

**dr Tomasz Górka<sup>1</sup>, mgr inż. Ewa Strykowiec<sup>2</sup>, dr hab. inż. prof. nadzw. AGH Jan Macuda<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Bohrlochmessung - Storkow GmbH Sp. z o.o. Oddział w Polsce

<sup>2</sup>Zakład Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Łodzi

<sup>3</sup>AGH - Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu

## **DIAGNOSTYKA NIEEKSPLOATOWANYCH STUDNI W ASPEKcie WŁĄCZENIA ICH DO EKSPLOATACJI**

### **WPROWADZENIE**

Zwiększone zapotrzebowanie na wodę, powodowane dynamicznym rozwojem miast, stanowi wyzwanie dla przedsiębiorstw wodociągowych ujmujących wody podziemne. Zaspokojenie rosnących potrzeb odbiorców wiąże się z poborem wody równym tzw. „zdolności produkcyjnej” funkcjonujących ujęć wód podziemnych, a niekiedy nawet z wykorzystaniem awaryjnych ujęć wody. Niejednokrotnie wieloletni brak inwestycji w zakresie zapewnienia rezerwowych ujęć wód podziemnych sprawia, iż brak jest studni rezerwowych, które mogą stanowić zabezpieczenie dostaw wody, np. podczas sezonowych suszy lub konieczności wyłączenia studni z powodu awarii. W takich sytuacjach warte rozważenia jest przywrócenie do użytkowania istniejących studni, w których eksploatacja nie została rozpoczęta lub jej zaniechano. Rozwiązanie takie może się okazać szczególnie opłacalne w przypadku studni ujmujących wody głębokich poziomów wodonośnych, o stabilnym składzie fizyko-chemicznym. Wykorzystując takie studnie udaje się uniknąć nie tylko znacznych nakładów finansowych na wykonanie otworu, ale również znacząco ograniczyć czas inwestycji, czyli włączenia studni do eksploatacji.

W latach 80-tych ubiegłego wieku rozpoznanie głębokich horyzontów wodonośnych prowadzono m.in. w rejonie Skierniewic, przy ul. Rawskiej. Odwiercone wówczas studnie miały stanowić źródło wody do zasilania wodociągu miejskiego, jednakże nie udało się ich włączyć do eksploatacji z powodów formalnych (brak prawa własności do działki, na której zlokalizowane są przedmiotowe studnie oraz brak infrastruktury przesyłowej, np. SUW).

### **PROCESY ZACHODZĄCE W NIEEKSPLOATOWANYCH STUDNIACH**

Otwory hydrogeologiczne, zarówno należące do sieci obserwacyjnej, jak i służące do poboru wód podlegają wielu procesom fizycznym i chemicznym wpływającym na ich stan techniczny, a nierzadko na lokalne warunki ujmowanej warstwy wodonośnej, np. w wyniku kolmatacji strefy okołofiltrowej zmieniają się lokalne warunki filtracji (Macuda, Strykowiec, 2017). W praktyce stosuje się pojęcie „starzenia studni”, które określa całość tych zjawisk. Należy zaznaczyć, że również w przypadku studni nieeksploatowanych, zjawiska te także zachodzą, często uniemożliwiając ich uruchomienie i włączenie do eksploatacji. W dużej mierze zależą one od regionalnie wykształconego środowiska hydrogeochemicznego, jak również konstrukcji samej studni, gdzie niebagatelne znaczenie ma wytrzymałość zastosowanych materiałów m.in. na korozję i ciśnienie górotworu.

Największe znaczenie odgrywają procesy korozji, które mogą prowadzić do perforacji rur okładzinowych (umożliwiając mieszanie wód z różnych poziomów wodonośnych, w tym dopływ wód o niepożądanych parametrach fizykochemicznych) lub kolumny filtrowej (skutkując powstaniem znacznego zasypu w otworze studziennym). Oba procesy mogą dyskwalifikować ponowne włączenie studni do eksploatacji. Uszkodzeniu mogą ulegać nie tylko stalowe rury okładzinowe i filtry studzienne, ale również wypełnienia przestrzeni pierścieniowej pomiędzy rurami lub między rurami a górotworem, izolujące poszczególne poziomy wodonośne (Baumann, Tholen, 2001). Istotne znaczenie ma również proces kolmatacji, a w otworach nieużytkowanych, również proces wytrącania związków i substancji mineralnych. Materiał ten może powodować kolmatację zarówno filtrów jak również strefę okołootworową, utrudniając tym samym dopływ wody do otworu.

Ponadto wody podziemne, w zależności od lokalnych warunków, mogą stanowić środowisko o dużej aktywności mikroorganizmów, które zasiedlają elementy konstrukcyjne otworów, zwłaszcza filtr i strefę przyfiltrów tworząc maty mikrobiologiczne lub inne błony biogenne, które ograniczają drożność otworu (Borkowski i in., 2013). W niektórych przypadkach, znaczny rozwój mikroorganizmów w otworach studziennych może też wpływać na zmianę chemizmu wody oraz przyspieszać procesy korozji materiałów konstrukcyjnych (Rao i in., 2000).

---

## METODYKA PROWADZENIA BADAŃ DIAGNOSTYCZNYCH

Z ekonomicznego punktu widzenia, przed przystąpieniem do włączenia nieużytkowanej studni do eksploatacji koniecznym jest wykonanie dokładnej diagnostyki jej stanu technicznego, a w kolejnym etapie ustalenie aktualnej wydajności i sprawności hydraulicznej ujęcia (Macuda, Strykowski, 2016). Pierwszym krokiem jest wykonanie inspekcji telewizyjnej otworu studziennego pozwalającej stwierdzić, m.in.: głębokość rzeczywistą otworu, zgodność wykonania z dokumentacją archiwalną, drożność otworu, czy też wizualnie ocenić stan techniczny rur okładzinowych i filtra. Informacje te są niezbędne do zaplanowania kolejnych działań w otworze, np. wykonania zabiegów instrumentacyjnych w celu usunięcia utraconych przedmiotów uniemożliwiających wykonanie dodatkowych badań diagnostycznych lub ograniczających prześwit otworu. W niektórych przypadkach samo badanie w drodze inspekcji TV może przesądzić o zasadności inwestycji, zwłaszcza w przypadku stwierdzenia występowania zasypu o dużej miąższości lub zaawansowanych wżerów korozyjnych rur okładzinowych. Niemniej jednak, w starych nieeksploatowanych studniach, obecność bogato wykształconych pokryw inkrustacyjnych na ścianach orurowania, często uniemożliwia jednoznaczny diagnostykę otworów wyłącznie na podstawie technik wizualnych. Poza tym ocena stanu technicznego oparta wyłącznie na nich jest dość subiektywna. Konieczne jest zatem rozszerzenie programu badawczego o odpowiednio do tego celu zaadaptowane metody geofizyki otworowej, których celem jest przede wszystkim (Górka, Baumann, 2013):

- ocena ogólnego stanu technicznego orurowania,
- weryfikacja konstrukcji otworu i jej zgodności z projektem,
- ocena stopnia skorodowania / grubości ścianki rur okładzinowych,
- ocena wypełnienia i uszczelnienia przestrzeni pozarurowej,
- ocena wypełnienia przestrzeni pierścieniowej obsypką żwirową,
- wyznaczenie rozkładu dopływów wód do otworu,
- ocena warunków fizykochemicznych,
- analiza strefowej wydajności otworu,
- analiza dopływu wód spoza ujmowanej warstwy wodonośnej,
- ocena piaszczenia studni,
- ocena stopnia kolmatacji filtra i strefy przyfiltrowej,
- ocena szczelności połączeń rur okładzinowych i kolumny filtrowej,
- weryfikacja zgodności profilu geologicznego z dokumentacją powykonawczą.

Ostatnim etapem badań jest przeprowadzenie pompowania pomiarowego (Dąbrowski, Przybyłek, 2005) w celu ustalenia (udokumentowania) aktualnej wydajności i depresji eksploatacyjnej studni, które w ciągu długiego okresu czasu mogły ulec zmianie z uwagi na pogorszenie stanu technicznego otworu, jak również regionalnych zmian zasobów spowodowanych np. recesją.

### Konstrukcja otworów

Ujęcie przy ul. Rawskiej w Skierniewicach składa się z 4. otworów studziennych (I/1, I/2, I/3 oraz I/4) o głębokości ok. 595 m każdy. Według kart studni w każdej z nich, od powierzchni terenu do głębokości kilku metrów, postawiono kolumnę wstępną o średnicy 28", a następnie zainstalowano kolumny przewodnikowe  $\phi$  20" na głębokości od 112,6 do 145,5 m. Techniczne kolumny rur okładzinowych o średnicy 16" postawiono w stropie utworów dolnej kredy, tj. na głębokości od 442 do 444 m i zacementowano w interwale kilkudziesięciu metrów nad butem rur. Kolumny filtrowe o średnicy 9 5/8" zainstalowano w studniach jako tracone, z kilkunastometrową zakładką rur nadfiltrowych w kolumnie rur technicznych  $\phi$  16". W każdej z kolumn filtrowych zabudowano po 2 odcinki filtrów o średnicy 9 5/8", wykonanych z perforowanych rur stalowych i owiniętych blachą z perforacją mostkową. W studni o numerze I/2, w kolumnie filtrowej oprócz w/w wymienionych filtrów zainstalowano dodatkowo odcinek filtra o średnicy

6 5/8". W każdej ze studni przestrzeń pierścieniową pomiędzy kolumną filtrową i ścianą otworu wypełniono obsypką żwirową o granulacji 1,4 – 2,0 mm.

### Wyniki badań diagnostycznych

Rozpoznanie stanu technicznego nieużytkowanych dotychczas studni, zlokalizowanych w Skierniewicach przy ul. Rawskiej, przeprowadzono w kilku etapach. W pierwszej kolejności przeprowadzono wstępną diagnostykę za pomocą kamery TV, której wyniki pozwoliły wykluczyć konieczność wykonania prac instrumentacyjnych w badanych studniach i zaplanować kolejne, bardziej zaawansowane badania geofizyczne. W skład zestawu badań weszły: profilowanie średnicy PŚr), defektoskopia elektromagnetyczna (EMDS), segmentacyjne profilowanie gamma (SGL), profilowanie neutron-neutron (PNN), profilowanie gamma-gamma gęstościowe (PGGg), profilowanie zestawem sond produkcyjnych PL (przepływomierz, temperatura, przewodność, ciśnienie).

### Inspekcja TV

Wykonanie przeglądu za pomocą kamery TV miało na celu sprawdzenie zgodności konstrukcji studni z dokumentacją archiwalną (w przypadku studni nr 4 odtworzono część jej konstrukcji), wizualnego określenie stanu technicznego rur okładzinowych, aktualnej głębokości poszczególnych studni, jak również ocenę drożności otworów (Tabela 1).

Wykonany przegląd studni potwierdził zgodność dokumentacji archiwalnej ze stanem faktycznym. Wizualnie, ściany rur okładzinowych nie wykazywały ognisk korozji, w żadnym z otworów nie zaobserwowano również zaawansowanych wżerów korozyjnych (Rysunek 1.). Połączenia poszczególnych odcinków rur okładzinowych również oceniono jako dobrze zachowane. W każdej z diagnozowanych studni (za wyjątkiem studni nr 1) stwierdzono występowanie zjawiska kolmatacji - w postaci wytrąconego osadu mineralnego (Rysunek 2), który z reguły koncentrował się w przelocie zabudowy kolumny filtrowej. W przypadku, gdy zastosowana była mniejsza średnica filtra, jak w studni nr 2, osad ten znacznie ograniczał drożność otworu.

**Tabela 1.** Zestawienie danych archiwalnych oraz wyników przeprowadzonych w 2013 r. inspekcji telewizyjnej otworów studziennych przy ul. Rawskiej w Skierniewicach

Nr otworu	Wg dokumentacji archiwalnej 1985-1991			Wyniki inspekcji TV 2013r.	
	Głębokość [m ppt]	Zafiltrowanie [m ppt]	Średnica kolumny rur filtr.	Głębokość 2013 r. [m ppt]	Obserwacje
1	425 Pogłębiony do 672	405,5 – (...) Zabudowano dodatkową kolumnę filtrową 401,5 - 650,5	9 5/8" 108mm	402,7	Zasyp lub przeszkoda z nagromadzonym osadem, zalegająca w miejscu zwężenia średnicy
2	600	401,5 – 597,1	9 5/8" 6 5/8"	497,3	Znaczne nagromadzenie wtórnie wytrącającego się osadu mineralnego ograniczające drożność otworu
3	587	402,5 – 587,0	9 5/8"	583	Umiarkowana ilość osadu na rurach, niewielki zasyp
4	Brak dokumentacji archiwalnej, konstrukcja prawdopodobnie analogiczna jak otworu nr 3			583,5	



**Rysunek 1.** Wyniki inspekcji TV – wizualnie dobry stan kolumny rur okładzinowych.



**Rysunek 2.** Wyniki inspekcji TV – proces kolmatacji filtra w nieeksploatowanej studni nr 3.

### Badania geofizyczne

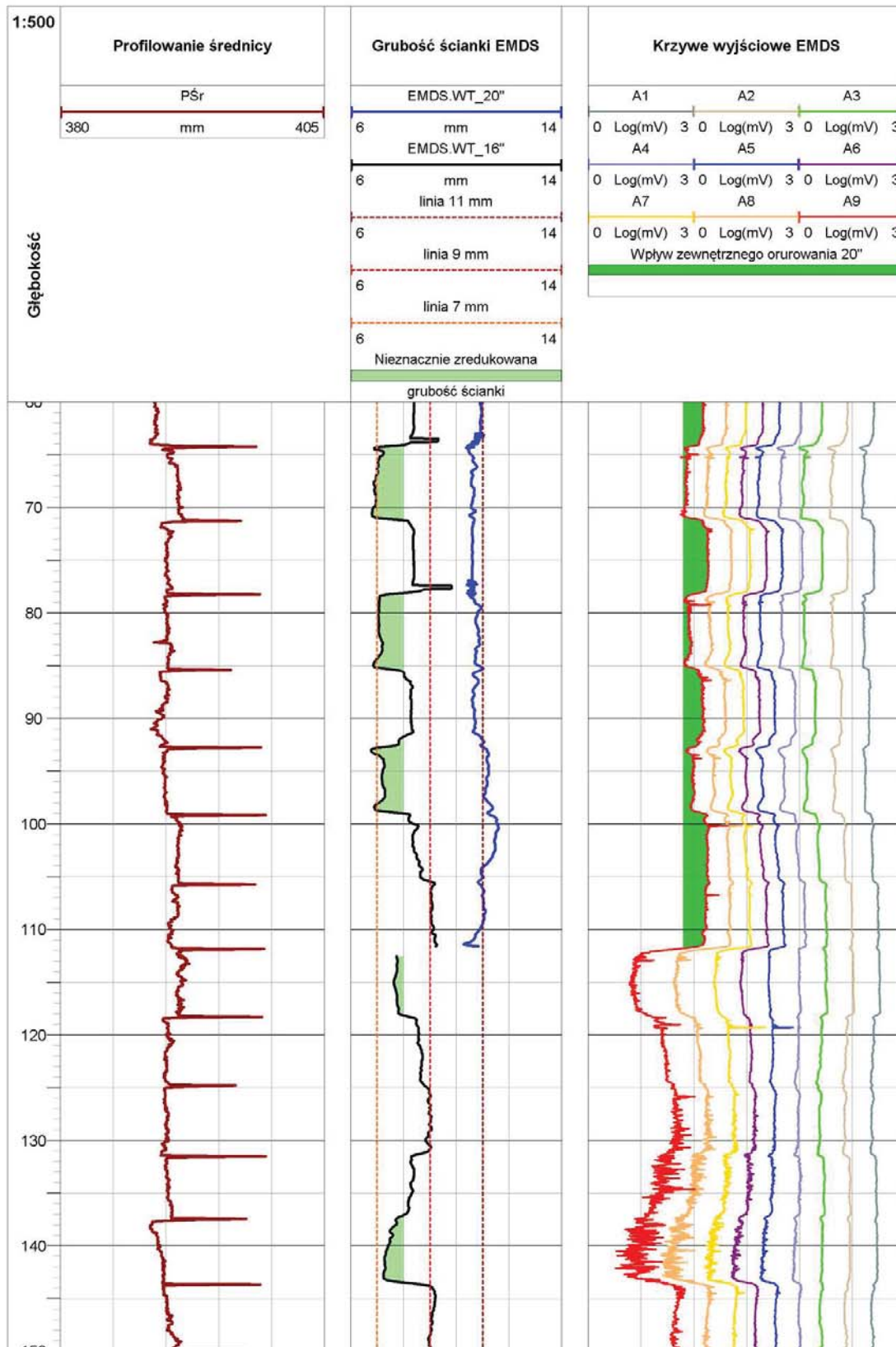
Przeprowadzone w studniach badania geofizyczne miały na celu uzupełnienie wyników inspekcji telewizyjnej w szczególności o ilościowe analizy stanu technicznego kolumny rur osłonowych  $\phi 16''$  i  $20''$ , weryfikację wypełnienia przestrzeni pierścieniowej kamieniem cementowych poza kolumną  $\phi 16''$  oraz wyznaczenie rozkładu dopływów wód do części czynnej filtra. Badania objęły 3 studnie: I/2, I/3 oraz I/4. Szczegółowe analizy pozyskanych danych geofizycznych zawierają przekazane zamawiającemu sprawozdania (Górka, Voss, 2014), natomiast przeprowadzone w studniach badania geofizyczne podsumowano poniżej. Można w następujący sposób:

- Według badań EMDS, we wszystkich analizowanych studniach kolumny rur okładzinowych  $\phi 16''$  nie wykazują znacznych odchyżeń od referencyjnych wartości grubości ścianek (max ok. 2,5 mm). Miejscowe wahania ograniczają się jednak w wielu przypadkach do całych odcinków rur, są zatem uwarunkowane materiałowo, wskazując na pierwotne niewielkie zmiany grubości ścianki już na etapie realizacji prac wiertniczych (rys. 3). Jest to zapewne spowodowane zabudową odcinków kolumn rur okładzinowych o nominalnie różnych grubościach ścianek lub/i dodatkowo tolerancją materiałową dla rur wiertniczych. Względem pomiaru EMDS nie ma jednak dowodów na lokalne uszkodzenia rur  $\phi 16''$ , które uniemożliwiłyby włączenie studni do eksploatacji.
- Według badań SGL, PGGg oraz PNN, we wszystkich analizowanych studniach brak jest wypełnienia przestrzeni pierścieniowej pomiędzy kolumnami rur  $\phi 16$  i  $20''$  do buta kolumny  $\phi 20''$  (a w przypadku otworu I/2 nieco głębiej, do ok. 17 m poniżej buta rur  $\phi 20''$ ). Odczyty PNN wskazują, że do tej głębokości przestrzeń pomiędzy rurami wypełniona jest wodą. Poniżej tego poziomu wartości gęstości stają się bardziej jednorodne a odczyty poszczególnych sond wskazują na to, że przestrzeń wypełniona jest stosunkowo zwarcie materiałem na bazie cementu. Znaczący to, że zaczyn cementowy we wszystkich studniach zatłoczono wyżej niż planowano, przez co kolumna rur  $\phi 16''$  we wszystkich otworach zacementowana jest w dłuższym interwale niż udokumentowano to w kartach otworów. Z przyczyn ekonomicznych nie prowadzono natomiast badań związania cementu do kolumny rur na bazie technik akustycznych. Na podstawie pomiarów SGL brak jest za to wskazań na decentryczne położenie kolumny rur  $\phi 16''$  w obrębie odwiertu, co należy uznać za prawidłowe wykorzystanie przewodników kolumny i centralizatorów.
- Warunki hydrodynamiczne w otworach mogły zostać ocenione jedynie w ograniczonym stopniu, jako że podczas realizacji tej części zadania wszystkie otwory zaczęły zasypać i w efekcie uległy zasypaniu do głębokości odpowiednio: I/2 do 449,9 m, I/3 do 520,0 m, I/4 do 420,7 m. Prędkość formowania się zasypu była badana w otworze I/3 i w jego środkowej strefie filtra wynosiła nawet do 10 m słupa piasku w ciągu 15 min. Zасыpywanie wystąpiło przy niewielkiej wydajności pompowania (max. 42 m<sup>3</sup>/h), co świadczy o znacznym skorodowaniu i uszkodzeniu na filtrach blachy z wytłoczonymi mostkami.

Podsumowując powyższe, we wszystkich studniach stwierdzono, że biorąc pod uwagę stan techniczny kolumny rur okładzinowych  $\phi 16''$  i  $20''$ , jak i wypełnienie przestrzeni pierścieniowej poza kolumną  $\phi 16''$ , badane studnie są w stanie technicznym umożliwiającym pobór wód podziemnych. Jednakże biorąc pod uwagę stan techniczny kolumny filtrowej (w tym formowanie się zasypu), w celu włączenia ich do eksploatacji konieczna jest rekonstrukcja odcinka filtrowego.

### Pompowania pomiarowe

Z uwagi na zasypanie otworów na odcinku filtrowym podczas wstępnych pompowań dla celów geofizycznych, wykonanie kilkustopniowych pompowań diagnostycznych o wyższej wydajności okazało się niemożliwe i bezprzedmiotowe (Rodzoch, 2014). Analizy parametrów hydrogeologicznych studni po części można by przeprowadzić przy wykorzystaniu danych z pompowań przeprowadzonych podczas realizacji badań geofizycznych, niemniej jednak zaznaczyć należy, że pompowania te były stosunkowo krótkotrwałe i o wiele mniejszej wydajności niż oczekiwana przez użytkownika.



**Rysunek 3.** Wyniki badań geofizycznych w studni I/4 – fragment dokumentacji graficznej dla interwału głębokości 60 – 150 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  $\phi$  16", EMDS.WT\_20" – grubość ścianki kolumny  $\phi$  20").

## PODSUMOWANIE PRAC DIAGNOSTYCZNYCH

Zakładany cel przeprowadzonych badań w studniach przy ul. Rawskiej w Skierniewicach został w pełni zrealizowany. Wykonana diagnostyka (inspekcja TV + badania geofizyczne) wykazała, że w obecnym stanie technicznym studnie nie nadają się do eksploatacji, niemniej jednak dobry stan techniczny kolumny rur okładzinowych sprawia, że ich rekonstrukcja polegająca wyłącznie na wymianie filtra jest całkowicie zasadna. Zgodnie ze sprawozdaniem sporządzonym przez nadzór geologiczny (Rodzoch, 2014), koszty w tym przypadku są niewątpliwie niższe niż koszty odwiercenia nowych studni. Bez realizacji badań diagnostycznych poprawna ocena dalszego postępowania byłaby niemożliwa do wykonania. W świetle planów zaopatrzenia miasta Skierniewice w wodę z utworów dolnokredowych wykonane badania diagnostyczne studni I/1, I/2, I/3 oraz I/4 stają się zatem kluczowe dla podejmowania przez władze miasta decyzji co do celowości i możliwości tego typu działań przy wykorzystaniu istniejącej infrastruktury.

## WNIOSKI

Wzrastające regionalnie zapotrzebowanie na wodę miast wymaga przede wszystkim od przedsiębiorstw wodociągowych racjonalnej gospodarki dostępnymi zasobami, jak również prowadzenia strategii zapewnienia rezerwowych ujęć wód na czas ekstremalnych zjawisk, jak np. sezonowe susze.

Nieużytkowane dotychczas otwory studzienne, będące w dobrym stanie technicznym, mogą być dobrym rozwiązaniem dla uzupełnienia niedoborów w dostawach wody. Dla oceny racjonalności włączenia ich do eksploatacji koniecznym jest wykonanie kompletnej diagnostyki studni; począwszy od przeglądu kamerą TV, poprzez szczegółowe badania geofizyczne konstrukcji studni oraz w końcowym etapie określenie parametrów hydrogeologicznych i zaleceń co do jej pracy.

Szczegółowa diagnostyka otworów studziennych pozwala nie tylko racjonalnie zaplanować koszty inwestycyjne w zakresie wykonawstwa nowych, jak i włączenia do eksploatacji istniejących i niewykorzystywanych dotychczas ujęć wód, ale również zakwalifikować studnie w złym stanie technicznym do rekonstrukcji lub likwidacji, tak aby nie stanowiły potencjalnego źródła zanieczyszczenia warstw wodonośnych w obrębie ujęcia.

## Literatura

- Baumgart E., Flizikowski J., 2010, „Nieużytkowane studnie – recyrkulacja zagrożeń”, Inżynieria i aparatura chemiczna, Nr 5, 18-19.
- Baumann K., Tholen M., 2001 – Mängel an Brunnen und Grundwassermessstellen, bbr Wasser, Kanal, Rohrleistungsbau, 1/2001, 24-34, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln
- Borkowski A., Dobrzyński D., Kowalczyk P., Wolicka D., 2013, „ Analiza mikrobiologiczna i molekularna dla zrozumienia zjawisk w porzuconym otworze studziennym.”, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 456, 39-44.
- Dąbrowski S., Przybyłek J., 2005. Metodyka próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych. Ministerstwo Środowiska., Warszawa
- Górka T., Baumann K., 2013. Ocena zagrożeń wód podziemnych na podstawie kontrolnych pomiarów stanu technicznego otworów hydrogeologicznych przy wykorzystaniu metod geofizyki otworowej. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 456, 173-178.
- Górka T., VOSS T., 2014. Sprawozdanie z badań geofizycznych studni głębinowej I/4 w Skierniewicach, niepublikowane
- Macuda J., Strykowiec E., 2016. „The technical and technological aspects of commissioning a new intake wells”, AGH Drilling, Oil, Gas, Vol. 33, No. 3.
- Macuda J., Strykowiec E.: 2017, „Many years' extraction of groundwater in the context of established usable groundwater reserves.”, „AGH Drilling, Oil, Gas” Vol. 34, nr 2 (2017), s. 419-426.
- RAO R.S., SAIRAM T.N., Viswanthan B., NAIR K.V.K., 2000, „Carbon steel corrosion by iron oxidising and sulphate reducing bacteria in freshwater cooling system.”, Corrosion Science, 42, 1417 – 1431.

---

Rodzoch A., 2014. Sprawozdanie z wykonania badań diagnostycznych studni dolnokredowych przy ul. Rawskiej w Skierniewicach, niepublikowane

Strykowiec E., 2013. Opinia stanu technicznego studni nr I/1, I/2, I/3, I/4 zlokalizowanych przy ul. Rawskiej w Skierniewicach, niepublikowane

Dokumentacja archiwalna studni przy ul. Rawskiej w Skierniewicach, niepublikowane