku do środowiska wodnego), miękkim próbnikiem służącym do dyskretnego poboru wody ze studni i wszelkich otworów wiertniczych. Produkt jest chroniony patentami amerykańskimi U.S. Patent No. 6,481,300 oraz U.S. Patent No 6,837,120.

Zastosowanie próbnika HydraSleeve® umożliwia pobór próby wody z otworu z minimalnym kontaktem wody z atmosferą (tylko w chwili nalewania do butelki), z określonej głębokości (i.e. pobór wody przypomina „rdzenio-
wanie” słupa wody na danej głębokości), bez uprzedniego spompowywania otworu – a więc dyskretnie, bez zaburzeń słupa wody w kolumnie otworu i bez dodatkowego zaburzania warunków hydrodynamicznych wokół otworu.

W literaturze anglojęzycznej jest sporo publikacji naukowych i naukowo-technicznych potwierdzających zarówno zasadność stosowania takiej technologii w różnych programach monitoringowych jak i potwierdzających wysoką jakość pobieranych prób wody, które nie odbiegają od

jakości prób wody pobieranej z zastosowaniem uprzedniego spompowania otworu, np.: Robin and Gillham, 1987, Nielsen D. and Nielsen G., 2007; GeoLogic Associates, 2009; NDCEE, 2010a, 2010b; Jackens, 2010; Savoie and LeBlanc, 2012.

Ważnym założeniem prawidłowego poboru wody jest umiejscowienie próbnika na poziomie zafiltrowania otworu, gdzie powinien występować przepływ poziomy wody. Piezometry znajdują się w rejonie leja depresji zespołu kopalni KGHM PM S.A.

HydraSleeve® składa się z trzech części: jednorazowego, długiego rękawa, ciężarka oraz wieszaka (rys. 1, 2). Dolna część jest szczelnie, termicznie zaklejona i posiada uchwyt do przyłączenia ciężarka. Górna część zawiera jednokierunkowy, opatentowany zawór zwrotny i uchwyt do przyłączenia linki. Zasada działania próbnika HydraSleeve® i technika poboru prób wody z otworu przedstawiona jest schematycznie na rysunku 2.



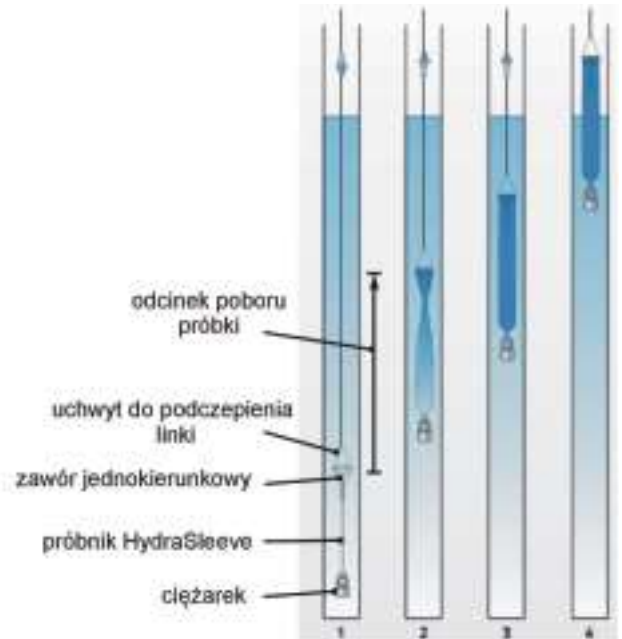
Rys. 1. Wygląd próbników HydraSleeve® o różnej pojemności dostępnych komercyjnie. Tutaj próbniki o pojemności 600 ml i 1000 ml. Dane firmy AquaTerra.pl za zgodą firmy GeoInsight.

Fig. 1. Commercially available HydraSleeve® samplers. Here samplers of 600 ml and 1000 ml. Data after AquaTerra.pl with the consent of GeoInsight.

Pierwszym krokiem jest właściwe zapuszczenie próbnika do otworu: próbnik obciążony odpowiednim ciężarkiem opuszcza się na wyskalowanej, nierozciągliwej kewlarowej linie tak, aby górna część próbnika znajdowała się w najniższym punkcie pożądanej głębokości poboru wody (rys. 3). Ciśnienie hydrostatyczne wody naciskając na ścianki boczne próbnika, powoduje że jest on pozbawiony powietrza i wody. Po zapuszczeniu próbnika na pożądaną głębokość (np. zafiltrowania) zwykle zostawia się próbnik w otworze na czas od 24 h do około 7 dni w celu zapewnienia ustabilizowania warunków w kolumnie otworu na głębokości poboru wody. Zasadą jest, że dyskretnym próbnikiem rękawowym HydraSleeve® pobierać należy wodę ze strefy zafiltrowania lub strefy perforacji, a opróbowywany otwór powinien być czynny, niezakolmatowany,

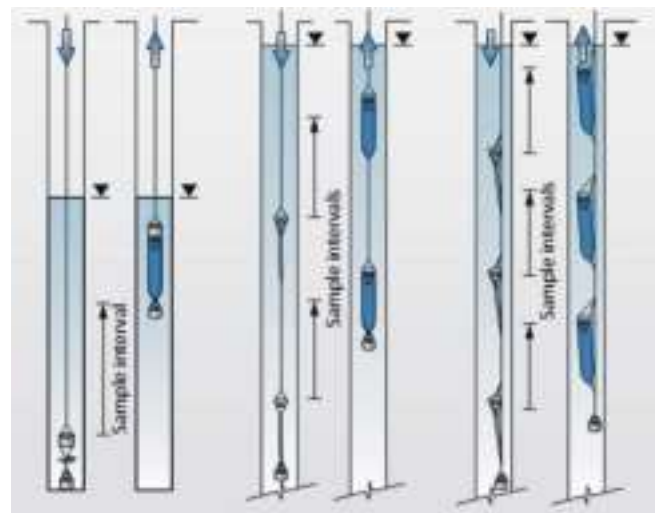
w którym istnieje naturalny przepływ wody podziemnej. Napełnienie próbnika i pobór próby wody następuje przez dynamiczne pociągnięcie za linkę do góry (rys. 3). Następuje wtedy otwarcie górnego zaworu wlotowego i wypełnienie próbnika wodą. Specyfikacja techniczna podaje, że zawór górny otwiera się przy dynamicznym pociągnięciu linki do góry z prędkością już około 1fps (foot per second czyli około 30 cm/s). W celu całkowitego napełnienia próbnika należy przeciągnąć w kolumnie wody dystans równy od 1 do 1,5 długości próbnika. Wyskalowana, nierozciągliwa linka z kewlaru umożliwia czerpanie wody ze stosunkowo dokładnie określonej głębokości. Jak widać na rysunku 3, sam proces poboru wody z określonego interwału głębokościowego w kolumnie otworu przypomina poniekąd rdzeniowanie podczas wiercenia geologicznego. W literaturze anglojęzycznej rozpowszechniony jest termin „water column coring” w powiązaniu do zasady działania próbnika HydraSleeve® (np. Weight and Sonderegger, 2001; Nielsen D.M. and Nielsen G.L., 2007; Weight, 2008). Po napełnieniu próbnika wodą, przechodzi się bezpośrednio do fazy wyciągania próbnika (rys. 3 i 4). Zaleca się wyciąganie napełnionego próbnika z jednostajną prędkością bez szarpnięć i zbędnego pośpiechu. W momencie napełnienia się próbnika, znajdująca się w nim woda, przenosi ciśnienie hydrostatyczne na ścianki zaworu górnego, przez co zostaje on zamknięty aby nie dopuścić do mieszaniny z wody znajdującej się powyżej, w kolumnie otworu.

Poprzez dołączenie kilku próbników HydraSleeve® do tej samej linki możliwe jest również jednoczesne pionowe profilowanie strefy zawodnienia, albo słupa wody w piezometrze na różnych głębokościach (rys. 3) – bez zaburzania kolumny wody ponownym opuszczaniem próbnika na inną głębokość w otworze badawczym. Dyskretny próbnik rękawowy HydraSleeve® może być używany do poboru reprezentatywnych prób wody w celu badania i monitorowania składu chemicznego wód w odniesieniu niemal do wszystkich pierwiastków gdyż jest zbudowany z inertnego PE. Próba wody pobierana jest w warunkach in situ (np. ciśnienie), z minimalnym kontaktem próby z atmosferą – nie następuje więc utlenianie wrażliwych składników jak np. metale ciężkie, ani nie następują straty fazy gazowej (np. Parker and Clark, 2002; ITRC, 2007; GeoLogic Associates, 2009; NDCEE, 2010b).



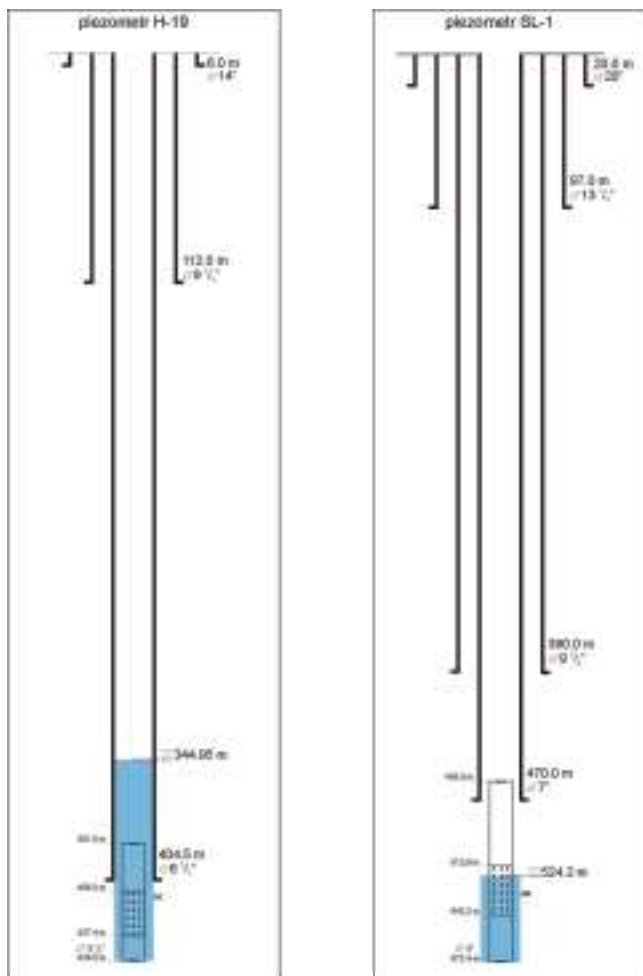
Rys. 2. Zasada działania dyskretnego próbnika rękawowego HydraSleeve®: numerami od 1 do 4 oznaczono poszczególne etapy procesu poboru próby wody; opis w tekście. Dane firmy AquaTerra.pl za zgodą firmy In-Situ Europe Ltd.

Fig. 2. The principle of operation of HydraSleeve® discrete sampler: numbers from 1 to 4 indicate successive steps of water sampling. Data from AquaTerra.pl with the consent of In-Situ Europe Ltd.



Rys. 3. Jednoczesne pionowe profilowanie strefy zawodnienia za pomocą połączonych próbników HydraSleeve®. Dane firmy AquaTerra.pl za zgodą firmy In-Situ Europe Ltd.

Fig. 3. Simultaneous vertical sampling of water column with application of connected HydraSleeve®. Data from AquaTerra.pl with the consent of In-Situ Europe Ltd.



Rys. 4. Schemat konstrukcji głębokich piezometrów H-19 i SL-1, które opróbowano za pomocą dyskretnego próbnika rękawowego HydraSleeve®. Obudowa piezometrów: rury stalowe. X – średnia głębokość poboru próbki wody: patrz tabela 1

Fig. 4. Scheme of the construction of deep piezometers H-19 and SL-1 which have been sampled with application of HydraSleeve® sampler. Casing are made of steel pipes. X – average sampling depth: see table 1

EWALUACJA TERENOWA

Na przykładzie dwóch głębokich piezometrów zaprezentowano rezultaty poboru prób wody bezpompową, dyskretną techniką próbnika HydraSleeve®. Schemat konstrukcji piezometrów i podstawowe dane hydrogeologiczne zostały przedstawione na rysunku 4 i w tabeli 1.

Piezometry do opróbowania z wykorzystaniem techniki dyskretnego próbnika rękawowego HydraSleeve® muszą być najpierw starannie przeanalizowane pod względem lokalizacji, konstrukcji i sprawności hydrogeologicznej.

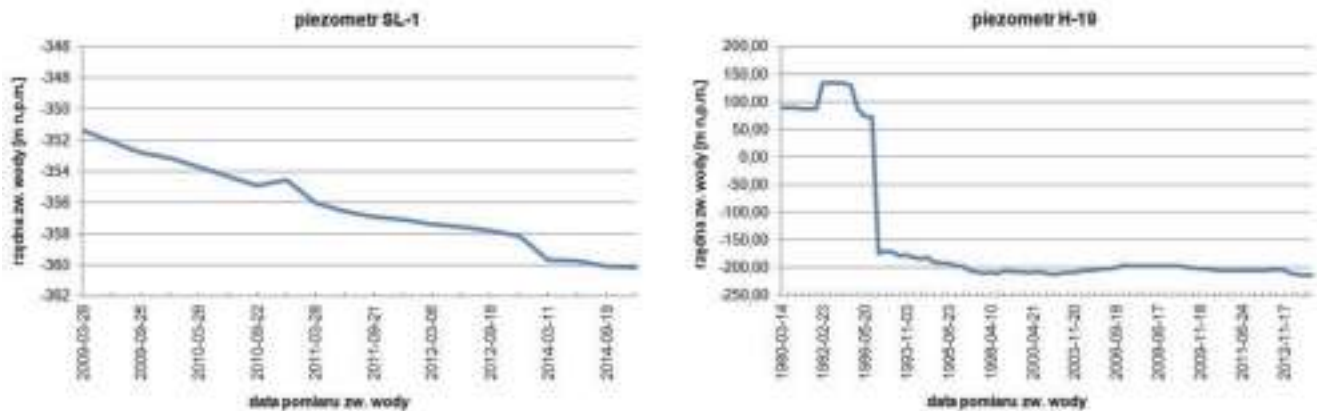
Następujące parametry muszą być spełnione:

- odpowiedni dostęp do głowicy otworu umożliwiający prace z próbnikiem;
- odpowiednia średnica otworów wlotowych do piezometru – jeśli mamy do czynienia z umieszczonymi na stałe różnymi elementami zabezpieczającymi dostęp do piezometru; otwór wlotowy powinien umożliwiać swobodne zapuszczenie i wyciągnięcie napełnionego próbnika;
- odpowiednia średnica rur w strefie zafiltrowania, która powinna umożliwiać swobodną penetrację dla próbnika o danej pojemności;
- piezometr powinien być sprawny i czynny;

Technika dyskretnego próbnika HydraSleeve® opiera się głównie na poborze próbki wody ze strefy zafiltrowania, gdzie powinien występować swobodny przepływ wody podziemnej. Najważniejszym elementem jest więc wybór piezometrów sprawnych, bez kolmatacji albo zapiaszczenia (zamulenia) strefy zafiltrowania. Wiedza na temat stanu sprawności piezometrów często może być niedostępna (np. w przypadku starych, niewykorzystywanych przez długi okres czasu konstrukcji) albo wręcz nieprawdziwa z powodu postępującej w czasie korozji i degradacji rur, albo niewłaściwie wykonywanych prac rekonstrukcyjnych. W naszym przypadku, wszystkie opróbowane piezometry należały do wewnętrznej sieci monitoringowej KGHM PM S.A., w których dokonuje się regularnych obserwacji położenia zwierciadła wody (rys. 5).

W przypadku piezometrów położonych w obszarach górniczych kopalń KGHM PM S.A., w strefie oddziaływania leja depresji, sukcesywny spadek zwierciadła wody w piezometrach ujmujących bezpośrednio odwadniany cechsztyński poziom wodonośny, uznawaliśmy za bezpośrednią oznakę sprawności piezometru, i przepuszczalności w strefie zafiltrowania.

Próbniki HydraSleeve® po zapuszczeniu do piezometrów na odpowiednią głębokość (i.e. do strefy nafiltrowania) zostały zamocowane linką do głowicy otworu i pozostawione na 24h w otworze w celu ustabilizowania się warunków przepływu w strefie zafiltrowania. Przed zapuszczeniem dostosowano pojemność próbników do średnicy rur w strefie zafiltrowania: próbniki o mniejszej pojemności są węższe. Pożądana objętość wody to 1000 mL. Do piezometru SL-1 zapuszczono jeden próbnik HydraSleeve® o pojemności 1000 mL, a do piezometru H-19, dwa próbniki połączone ze sobą tak jak na rysunku 3 o pojemności 600 mL każdy.



Rys. 5. Zmiana poziomu zwierciadła wód podziemnych obserwowana w piezometrach SL-1 i H-19 (dane z zakładów górniczych KGHM PM S.A.). Zmiana poziomu wody w cechsztyńskiej warstwie wodonośnej, w reakcji na odwodnienie sugeruje, że piezometr powinien być sprawny i niezakolmatowany. Dodatkowe objaśnienia w tekście.

Fig. 5. Change of the groundwater level observed in piezometers SL-1 and H-19 (data from Hydrogeological Department of KGHM PM S.A. mines). The decrease of groundwater level in Zechstein aquifer is a normal response to discharge in mine and indicates hydrodynamic efficiency of the studied piezometers, no clogging of filter zone. For additional explanation see text.

Dla zobrazowania ostatniej fazy poboru wody próbnikiem HydraSleeve® załączono zdjęcia wykonane w terenie podczas wyciągania próbników i przygotowania wody do analiz wskaźnikowych (rys. 6).

Woda pobrana próbnikiem HydraSleeve® była poddawana oznaczeniom wskaźnikowym bezpośrednio w terenie, tuż po pobraniu. Oznaczenia wskaźnikowe obejmowały: temperaturę wody – t [°C], przewodnictwo właściwe – SC [uS/cm] i pH. Wyniki analiz wskaźnikowych wody z poszczególnych piezometrów przedstawia tabela 2.

Po wyjęciu próbników z wodą i ich otwarciu rozdzielano wodę do odpowiednich butelek do analiz chemicznych. Każda próbka wody była filtrowana przy użyciu filtrów strzykawkowych typu GF/F (glass microfiber) firmy Whatman® o średnicy porów 0,7 μ m i rozdzielana do dwóch polietylenowych butelek: na aniony o pojemności 150 ml i na

kationy o pojemności 30 ml. Wszystkie próbki wód przeznaczone do analiz chemicznych były przechowywane w lodówce i dostarczane do laboratorium w ciągu 2 – 8 dni. Podstawową analizę chemiczną wody wykonano w laboratorium Instytutu Ochrony Środowiska (IOŚ-PIB) w Warszawie. Wyniki analiz chemicznych wody z obu piezometrów przedstawia tabela 3.

Jak widać z tabeli 2, wykonane bezpośrednio w terenie podstawowe analizy wskaźnikowe pokazały znaczne różnice właściwości fizyko-chemicznych wód pobranych z różnych piezometrów – przy czym oba piezometry udostępniają ten sam cechsztyński poziom wodonośny wapieni i dolomitów Ca1. Woda z otworu SL-1 ma dużo wyższe przewodnictwo właściwe (SC), co świadczy o tym że jest znacznie bardziej zmineralizowana, ma wyższą temperaturę – ponad 20°C (co pozwala klasyfikować ją jako wo-

Tabela 1. Podstawowe dane hydrogeologiczne opróbowanych piezometrów. D – aktualna głębokość całkowita piezometru, F – głębokość zafiltrowania, Zw – głębokość położenia zwierciadła wody: dane z IV kwartału 2013 r.; P₂ – cechsztyń, poziom wapieni i dolomitów Ca1, Ds – głębokość opróbowania.

Table 1. Basic hydrogeological characteristic of sampled piezometers. D – actual total depth, F – casing perforation interval depth, Zw – groundwater level depth: data from IVth quarter of 2013 year, P₂ – Zechstein, carbonates and dolomites of Ca1 Level, Ds – sampling depth.

Piezometr	Lokalizacja	Rok wykonania	Stratygrafia /geologia	Rzędna [m n.p.m.]	D [m]	F [m]	Zw [m p.p.L]	Ds
H-19	OG Polkowice	1972	P ₂ /dolomity i wapień	135,7	438,5	409,27-427,4	344,95	412,0
SL-1	OG Lubin – Małomice	2008	P ₂ /dolomity i wapień	164,9	580,00	512,6-543,17	524,19	530,0

Tabela 2. Wyniki analiz wskaźnikowych wód pobranych z piezometrów SL-1 i H-19 za pomocą dyskretnego próbnika rękawowego HydraSleeve®.

Table 2. The results of field indicator analysis of water collected by HydraSleeve® sampler from piezometers SL-1 and H-19.

Piezometr	Szacunkowa głębokość opróbowania [m]	Pojemność próbnika HydraSleeve	pH	PEW [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	t [$^{\circ}\text{C}$]	Uwagi
H-19	412,0	2 x 600 mL	11,81	826	16,3	Zastosowano obudowę ochronną próbnika
SL-1	530,0	1 x 1000 mL	7,07	2350	20,3	Zastosowano obudowę ochronną próbnika

Tabela 3. Zestawienie składu chemicznego wód pobranych z głębokich piezometrów za pomocą dyskretnego próbnika rękawowego HydraSleeve®. D – głębokość całkowita piezometru, Ds – szacunkowa głębokość „rdzeniowania” kolumny wody w piezometrze, TDS – suma rozpuszczonych składników stałych (mineralizacja ogólna).

Table 3. Chemical composition of water collected by HydraSleeve® sampler from studied piezometers. D – actual total depth of the piezometer, Ds – estimated depth of water column coring in the piezometer, TDS – total dissolved solids.

Piezometr	D [m]	Ds [m]	Typ wody	TDS	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₂ ₂
					[mg/L]							
H-19	438,5	412,0	Ca-Na-CO ₃ -Cl	236,6	36,4	14,3	50,5	0,02	32,70	10,70		89,0
SL-1	580,0	530,0	Ca-Na-SO ₄	1601,9	228,4	7,48	262,4	28,10	161,27	835,42	76,12	



Rys. 6. Fotografie terenowe przedstawiające ostatnią fazę poboru prób wody za pomocą dyskretnego próbnika rękawowego HydraSleeve®. A – piezometr SL-1, B – piezometr H-19 (widać dwa połączone próbki o pojemności 600 mL każdy), C, D – próbki HydraSleeve® z pobraną próbą wody, podwieszane, izolowane od wpływu atmosfery, przygotowane do oznaczeń wskaźnikowych i rozdzielenia wody do analiz chemicznych i izotopowych. Na próbnikach HydraSleeve® (A, B) widoczna osłona z PCV: dodatkowe objaśnienia w tekście.

Fig. 6. Photos of the final step of water sampling with application of HydraSleeve® sampler. A – piezometer SL-1, B – piezometer H-19: two connected samplers of 600 ml volume each, C, D - HydraSleeve® samplers hung on the rack with water collected inside, isolated from atmosphere and prepared for field indicator analysis and splitting for isotopic and chemical analysis. HydraSleeve® samplers on photos A and B are equipped with additional PCV cover: for explanation see the text.

dę termalną) i neutralne pH. Woda z piezometru H-19 wyróżnia się natomiast nienaturalnie wysokim pH wynoszącym 11,8. Zwykle pH naturalnych wód podziemnych waha się w granicach 6,5–9,5 (Witczak et al., 2013). Dane literaturowe wskazują, że pH rzędu 11 i więcej nie może być rezultatem naturalnych czynników związanych z występowaniem wody w warstwie wodonośnej, nawet jeśli jest to węglanowa warstwa wodonośna. W takim wypadku, pobrana próba wody nie może być traktowana jako reprezentatywna co najmniej pod względem składu chemicznego: wartość pH rzutuje z pewnością na stężenia metali ciężkich czy innych pierwiastków śladowych, zawartości faz gazowych, itp. Warto zauważyć, że woda pobrana z otworu H-19 za pomocą próbnika HydraSleeve® była przejrzysta, klarowna i bez zapachu – optycznie więc nie wzbudzała podejrzeń.

Przyczyny tego, że pobrana próba wody nie reprezentuje cech fizyko-chemicznych wody in situ w warstwie wodonośnej mogą być dwojakiego rodzaju: (a) związane z aktualnym stanem piezometru, (b) związane z niewłaściwą techniką poboru prób wody.

Jeżeli przyjrzymy się dokładnie zmianom poziomu wody piezometrze SL-1 i H-19, to od razu daje się zauważyć, że piezometr H-19 nie reaguje w sposób jednoznaczny na spadek ciśnienia hydrostatycznego. Biorąc pod uwagę okres ostatnich 10 lat, poziom wody w piezometrze nie uległ obniżeniu (w przeciwieństwie do SL-1), a w niektórych okresach wykazywał nawet wzrost poziomu wody. Może to świadczyć o tym, że piezometr jest niedrożny, posiada zakolmatowaną albo zamuloną strefę zafiltrowania. W takim wypadku, woda pobrana z kolumny rur byłaby wodą stagnującą od długiego okresu czasu, zawierającą zanieczyszczenia związane zarówno z płuczką wiertniczą jak i rozpuszczanym cementem izolacyjnym (takie domieszki dają bardzo duże pH – co jest stwierdzone bezpośrednim oznaczeniem wody), korozją rur, a nawet z dużym udziałem wód powierzchniowych (infiltracyjnych: to sugeruje np. bardzo niska mineralizacja ogólna wody). Tak więc, najprawdopodobniej sam piezometr H-19 został błędnie zakwalifikowany do opróbowania, nie może być traktowany jako reprezentatywny punkt do poboru wody z warstwy wodonośnej.

Z drugiej strony, przy założeniu że piezometr H-19 jest jednak sprawny i drożny, to pobór stagnującej wody z kolumny rur ponad strefą aktywnej wymiany (nie bezpośred-

nio ze strefy zafiltrowania) mógł wynikać z błędu popełnionego w samym procesie opróbowania. Zastosowanie próbnika HydraSleeve ma pewne niedogodności jeśli chodzi o bardzo głębokie otwory. Przy bardzo dużych głębokościach (rzędu kilkuset metrów) do strefy zafiltrowania i przy dużej strefie zawodnienia (i.e. duży słup wody w kolumnie rur ponad strefą zafiltrowania) bardzo ciężko jest wyczuć czy próbnik nie zatrzymał się na niższej głębokości, np. na skutek niewielkiej niedrożności w kolumnie rur, albo – co jest najczęstsze – na skutek zwężenia średnicy rury nadfiltrkowej. Przy dużych głębokościach sama masa linki do której przytwierdzony jest próbnik, jest na tyle duża że niedoświadczona osoba z pewnością nie wyczuje czy mamy do czynienia z zatrzymaniem próbnika na głębokości niższej niż pożądana; linka opada i jest naprężona dzięki swojej masie; można wówczas liczyć tylko na dobrą przepustowość rur piezometru i trafienie obciążnika do rury nadfiltrkowej.

Tak więc, przy stosowaniu techniki próbnika HydraSleeve® bardzo ważny jest element związany z konstrukcją piezometru: jeśli kolumna rur nadfiltrkowych sięga, aż do powierzchni (do głowicy otworu), i ma odpowiednią średnicę (najlepiej minimum około 5”) to do takiej właśnie rury zapuszczamy bezpośrednio próbnik; jeśli nie ma problemów z drożnością kolumny rur to z pewnością uda się trafić do strefy zafiltrowania. W przypadku, gdy rura nadfiltrkowa jest krótka i wąska to trafienie próbnikiem do strefy zafiltrowania na bardzo dużej głębokości może być trudne (rys. 4).

Innym problemem, związanym ze stosowaniem techniki próbnika HydraSleeve® do opróbowania głębokich otworów, jest materiał z którego próbnik jest zbudowany: HydraSleeve® jest próbnikiem miękkim, rękawowym, zbudowanym z polietylenu (PE). W głębokich otworach, gdy mamy do czynienia z kilkuset metrowym odcinkiem suchej kolumny rur, które w dodatku nigdy nie są idealnie pionowe, może dochodzić do przetarcia i porwania napełnionego wodą próbnika podczas transportu próbki wody do góry. Możliwość takiego uszkodzenia próbnika należy zawsze przewidzieć analizując konstrukcję otworu. Można temu przeciwdziałać stosując dodatkowe materiały ochronne, obudowy itp. W przypadku opróbowania obu piezometrów SL-1 i H-19 stosowano dodatkowe obudowy ochronne próbnika HydraSleeve® jak widać to na rys. 6. Ponieważ obudowy (w tym sposób ich wykonania, sposób zawiesz-

nia, długość i średnica) były konstrukcją autorską AquaTerra.pl i mogą mieć potencjał patentowy to szczegółowy opis tego elementu pomijamy. Jednakże, zastosowanie dodatkowej obudowy próbnika zdaje w pełni egzamin, i pozwala wykorzystywać technikę HydraSleeve® do opróbowania głębokich otworów.

PODSUMOWANIE I REKOMENDACJE

Technika próbnika HydraSleeve® – bezpompowego, dyskretnego opróbowania hydrogeologicznego głębokich otworów, piezometrów i studni jest technologią bardzo ekonomiczną, wartą stosowania, prostą, dokładną i w miarę pewną jeżeli chodzi o pozyskanie reprezentatywnych prób wody. HydraSleeve® może być stosowany do poboru prób wody do wszelkich analiz chemicznych i izotopowych, gdyż próbnik jest zbudowany z pasywnego dla środowiska wodnego materiału, nie następuje natlenienie wody w procesie poboru próby, i nie powodujemy turbulencji ani nadmiernego mieszania się wody w kolumnie rur eksploatacyjnych. Oczywiście pozyskanie reprezentatywnej próby wody wiąże się nieodzownie ze spełnieniem szeregu określonych warunków związanych zarówno z wytypowaniem odpowiedniego pod względem konstrukcyjnym (dostęp, średnica rur) i technicznym (sprawny, drożny, niezakolmatowany ani nie zailony w strefie zafiltrowania) otworu – co jest najtrudniejszym etapem, oraz z przeprowadzeniem procesu opróbowania w sposób właściwy, umiejętny, zgodny z zalecanymi procedurami (i.e. trafienie do strefy aktywnej wymiany wód, odpowiedni czas pozostawienia próbnika w tej strefie, zastosowanie bądź nie elementów ochronnych, itp.). Ze względu na fakt, że przy wyborze do opróbowania już istniejących punktów, posługujemy się często danymi archiwalnymi, nieraz bardzo starymi, zawsze więc pozostaje pewien margines niepewności czy analizowane dane są zgodne z aktualną sytuacją w otworze. Należy wziąć pod uwagę fakt, że wahanie położenia zwierciadła wody w kolumnie rur nie zawsze musi wskazywać na to, że piezometr jest sprawny i drożny w strefie zafiltrowania. Ponadto, głębokie otwory, z dużymi strefami zanieczyszczenia w kolumnie rur, mogą bardzo długo przechowywać zanieczyszczenia związane z płuczką wiertniczą czy cementem izolacyjnym o ile nie były odpowiednio oczyszczone po ich zbudowaniu: opróbowanie takiego otworu powyżej strefy aktywnej wymiany wody może często skutkować tym, że woda będzie miała nienaturalnie

wysokie pH. Najczęściej bardzo wysokie pH jest związane z kontaktem wody z cementem używanym przy konstrukcji otworu, a więc może świadczyć też o złym stanie technicznym i postępującej korozji rur. Technika opróbowania z użyciem HydraSleeve® jest stosunkowo tania: nieudane lub wątpliwe opróbowanie może być więc łatwo powtarzalne. Z drugiej strony metoda może być wykorzystana nawet do samego wstępnego zbadania, czy dany otwór albo piezometr w ogóle nadaje się do poboru reprezentatywnej próby wody.

Podziękowania: Opróbowanie głębokich piezometrów z wykorzystaniem techniki próbnika HydraSleeve® zostały przeprowadzone w ramach prac na zlecenie KGHM PM S.A. Autorzy wyrażają swoje uprzejme podziękowania dla władz KGHM PM S.A. za wyrażenie zgody na publikację danych dotyczących opróbowania hydrogeologicznego wybranych głębokich piezometrów z wykorzystaniem mało znanej w Polsce techniki dyskretnego próbnika rękawowego HydraSleeve®.

BIBLIOGRAFIA

- ITRC, 2007 – Protocol for Use of Five Passive Samplers*to Sample for a Variety of Contaminants in Groundwater. The Intrastate Technology and Regulatory Council, Diffusion/Passive Sampler Team, Washington DC.
- JACKENS J., 2010 – Evaluation of the Utility, Comparability, and Cost Effectiveness of Passive Groundwater Sampling Technologies When Compared to a Low-Flow Purging Method. Proceedings Environment Energy Security & Sustainability Conference, 1644-10, NDCEE/CTT.
- NIELSEN D.M., NIELSEN G.L., 2007 – The Essentials handbook of groundwater sampling. CRC Press Taylor & Francis Group.
- NDCEE, 2010A – Striving for Net Zero Energy, Water, and Waste at Military Installations. National Defense Center for Energy and Environment (NDCEE) Annual Report, 2010: 8-11.
- NDCEE, 2010B – Novel In Situ Extraction Technologies for Contaminants in Groundwater (Task N.0441). National Defense Center for Energy and Environment (NDCEE) Newsletter Winter/Spring 2010.
- PARKER L.V., CLARK C.H., 2002 – Study of five di-

- crete interval type groundwater sampling devices. ERDC/CRREL Tr-02-12, US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover.
- PULS R.W., POWELL R.M., 1992 – Acquisition of representative ground-water quality samples for metals. *Ground-Water Monitoring Review*, 12 (3): 167–176.
- ROBIN M.J.L., GILLHAM R.W., 1987 – Field Evaluation of Well Purging Procedures. *Ground-Water Monitoring Review* 7 (4): 85-93.
- SAVOIE J.G., LEBLANC D.R., 2012 – Comparison of No-Purge and Pumped Sampling Methods for Monitoring Concentrations of Ordnance – Related Components in Groundwater, Camp Edwards, Massachusetts Military Reservation, Cape Cod, Massachusetts, 2009–2010. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- WEIGHT W.D., SONDEREGGER J.L., 2001 – Manual of applied field hydrogeology. McGraw-Hill Professional Engineering, New York.
- WEIGHT W.D., 2008 – Hydrogeology field manual. McGraw-Hill Comp. Inc., New York.
- WITCZAK S., KANIA J., KMIECIK E., 2013 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. GIOŚ i AGH.