

# Zastosowanie metod geofizyki wiertniczej w planowaniu rekonstrukcji otworów wód leczniczych na przykładzie ujęcia Nr 8 w Krynicy-Zdroju

## Application of Geophysical Well Logging Methods in the Planning of Well Reconstructions on the Example of Borehole No. 8 in Krynica-Zdrój

Tomasz Górka<sup>1</sup>, Edyta Mardaus-Konicka<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bohrlochmessung – Storkow GmbH Sp. z o.o., Oddział w Polsce, Zielona Góra, Polska

<sup>2</sup>Uzdrowski Zakład Górniczy, Uzdrowisko Krynica-Żegiestów S.A., Krynica-Zdrój, Polska

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki zastosowania badań geofizycznych w otworze poddanym rekonstrukcji. Zastosowanie tego typu metod jest podejściem nowatorskim w otworach ujmujących wody lecznicze, pomimo że w otworach poszukiwawczych, geologiczno-rozpoznawczych i produkcyjnych na złożach innych surowców badania te są obowiązującym standardem. W przypadku otworu nr 8 w Krynicy-Zdroju, wykorzystanie geofizycznych technik otworowych pozwoliło zoptymalizować czas potrzebny na prowadzenie prac rekonstrukcyjnych oraz trafnie rozpoznać problemy, z którymi borykano się podczas ich realizacji. Umożliwiło to poprawną ocenę stanu technicznego otworu, w tym w szczególności pozwoliło wyznaczyć strefy dopływu wód niepożądanych, które to w pierwszej kolejności były powodem wyłączenia otworu z eksploatacji. Zastosowanie odpowiednio dobranego programu pomiarowego umożliwiło użytkownikowi podjęcie właściwych decyzji co do przebiegu prac rekonstrukcyjnych i w efekcie pozwoliło na przywrócenie poboru wód leczniczych otworem nr 8.

**Słowa kluczowe:** geofizyka otworowa, wody lecznicze, rekonstrukcja otworów wiertniczych

### SUMMARY

The article presents the results of the application of geophysical well logging techniques in a borehole under reconstruction. The use of such methods is quite an innovative approach in the healing waters' borholes, although in the mineral exploration and hydrocarbon production wells such workover measures have already been a valid standard for a long time. In case of well no. 8 in Krynica-Zdrój, the wireline logging allowed to optimize the time needed to carry out planned reconstruction procedures as well as accurately recognize the problems that were encountered during their implementation. This enabled the precise well integrity evaluation, particularly determined the inflow zones of non-mineral waters, which had been the reason for killing the well in the first place. The properly selected logging program enabled to make the right decisions regarding the course of reconstruction works and consequently allowed to restore the production with the well no. 8.

**Key words:** well logging – borehole geophysics, healing waters, well reconstruction

Acta Balneol, TOM LX, Nr 4(154);2018:288-294

### WSTĘP

Otwór nr 8, zlokalizowany na prawym brzegu potoku Palenica w Krynicy-Zdroju, odwiercony został w 1928 r. systemem udarowym do głębokości 287 m. Wykonany został w celu zabezpieczenia w surowiec leczniczy prężnie rozwijającego się w 20-leciu międzywojennym uzdrowiska. Był jednym z kilkunastu otworów zaprojektowanych w ramach

projektu głębokich wierceń, który to łącznie z programem rozwoju uzdrowiska z początku XX wieku, swoimi nazwiskami firmowali zarówno prof. J. Dietl jak i prof. R. Zuber. Choć wówczas został on niesłusznie okrzyknięty „zbrodnią przeciwko bezpieczeństwu zakładu krynickiego” sprawił, że Uzdrowisko Krynica jest dziś jednym z najslawniejszych kurortów w Polsce [1].

Otwór nr 8, wraz z pogłębieniem do 296,5 m, przeszedł pierwszą rekonstrukcję w roku 1955. Do dnia dzisiejszego nie zachowały się materiały z realizacji prac wiertniczych, jednakże przegląd rdzeni wykonał we wrześniu 1938 r. prof. Henryk Świdziński [4]. Z uwagi na niedostateczne zabezpieczenie pozyskanych rdzeni wiertniczych, opis profilu geologicznego wykonany w 1938 r. zawiera braki oraz znaczne niepewności co do miąższości i głębokości poszczególnych wydzieleni litologicznych. W profilu obserwuje się głównie obecność piaskowców magurskich, przewarstwionych łupkami ilastymi i ilasto-piaszczystymi, miejscami o znacznej miąższości. Ujęty poziom wodonośny budują głównie piaskowce fliszowych utworów paleogenu ze sporadycznymi wkładkami łupków. W interwałach głębokości 0-64 m, 177-192 m oraz poniżej 277 m profil zawiera luki lub/i oznaczenie litologiczne jest w nich niejednoznaczne (ryc. 1).

## OPIS PRAC REKONSTRUKCYJNYCH KONSTRUKCJA OTWORU NR 8

Otwór wiertniczy nr 8 pierwotnie został zarurowany dwoma kolumnami rur  $\phi$  9" i  $\phi$  7". Ówczesna głębokość posadowienia poszczególnych kolumn rur nie jest znana. W związku ze stwierdzoną korozją rur okładzinowych, a co za tym idzie postępującym wysładzaniem się eksploatawanych otworów wód, zaistniała konieczność przeprowadzenia rekonstrukcji otworu, którą przeprowadzono w terminie 22.03.-31.08.1955 r. W czasie rekonstrukcji całkowicie wydobyto skorodowane orurowanie oraz zapuszczono nowe kolumny rur okładzinowych  $\phi$  10" i  $\phi$  9", koncentrując prace na odizolowaniu dopływu wód nisko- zmineralizowanych. Jednocześnie, podczas realizacji prac rekonstrukcyjnych, pogłębiono otwór do poziomu 296,66 m i zainstalowano w nim kolumnę filtrową  $\phi$  6 5/8" (ryc. 1). Po rekonstrukcji, aż do maja 1997 roku, woda z otworu nr 8 wydobywana była za pomocą sprężonego gazu z centralnego kompresora przez 8 godzin na dobę. Od 1997 roku odwiert eksploatowany był za pomocą pompy głębinowej, którą zapuszczono na polietylenowym przewodzie rur tłocznych o średnicy zewnętrznej  $\phi$  25 mm. Do pomiaru położenia zwierciadła wód wykorzystano rurkę piezometryczną, natomiast w celu pomiaru ilości eksploatowanej wody zastosowano wodomierz i skrzynię pomiarową. Pomiar ciśnienia w przestrzeni pierścieniowej i na przewodzie tłocznym realizowano za pomocą manometrów. W roku 2009, z powodu nagłego spadku mineralizacji wody, otwór wyłączono z eksploatacji.

## PRACE REKONSTRUKCYJNE – ETAP I

W roku 2016 po siedmiu latach od zaniechania poboru wód otworem nr 8, podjęto decyzję o przywróceniu go do eksploatacji, co wiązało się z koniecznością ponownego przeprowadzenia w nim robót rekonstrukcyjnych. Pierwszy etap rekonstrukcji został rozpoczęty 4.04.2017 r. i trwał do 30.05.2017 r. Objął on głównie wydobywanie kolumny filtrowej  $\phi$  6 5/8". Za pomocą siłowników wyciągnięto z otworu ok. 120 m rur, następnie przystąpiono do wyciągania rur za pomocą urządzenia wiertniczego. Łącznie z otworu wydobyto 288,52

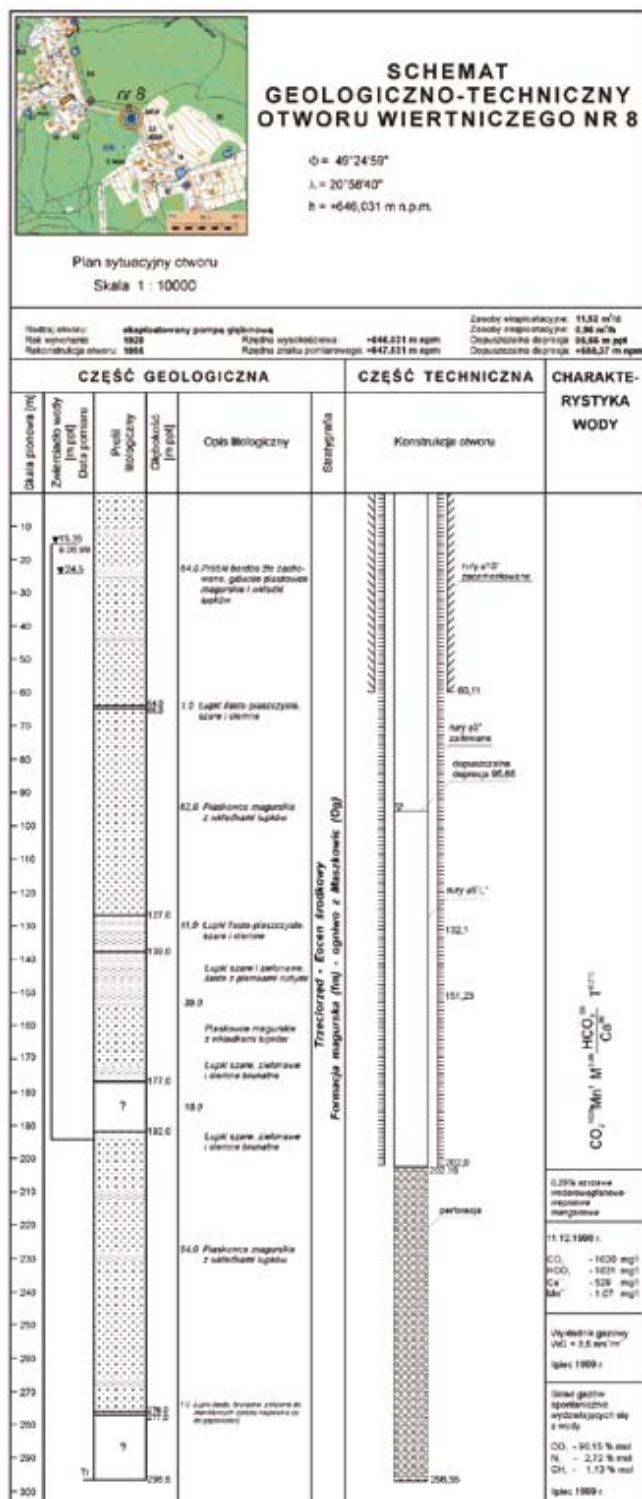
m rur stalowych, po których usunięciu stwierdzono zasyp na głębokości 202 mp.p.t. Otwór przerobiono wówczas świdrem gryzowym  $\phi$  190 mm do głębokości 213,60 m p.p.t, następnie wykonano korek cementowy, którego strop znajdował się na głębokości 212,50 m p.p.t. Po kolejnej cementacji otworu do głębokości 208,50 m p.p.t. i stójce na wiązanie cementu, przystąpiono do zwiercenia korka i ponownego przerobienia otworu do poziomu 244,00 m p.p.t. Na tym etapie, w związku ze znacznymi ucieczkami zaczynu cementowego, podjęto decyzję o przeprowadzeniu w otworze inspekcji telewizyjnej, której wyniki nie przyniosły jednak zadowalających efektów interpretacyjnych. W związku z tym podjęto decyzję o przeprowadzeniu w otworze badań geofizycznych, których głównym celem była diagnostyka stanu technicznego otworu ze szczególnym naciskiem na identyfikację miejsc dopływu do niego wód niepożądanych (o niższej mineralizacji). Projektowane badania miały również na celu określenie dalszych działań co do sposobu postępowania w trakcie dalszego etapu rekonstrukcji otworu.

## BADANIA GEOFIZYCZNE

Badania geofizyczne w otworze przeprowadzone zostały w terminie 31.05.-01.06.2017 r. i objęły następujące techniki pomiarowe: profilowanie średnicy, defektoskopię elektromagnetyczną, segmentacyjne profilowanie gamma, profilowanie neutron-neutron, profilowanie gamma-gamma gęstościowe, profilowanie zestawem sond produkcyjnych PL (profilowanie przepływomierzem produkcyjnym, przewodności, temperatury i ciśnienia) oraz powtórnie inspekcję telewizyjną. Badania hydrodynamiczne, tj. zestawem sond PL, przeprowadzono trój etapowo, tzn. w stanie równowagi hydrostatycznej, podczas zatłaczania wód do otworu oraz podczas pompowania w otworze.

Szczegółowe analizy pozyskanych danych geofizycznych zawierają przekazane do uzdrowiska wyniki interpretacji [3], natomiast przeprowadzone w otworze badania geofizyczne podsumować można w następujący sposób:

- Na podstawie przeprowadzonych badań kolumnę rur osłonowych 10" uznano za będącą w zadowalającym stanie technicznym.
- Kolumna rur osłonowych 9" miejscowo uwidacznia znaczne ubytki grubości ścianki. W interwałach ~ 94-108 m, 123-166 m oraz poniżej poziomu ~ 183 m zaznacza się ponad 50-procentowy spadek grubości w stosunku do zadanych wartości referencyjnych. Należy jednak wziąć przy tym pod uwagę, że za wyjściowy odcinek do przeliczeń przyjęto fragment orurowania o nominalnie grubszej ściance. Względem defektoskopii elektromagnetycznej EMDS, kolumnę rur osłonowych 9" w jej dolnym odcinku można uznać za będącą w niedostatecznym stanie technicznym, co potwierdza przeprowadzona w otworze inspekcja telewizyjna. Na głębokościach ~ 162,5 m oraz ~ 188-189 m uwidaczniają się znacznych rozmiarów wżery korozyjne (otwory w kolumnie) (ryc. 2, fot. 1 i 2).
- Miejscowe zmiany poziomu sygnału profilowania EMDS pojawiają się blokowo w poszczególnych odcinkach oru-



Rycina 1. Schemat geologiczno-techniczny otworu wiertniczego nr 8 [5]

rowania (~ 62,7-68,3 m; 114,5-120,4 m; 167-174,5 m), wskazując na różnice w grubości ścianki uwarunkowane materiałowo. Oznacza to, że w otworze odcinkowo zabudowano fragmenty orurowania o nominalnie różnych wartościach grubości ścianki (ryc. 2).

- Konstrukcję studni w zmierzonym odcinku można uznać za stosunkowo zgodną z dostarczoną dokumentacją, nie-

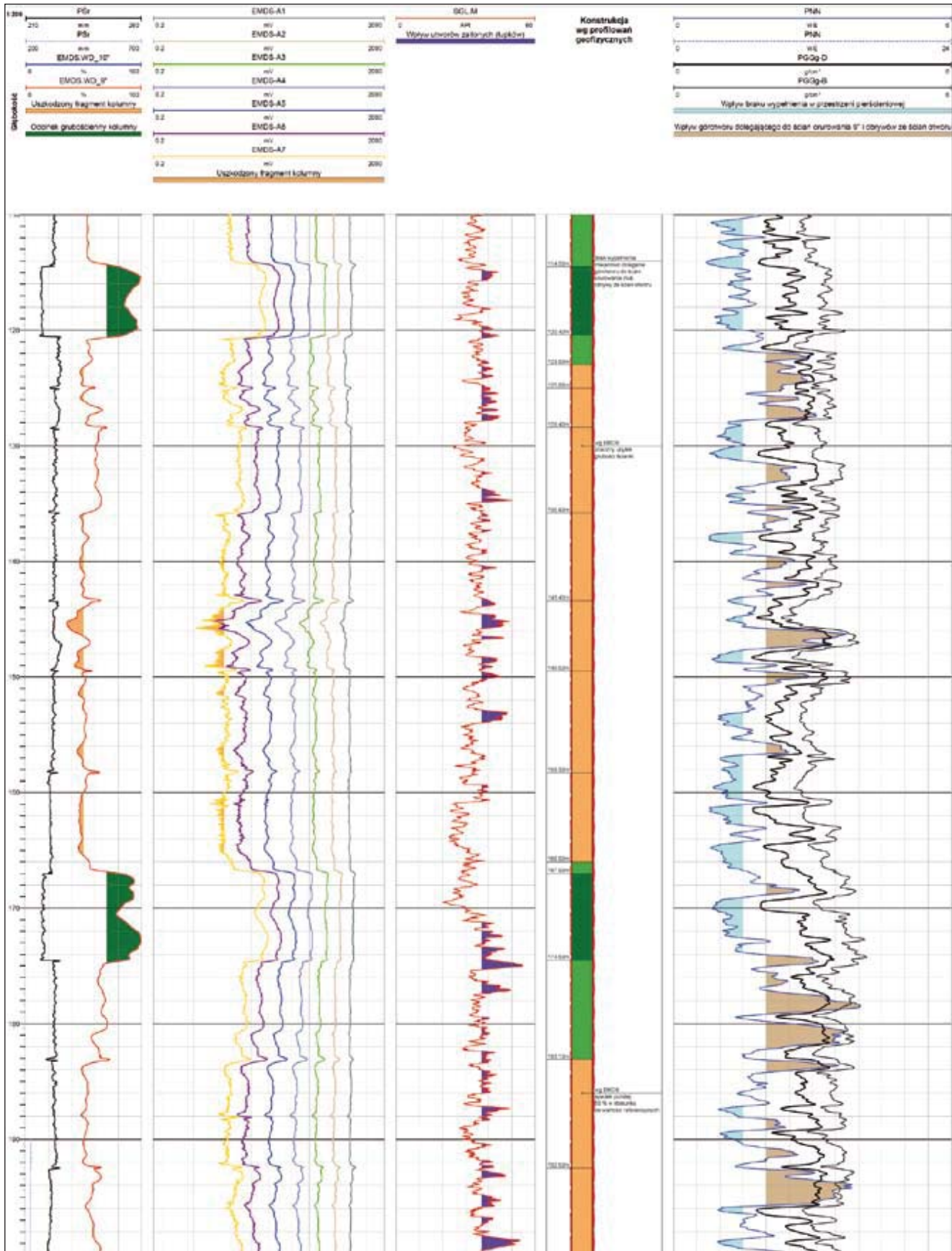
mniej jednak zewnętrzna kolumna rur okładzinowych (10") posadowiona jest na głębokości ~ 59,4 m (~ 0,7 m płycej w stosunku do dokumentacji), natomiast but kolumny rur 9" zalega na poziomie ~200,8 m (~ 1,2 m płycej w stosunku do karty otworu).

- Przestrzeń pierścieniowa pomiędzy kolumną rur osłonowych 9" a 10", jak również pomiędzy kolumną 9" a górtworem (poniżej buta rur kolumny 10"), nie jest wypełniona żadnym dedykowanym temu materiałem technicznym lub wypełniona jest miejscowo jedynie przez obrywy ze ścian otworu (ryc. 2). Nie obserwuje się zatem obecności dokumentowanego w karcie otworu wypełnienia ilem poza kolumną rur 9", co stanowi znaczne odstępstwo w stosunku do schematu geologiczno-technicznego otworu<sup>5</sup>, które wiązać się może z brakiem szczelności konstrukcji i możliwością migracji wód pomiędzy poziomami wodoносnymi poza orurowaniem.

- Na podstawie przeprowadzonych w otworze trójstopniowych badań hydrodynamicznych (w stanie spoczynku, podczas infiltracji oraz podczas pompowania) ocenia się, że w zastanym stanie technicznym otworu, głównym poziomem zasilającym lub chłującym jest uszkodzony odcinek orurowania na głębokości ~ 162,5 m (ryc. 3). Podczas pompowania, poprzez wyrwę w orurowaniu, dopływa do wnętrza kolumny do ~ 85% wody, charakteryzującej się niższą przewodnością. Dopływająca woda najprawdopodobniej pochodzi z wyżej położonych horyzontów za kolumną rur 9" (a profilowania fizykochemiczne w stanie spoczynku wskazują, że może to być interwał głębokościowy ~ 75-82 m).

### INSPEKCJA TELEWIZYJNA

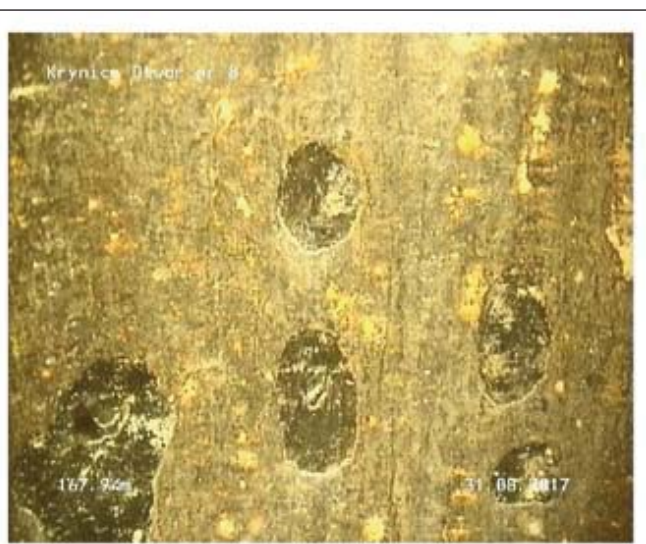
Podczas realizacji badań geofizycznych w otworze przeprowadzono inspekcję telewizyjną w celu wizualnego potwierdzenia zrealizowanych badań. Inspekcję prowadzono dwuetapowo, początkowo w warunkach równowagi hydrostatycznej stwierdzono bardzo słabą widoczność, spowodowaną unoszącym się w słupie wody materiałem zawieszonym, będącym wynikiem poprzedzających inspekcję robót wybierania zasypu podnośnikiem powietrznym. Następnie, w celu poprawy widoczności, inspekcję powtórzono w warunkach infiltracji (podczas zatłaczania wody do otworu). Podczas inspekcji stwierdzono, że powierzchnia ściany orurowania była stosunkowo czysta, jedynie miejscowo zaobserwowano na niej niezbyt bogato wykształcone naloty, osady i/lub inkrustacje. W górnych partiach wnętrza kolumny nie wykazywało jednoznacznych charakterystyk korozyjnych. Zaobserwowano gwintowane złącza rurowe, na każdym złączu uwidaczniało się kilka do kilkunastu zwojów gwintowych. Miejscowo krawędzie gwintów były nieco uszczerbione, brak było jednak jednoznacznych wskazań na ich ewentualną nieszczelność. Od poziomu ~ 144 m zaobserwowano pierwsze punktowe ubytki grubości stali, a na głębokości ~ 163,3 m uwidocznił się owalny otwór w kolumnie, przez który widać było fragment górtworu lub obrywu skalnego (fot. 1). W warunkach infiltracji zatłaczana u wylotu otworu woda jednoznacznie odpływała



**Rycina 2.** Wyniki badań geofizycznych – fragment dokumentacji graficznej dla interwału głębokości 110-200 m przedstawiającej krzywe pomiarowe służące ocenie stanu technicznego orurowania osłonowego (PŚr – profilowanie średnicy otworu, A1 do A9 wyjściowe krzywe pomiarowe EMDS do przeliczeń grubości ścianki, EMDS.WT\_16" – grubość ścianki kolumny 16", EMDS.WD\_9" – grubość ścianki kolumny 9") oraz wypełnienia przestrzeni pozarurowej (SGL – segmentacyjne profilowanie gamma, PNN – profilowanie neutronowe, PGG – Profilowanie gęstościowe)



Fot. 1. Kadr z inspekcji TV – widok na otwór w obrębie rur okładzinowych na głęb. 163,2 m



Fot. 2. Kadr z inspekcji TV – widok na ubytki stali w obrębie rur okładzinowych na głęb. 167,9 m

przez ubytek w orurowaniu (co potwierdzały wyniki badań hydrodynamicznych). Poniżej tego poziomu kolumnę charakteryzowały liczne, występujące aż do buta rur, punktowe uszkodzenia ściany w formie ubytków grubości ścianki (fot. 2). Na poziomie ~ 188,9 m oraz 189,6 m zaobserwowano dodatkowe otwory w kolumnie. Na podstawie zrealizowanych badań stan techniczny dolnych partii kolumny oceniono na zły (co koresponduje z badaniami EMDS).

### PRACE REKONSTRUKCYJNE – ETAP II

Na podstawie wyników badań geofizycznych oraz inspekcji telewizyjnej, biorąc pod uwagę stan techniczny kolumny rur  $\phi 9''$ , zdecydowano, że działaniem niezbędnym jest doszczelnienie kolumny rur i zatrzymanie napływu wód niepożądanych poprzez ubytki w orurowaniu okładzinowym (szczególnie na głębokości ~ 162,5 m i poniżej). Rozważano możliwość instalacji tzw. opasek uszczelniających montowanych od wewnątrz na pakerze, niemniej jednak stan techniczny kolumny  $\phi 9''$  uniemożliwiał w pełni bezawaryjne prowadzenie tego rodzaju prac. Wydobycie lub/i zwiercenie kolumny rur  $\phi 9''$  i ponowne zarurowanie otworu w tej samej średnicy okazało się zabiegiem zbyt kosztownym, dlatego podjęto decyzję o prowadzeniu dalszej rekonstrukcji poprzez instalację dodatkowej kolumny rur (linera) o średnicy  $\phi 7''$  oraz gruntowną cementację przestrzeni pomiędzy kolumnami i w ramach możliwości poza skorodowaną kolumną rur  $\phi 9''$ . But rur w ten sposób wprowadzanej kolumny planowano posadzić odpowiednio głębiej w stosunku do rur  $\phi 9''$ , umożliwiając również wiązanie cementu pomiędzy linerem a górotworem na odcinku zapewniającym szczelność dla konstrukcji. Następnie zapuszczono kolumnę filtrową z rur KVV o średnicy 125 mm (bezmufowych) do głębokości 296,5 m, z częścią czynną o długości 80 m, zwieńczoną dziesięciometrowym odcinkiem rury podfiltrowej. II etap rekonstrukcji prowadzono od 01.06.2017 r. do 31.07.2017 r., a na jego zakończenie przeprowadzono pompowanie

oczyszczające oraz próbne pompowanie w celu przywrócenia określonych zasobów dla ujęcia Nr 8 ( $0,960 \text{ m}^3/\text{h} = 11,52 \text{ m}^3/\text{d}$ ).

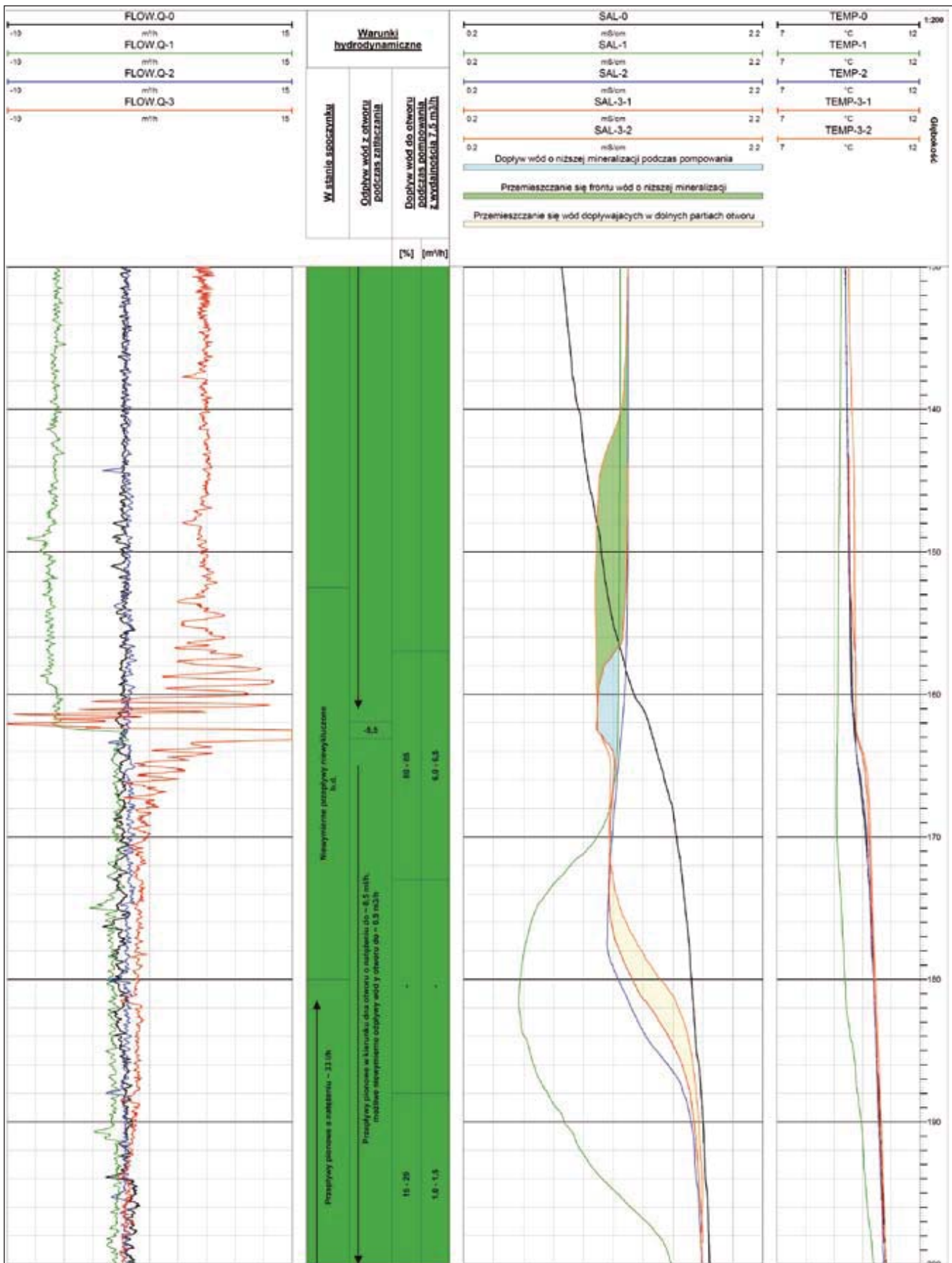
### PODSUMOWANIE

W trakcie planowania i późniejszego prowadzenia prac rekonstrukcyjnych w otworach wód leczniczych niezbędną jest wiedza co do ich aktualnego stanu technicznego. Odpowiednio zaadaptowane techniki geofizyki wiertniczej, uzupełnione technikami wizualnymi, takimi jak inspekcja telewizyjna lub skaner optyczny, idealnie nadają się do tego celu [2], co również potwierdzają wyniki badań przeprowadzonych w otworze Nr 8 w Krynicy-Zdroju. Zrealizowane w otworze pomiary geofizyczne nie tylko umożliwiły precyzyjną lokalizację dopływu wód o niższej mineralizacji (co było w pierwszej kolejności przyczyną wyłączenia otworu z eksploatacji w 2009 r.), lecz również pozwoliły na podjęcie prawidłowej decyzji co do modyfikacji planów rekonstrukcyjnych, niosąc ilościowe informacje dotyczące stopnia skorodowania kolumny rur okładzinowych oraz wypełnienia przestrzeni pierścieniowej poza nią. W tym pojęciu, zakładany cel przeprowadzonych badań geofizycznych został w pełni zrealizowany, umożliwiając prowadzenie odpowiednio zakrojonych prac rekonstrukcyjnych i na powrót przywracając użytkownikowi otwór do eksploatacji.

*Artykuł częściowo zrealizowano w ramach Projektu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój POWER 2018-2022 w AGH, Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska.*

### Piśmiennictwo

1. Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych Krynicy-Zdroju. Wyk. Biuro Projektów i Usług Technicznych Branży Uzdrawiskowej „Balneoprojekt” w Warszawie, Arch. PPU Krynica-Żegiestów. 1974



Rycina 3. Wyniki badań geofizycznych – fragment dokumentacji graficznej dla interwału głębokości 130–200 m przedstawiającej krzywe pomiarowe służące ocenie warunków hydrodynamicznych w otworze (zestaw Production Log), w tym wyznaczeniu strefy dopływu wód niepożądanych (FLOW.Q – profilowanie przepływomierzem produkcyjnym, SAL – profilowanie przewodności, TEMP – profilowanie temperatury; 0 – pomiary w stanie równowagi hydrostatycznej, 1 – pomiary w warunkach infiltracji, 3 – pomiary w stanie spoczynku po zatlaczaniu wód do otworu, 3 – pomiary podczas pompowania)

2. Górka T, Baumann K. Ocena zagrożeń wód podziemnych na podstawie kontrolnych pomiarów stanu technicznego otworów hydrogeologicznych przy wykorzystaniu metod geofizyki otworowej. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego. 2013;456:173-178.
3. Górka T, Kuschel L. Wyniki interpretacji badań geofizycznych w otworze nr 8 w Krynicy-Zdroju. 2017
4. Świdziński H. (red.). Dokumentacja naukowo-techniczna źródeł mineralnych Krynicy, Arch. PPU Krynica-Żegiestów, 1953.
5. Zdechlik, R, Witczak S. Schemat geologiczno – techniczny otworu wiertniczego nr 8. 2013.

**Wkład autorów:**

Według kolejności

**Konflikt interesów:**

Autorzy nie zgłaszają konfliktu interesów

**Pracę nadesłano:** 15.10.2018

**Zaakceptowano:** 14.11.2018

---

**ADRES DO KORESPONDENCJI:**

**Tomasz Górka**

Blm - Storkow GmbH Sp. z o.o. Oddział w Polsce

Kożuchowska 30 | 65-364 Zielona Góra

tel.: +48 68 320 0706