

## OCENA ZAGROŻEŃ WÓD PODZIEMNYCH NA PODSTAWIE KONTROLNYCH POMIARÓW STANU TECHNICZNEGO OTWORÓW HYDROGEOLOGICZNYCH PRZY WYKORZYSTANIU METOD GEOFIZYKI OTWOROWEJ

### ESTIMATION OF GROUNDWATER ENDANGERING ON THE BASIS OF TECHNICAL DIAGNOSTICS OF HYDROGEOLOGICAL BOREHOLES WITH THE WELL LOGGING METHODS

TOMASZ GÓRKA<sup>1</sup>, KARSTEN BAUMANN<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Odwierty oraz ich zabudowa w postaci studni, piezometrów lub podziemnych wymienników ciepła są ingerencją w naturalne zasoby wód gruntowych. Ich diagnostyka przy pomocy metod geofizycznych wskazuje na to, że wady techniczne, odkryte często już na etapie odbioru prac wiertniczych i konstrukcyjnych nowych otworów, mogą prowadzić do szkód stanu ilościowego i jakościowego wód gruntowych. Mimo że zalecenia techniczne, normy i przepisy dotyczące wykonywania odwiertów oraz ich konstrukcji stanowczo narzucają odpowiedzialne podejście do wód podziemnych jako do zasobów wody pitnej, to niestety stosowanie się do nich nie zawsze jest przestrzegane. Zwłaszcza zauważalny w ostatnich latach rozwój płytkich odwiertów geotermii niskotemperaturowej wskazuje, że ścisła kontrola takich przedsięwzięć jest niezbędna, jeśli nie chcemy dopuścić do poważnego deficytu wód podziemnych. W niniejszym artykule zostały omówione poglądowo techniki geofizycznego profilowania otworów hydrogeologicznych, wymienione najczęstsze ich wady i usterki, jakie obserwuje się podczas geofizycznych prac kontrolnych oraz pokrótce zostały zaprezentowane przykłady takiej kontroli.

**Słowa kluczowe:** geofizyka otworowa, kontrola studni i piezometrów, izolacja poziomów wodonośnych, uszczelnienie przestrzeni pierścieniowej.

**Abstract.** Boreholes and the resulting wells, piezometers or borehole heat exchangers are an intrusion into the groundwater resource, and their inappropriate construction can result in high damage to quality and quantity of groundwater resources. Technical regulations and rules dictate a responsible use of our groundwater resources, but unfortunately, the compliance from various sides is not always accurate. Especially, the recent observed boom for renewable energy from the Earth's heat shows that strict control of such constructions is essential for the benefit of groundwater resources for future generations. In this article, the technical analyses of wells and piezometers based on the borehole geophysical methods are presented, the typical defects of the underground infrastructure are listed, as well as examples of the analysis are discussed.

**Key words:** borehole geophysics – well logging, technical analysis of wells and piezometers, aquifer isolation, annular seal.

---

<sup>1</sup> Bohrlochmessung – Storkow GmbH, Schützenstrasse 33, 15859 Storkow, Germany;  
e-mail: gorka@blm-storkow.de, baumann@blm-storkow.de

## WPROWADZENIE

Geofizyka otworowa, od połowy zeszłego stulecia, stanowi stały element geologicznych prac poszukiwawczych. Początkowo, zastępując drogę rdzeniowanie, była wykorzystywana z powodów oszczędnościowych, w celu uzupełnienia informacji geologicznej podczas wierceń płuczkowych. Obecnie geofizyka otworowa jest w pełni samodzielną dyscypliną i metodą badawczą (Fricke, Schön, 1999). Równoległe z rozwojem technik profilowania otworów poszukiwawczych,

w ostatnim czasie wykształcił się nowy obszar jej zastosowania, jakim jest kontrola stanu technicznego ujęć wód podziemnych, piezometrów oraz podziemnych wymienników ciepła. Tego typu kontrola, przy zastosowaniu specjalnie do tego celu rozwiniętej metodyki profilowania otworów hydrogeologicznych, zyskała szczególnie w ostatnim czasie na znaczeniu, jako sprawdzone narzędzie diagnostyczne.

## DIAGNOSTYKA TECHNICZNA KONSTRUKCJI OTWORÓW

Podczas planowania i późniejszego odbioru nowych studni, piezometrów lub otworów geotermii niskotemperaturowej, specjalnie w tym celu opracowane i rozwinięte metody geofizyki otworowej stały się w niektórych krajach europejskich nieodłącznym elementem projektów prac geologicznych. Do minimalnych wymogów podczas projektowania studni, piezometru lub pionowego wymiennika ciepła, należą obecnie te metody geofizyczne, które umożliwiają ocenę:

- warunków litologicznych i hydrogeologicznych w obrębie wierconego otworu,
- hydraulicznej skuteczności uszczelnienia przestrzeni pierścieniowej celem izolacji poziomów wodonośnych oraz jego odpowiedniego usytuowania względem profilu geologicznego,
- obecności pustek i przestrzeni niewypełnionych,
- szczelności rur okładzinowych, a w szczególności ich połączeń,
- dokładnego położenia filtra.

Biorąc pod uwagę długotrwałą i bezawaryjną pracę studni lub żywotność otworu badawczego, zaleca się, szczególnie w starych ujęciach i piezometrach, wykorzystanie tych metod pomiarowych, które umożliwią:

- ocenę obecności i stanu obsypki żwirowej (kolmatacji, zagęszczenia, segregacji granulometrycznej),
- wyznaczenie miejsc dopływu wód do otworu (względnie ilościową analizę dopływów do określonych odcinków części roboczej filtra),
- ocenę przepuszczalności strefy przyfiltrkowej,
- pomiar odchylenia od pionu oraz lateralnego położenia zarurowania,

- odtworzenie lub uszczegółowienie profilu geologicznego (także w otworach zarurowanych),
- detekcję uszkodzeń zarurowania.

W szczególnych przypadkach niezbędne mogą się okazać otworowe pomiary geofizyczne, umożliwiające kontrolę chemiczności wód podziemnych oraz oszacowanie mineralizacji wód porowych poszczególnych horyzontów litostratygraficznych (wykonywane także w otworach zarurowanych). Jest to nieodzowne do tego aby móc określić pionową strefowość hydrogeochemiczną oraz wyznaczyć dokładnie głębokości pojawiania się wód zasolonych. Specjalnie opracowane systemy monitoringowe, oparte na prostych a zarazem wiarygodnych otworowych pomiarach geofizycznych, stały się już w wielu krajach Unii Europejskiej normą w walce z problemem podnoszenia się granicy lub przemieszczania się frontu wód zasolonych.

Podobnie w przypadku likwidacji ujęć wód podziemnych, w celu izolacji wcześniej przewierconych poziomów wodonośnych, niezbędna jest kontrola uszczelnienia przestrzeni pierścieniowej. Pozwala to wykluczyć możliwość migracji płynów pomiędzy poziomami, nawet przy prawidłowo wykonanej likwidacji ujęcia. Przy wykorzystaniu nowoczesnych geofizycznych metod otworowych, określenie dokładnej lokalizacji uszczelnienia oraz ocena jego hydraulicznej efektywności nie przysparza obecnie żadnych problemów. W przypadku likwidacji starych ujęć ze skąpą dokumentacją projektową, geofizyka otworowa przychodzi zatem z pomocą przy określaniu rzeczywistego profilu geologicznego, konstrukcji otworu oraz jego stanu technicznego, przyczyniając się do prawidłowego opracowywania koncepcji likwidacyjnych, a co za tym idzie – eliminacji zagrożeń wynikających z nieodpowiedniego projektowania i wykonania.

## WADY I USTERKI W KONSTRUKCJI OTWORÓW

Do najczęstszych wad bądź usterek, do których dochodzi w ujęciach wód podziemnych lub piezometrach, a jakie obserwuje się podczas geofizycznych pomiarów kontrolnych (Baumann, Tholen, 2001), należą:

- brakujące, źle umiejscowione, jednostronnie wykształcone, niepełne bądź wymieszane z obrywem ze ścianą otworu, uszczelnienie przestrzeni pierścieniowej;
- nieszczelne złącza rurowe;

- błędne opisy profili geologicznych;
- puste przestrzenie lub niewypełnione strefy poza kolumną rur wynikające z nieprawidłowego wypełniania lub osiadania materiału wypełniającego;
- wprowadzenie materiału uszczelniającego lub wniknięcie spoiwa łożowo-cementowego w obręb odcinka kolumny filtrowej;
- zbyt intensywne piaszczenie;
- mechaniczne uszkodzenie rur
- wysoka zawartość soli rozpuszczonych wynikająca z uprzednio nierozpoznanego zasolenia wód podziemnych;
- skrzywienie kolumny rur wynikające z nieprawidłowego zapuszczania rur bądź krzywienia otworu na etapie wiercenia;
- lateralne zarurowanie odwiertu i z tym powiązane nierównomierne lub tylko jednostronne uszczelnienie;
- jednostronnie rozłożona obsypka filtracyjna, z powodu zbyt dużej krzywizny otworu;
- nieprawidłowo, w stosunku do wykształcenia litologicznego warstwy wodonośnej, dobrany filtr i obsypka żwirowa;
- nieprawidłowe usytuowanie filtra w warstwie wodonośnej.

W przypadku wyżej wymienionych wad lub usterek, należy ocenić czy sprawiają one, że studnia, piezometr lub podziemny wymiennik ciepła stają się całkowicie niezdatne do dalszego użytkowania lub czy ograniczają tylko ich wydajność bądź sprawność, oraz czy ich wadliwa konstrukcja może mieć bezpośredni wpływ na wody podziemne.

## METODYKA POMIAROWE

Metody pomiarowe, stosowane do kontroli stanu technicznego otworów hydrogeologicznych, bazują głównie na osiągnięciach technicznych geofizyki otworowej dla przemysłu naftowego. Jednakże zarówno sama technika profilowania, budowa niektórych sond, jak i procedury interpretacyjne zostały odpowiednio zmodyfikowane i dostosowane do zastosowań hydrotechnicznych, tak aby w pełni spełniały swoje zadania podczas profilowania ujęć wód podziemnych, piezometrów i podziemnych wymienników ciepła. Są to zarówno metody z zakresu elektrometrii wiertniczej (profilowanie potencjałów naturalnych, profilowanie oporności, sterowane profilowanie oporności, profilowanie indukcyjne, profilowanie przewodności płuczki), z zakresu radiometrii wiertniczej (profilowanie gamma, profilowanie gamma-

-gamma, profilowanie neutron-neutron, skaner przestrzeni pierścieniowej, segmentacyjne profilowanie gamma), jak i badania z zakresu techniki wiertniczej oraz badania uszczelniające (profilowanie krzywizny otworu wiertniczego, profilowanie średnicy, profilowanie temperatury, wyznaczenie miejsc dopływu wody do otworu za pomocą przepływomierza FLOW oraz markerów fluorescencyjnych TFL, inspekcja TV, profilowanie podatności magnetycznej, dynamiczny test gazowy, elektromagnetyczna defektoskopia rur stalowych, pomiar mętności i kierunku przepływu wody oraz jej ogólna charakterystyka fizykochemiczna) (Baumann, Tholen, 2001; Houben, Treskatis, 2004; Arbeitsblatt DVGW W 110, 2005).

## PRZYKŁADY KONTROLI

Na przedstawionej graficznej prezentacji profilowań geofizycznych (fig. 1), wykorzystano następujące otworowe techniki geofizyczne: profilowanie gamma PG, gęstościowe profilowanie gamma-gamma PGGg, profilowanie neutronowe PNN, profilowanie średnicy PŚr oraz sterowane profilowanie oporności PPost. W omawianym przypadku, w przebiegu krzywej PGGg, w interwale głębokościowym 33–45 m, zaznacza się zauważalne minimum. Wskazuje ono na fakt, że podczas wprowadzania wypełnienia doszło do utworzenia tzw. pomostu, powodującego lukę w wypełnieniu na 12-metrowym odcinku poniżej. Jednocześnie z krzywej PPost dają się odczytać wyraźne minima, które wskazują na możliwe nieszczelne połączenia rurowe. W takich przypadkach, poprzez złącza, szczególnie w interwałach głębokościowych z brakującym lub niepełnym wypełnieniem, może dochodzić do napływu wód do otworu z nadległych warstw wodonośnych. W efekcie wody z różnych poziomów wodonośnych mieszają się, co, biorąc pod uwagę ochronę ich stanu jakościowego, nie powinno mieć miejsca. Od strony technicz-

nej, sam napływ wód o zmiennych właściwościach fizykochemicznych, może prowadzić do tworzenia się inkrustacji w obrębie obsypki żwirowej, a to z kolei do szybszego starzenia się studni i w efekcie – dalszego pogarszania się jej stanu technicznego. W tym wypadku, wysoce zalecany byłoby sprawdzenie szczelności rur przy pomocy pakera.

Na prezentowanej figurze 2, bazując na technikach elektromagnetycznych (EMDS), została m.in. ustalona resztkowa grubość rur stalowych. Metoda ta pozwala na wczesne oznaczenie jakości rur, a szczególnie ich stopnia skorodowania, co ma duże znaczenie, gdyż korozja orurowania najczęściej postępuje od zewnątrz do wewnątrz. Dlatego korozje uwidaczniające się w takich technikach pomiarowych, jak popularna dziś inspekcja TV, zazwyczaj wskazują już na bardzo zaawansowane skorodowanie, co nierzadko wiąże się z koniecznością likwidacji ujęcia. Obserwuje się, że nawet podczas samego zabiegu mechanicznej regeneracji studni, obciążenie rur jest tak znaczące, że niejednokrotnie, poprzez daleko posuniętą korozję, prowadzić to może do

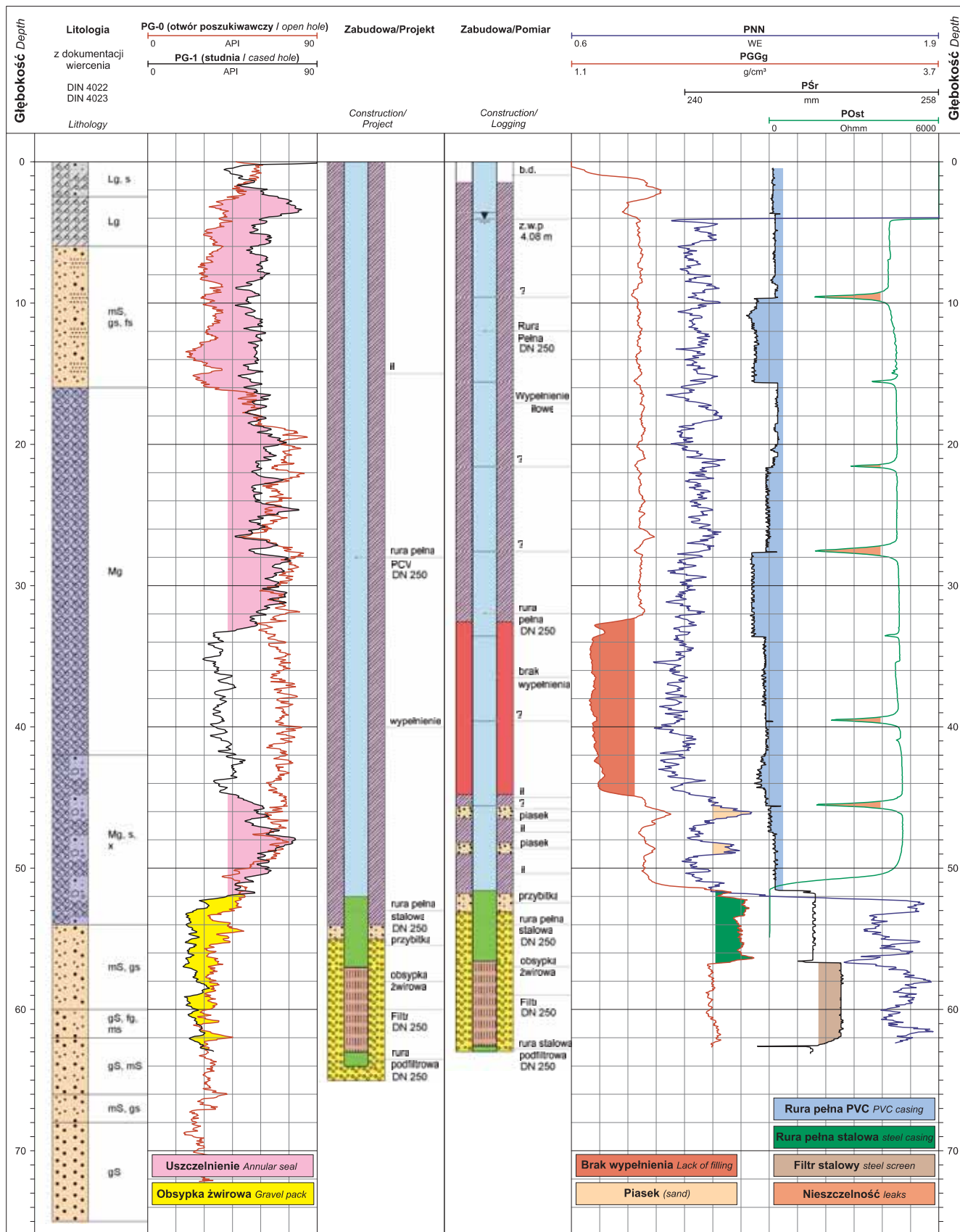


Fig. 1. Kontrola studni z udokumentowanym brakiem wypełnienia przestrzeni pierścieniowej oraz z możliwymi nieszczelnymi połączeniami rurowymi

Well analysis with the documented unfilled annular space and the possible leakage through the casing

całkowitej niesprawności ujęcia z groźbą połączeń hydraulicznych pomiędzy poziomami wodonośnymi. W prezentowanym przypadku zaawansowana korozja uwidacznia się w zakresie głębokościowym pomiędzy 11 a 14 metrem, na-

tomiast względem profilowania PGGg, brak jest wypełnienia przestrzeni pierścieniowej w interwale 8–14 m. W takich przypadkach również spodziewać się można przepływu i mieszania się wód w strefie pozarurowej.

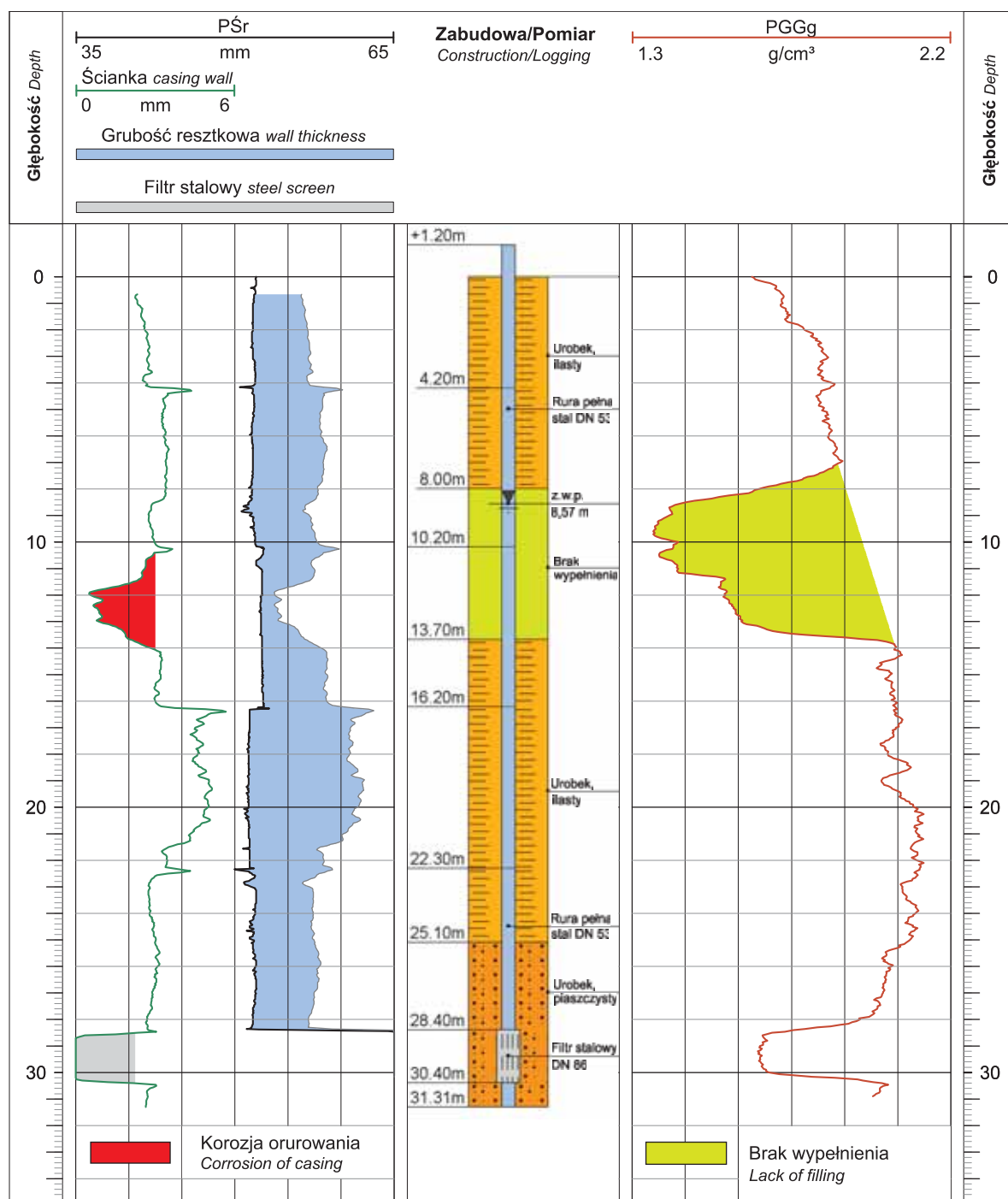


Fig. 2. Przykład kontroli orurowania – defektoskopia elektromagnetyczna (EMDS)

Example for the casing analysis – electromagnetic defectoscopy (EMDS)

## PODSUMOWANIE

Przy okazji przytoczonych przykładów, zaprezentowanych metod kontrolnych oraz wymienionych wad i usterek technicznej infrastruktury podziemnej, warto zaznaczyć, że istotną rolę dla ochrony wód podziemnych spełnia odpowiednio projektowanie i wykonanie otworów hydrogeologicznych. Wydaje się zatem, iż wskazane byłyby dokładniejsze instrukcje lub wytyczne, które nakładałyby na inwestora

konieczność precyzyjniejszej kontroli zamawianych wierceń i ich zabudowy wgłębniej. Byłoby to pożądane szczególnie na polu płytkich odwiertów geotermii niskotemperaturowej. Geofizyka otworowa dostarcza odpowiednio zaadaptowane i w tym celu rozwinięte narzędzia diagnostyczne, które służą tego typu kontroli.

## LITERATURA

Arbeitsblatt DVGW W 110, 2005 – Geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen – Zusammenstellung von Methoden und Anwendungen, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

BAUMANN K., THOLEN M., 2001 – Mängel an Brunnen und Grundwassermessstellen, bbr Wasser, Kanal, Rohrleistungsbau, 1/2001, 24–34, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln.

BAUMANN K., THOLEN M., TRESKATIS C., 2003 – Qualitätskriterien für Abdichtungssuspensionen im Brunnenbau, bbr Fachmagazin für Wasser- und Leitungstiefbau, 4/2003, 24–32, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

FRICKE S., SCHÖN J., 1999 – Praktische Bohrlochgeophysik. ENKE im Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

HOUBEN G., TRESKATIS C., 2003 – Regenerierung und Sanierung von Brunnen. Oldenburg Industrieverlag, München.

## SUMMARY

Hydrotechnical constructions in boreholes such as wells, piezometers or heat exchangers are an interference into the natural groundwater system. Therefore, it is important that their planning and constructing is always accomplished to the highest possible quality, and not to lead to the severe damage to the quality and quantity of groundwater resources. Geophysical well logging with its special processes, applications and procedures, developed for the quality assurance by technical diagnosis, is indispensable for today's analysis of such infrastructure. Among the minimum requirements are:

detailed knowledge of the lithological and hydrogeological conditions near the borehole, the presence of annular seals and their correspondence with the geological profile (if more than one aquifer is documented), the lack of unfilled annular space, hydraulic tightness of the casing, in particular the pipe connections, and precise knowledge of the screen position. These are clearly identifiable by modern borehole geophysical methods even in old and undocumented wells and piezometers.