

**Waldemar BICZ, Adam MAREK,
Justyna SOBOLCZYK, Rajmund DURAŁ**

*POLTEGOR-INSTITUT
INSTYTUT GÓRNICWA ODKRYWKOWEGO*

STUDNIA HORYZONTALNA ZE ZBIERACZAMI POZIOMYMI W OTULINIE OBSYPEK FILTRACYJNOSORPCYJNYCH JAKO INNOWACYJNE UJĘCIE WÓD INFILTRACYJNYCH

**HORIZONTAL WELL WITH HORIZONTAL COLLECTORS
COATED WITH FILTRATION-SORPTION GRAVEL PACK AS AN
INNOVATIVE INFILTRATION WATER INTAKE**

The paper presents a novel way of making an infiltration water intake through the use of horizontal drainage. In addition, the drainage was performed from IGO prefilters and specially designed filtration-sorption materials, which included Dolomit Romanowo, mineral hydrocleanit and Mietków sand. The intake in the Nysa Kłodzka catchment, designed and manufactured in this way, allows to obtain high productivity of the well maintaining or improving quality parameters.

The paper presents results of productivity testing of the intake, along with the improvement of physico-chemical and microbiological quality parameters.

The solution allows for improvement in quality parameters of water taken from aquifers, which involves limitation of further treatment in municipal companies.

Municipal water intakes are most often located in the river valleys which results in large changes in water quality by weather fluctuations. Maintaining the required quality of water supplied to recipients is an important task of water companies. Thus, searching for alternative methods of water treatment in order to improve its quality, including public health, is highly desirable.

Construction of drains in the research assumptions aims at enabling extension of the useful life by preventing colmatage.

1. Wprowadzenie

Woda to najważniejszy element naszego świata. Jest niezbędna do życia praktycznie wszystkim znanym żywym organizmom. Dzięki niej powstaje, kształtuje i utrzymuje się życie na ziemi. Jej niedobór lub brak doprowadziłby do globalnej suszy i wymarcia organizmów. Dlatego też tak ważne jest racjonalne wykorzystywanie jej przez człowieka.

Podstawowe znaczenie dla życia człowieka i jego gospodarki mają wody słodkie, które stanowią zaledwie 2,5% i tylko niewielki ich procent ($4,2 \cdot 10^6 \text{ km}^3$) jest dostępny człowiekowi. Aktualne zapotrzebowanie na wodę słodką na świecie wynosi około $4,0 \cdot 10^3 \text{ km}^3/\text{rok}$, przy czym przestrzenne zróżnicowanie skali zapotrzebowania nie pokrywa się z realnym występowaniem zasobów wodnych. W wyniku tego około 20% ludności świata nie ma dziś dostępu do czystej wody i odsetek ten, mimo szeregu działań, stale rośnie [7].

Polska pod względem zasobów wodnych zajmuje przedostatnie miejsce w Europie [5] przy średniej wynoszącej około 61,9 mld m^3/rok [3]. Na osobę przypada w naszym kraju zaledwie 1 580 m^3 wody na rok. Jest to wskaźnik trzy razy mniejszy od średniej europejskiej i 4,5 razy mniejszy od przeciętnej dla świata. Ponadto wskaźnik dostępu do wody w Polsce nie przekracza wartości 1 500 $\text{m}^3/\text{rok}/\text{osobę}$ i uważa się go za bardzo mały [7].

Zagrożenia związane z brakiem dostępu do wody o odpowiedniej ilości i jakości są dziś największe. W celu ich zminimalizowania powstaje szereg innowacyjnych pomysłów i projektów ujmowania, magazynowania i wzbogacania wód do celów komunalnych. Jednym z takich rozwiązań jest nowo wybudowana studnia szeroko dymensyjna ze zbieraczami poziomymi zlokalizowana na terenach wodonośnych w Bardzie.

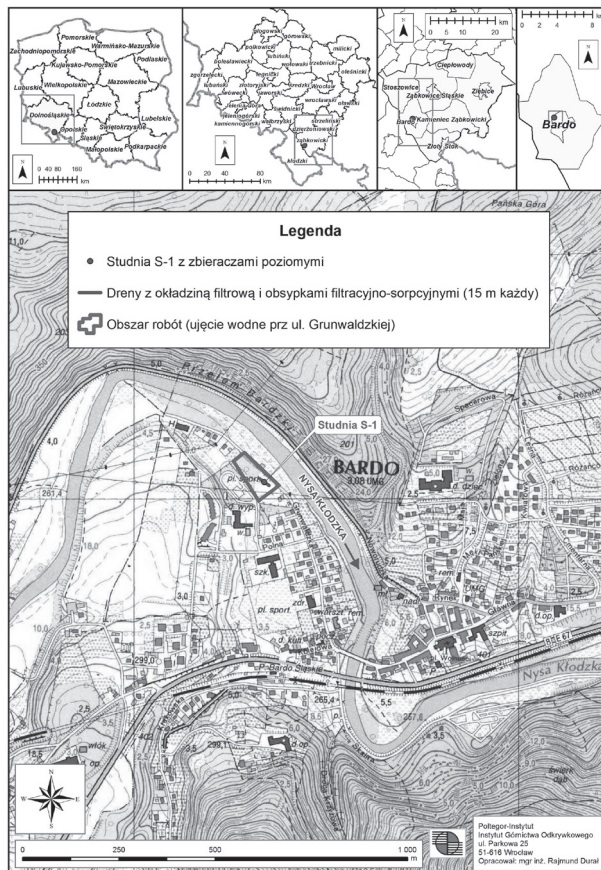
2. Charakterystyka terenu wodonośnego

Przed wybudowaniem nowego ujęcia na terenie Barda (powiat ząbkowski, woj. dolnośląskie) eksploatowane były studnie infiltracyjne wykonane w latach 1955-1967, pobierające wodę pochodzącą z czwartorzędowego poziomu wodonośnego związanego z dolinnymi osadami Nysy Kłodzkiej. Ujęcie składało się z 6 studni z czego tylko z dwóch wydobywano wodę (nr 1 i 6). Pozostałe studnie były zlikwidowane lub wyłączone z użytku ze względu na małą wydajność spowodowaną kolmatacją filtrów. Woda z czynnych studni przesyłana była do zbiornika czerpalnego stacji pomp, a stamtąd po dezynfekcji do sieci miejskiej. Ujęcie to jednak nie było w stanie zaspokoić w pełni potrzeb miejscowości i pobliskich zabudowań, dlatego większość wody dostarczana była rurociągiem „Sudety” z Kamieńca Ząbkowskiego. Z tego powodu powstała koncepcja uniezależnienia miejscowości od dostaw wody z zewnątrz, co ograniczyło koszty związane z przesyłem wody z Kamieńca Ząbkowskiego i zmniejszyło wystąpienie ryzyka niemożności dostawy wody w skutek awarii rurociągu tranzytowego [2].

W pierwszej połowie 2015 roku wykonano przewidzianą do eksploatacji studnię szeroko dymensyjną (S-1) z dwoma zbieraczami poziomymi z zastosowaniem okładziny filtrów do ujmowania wód podziemnych w otulinie sorbentów poprawiających jakość wód ujmowanych w złożu. Ujęcie zostało wykonane i zrealizowane w ramach projektu badawczego NR 09-0036-10/2011, pt. „Technologia biochemicznej remediacji i magazynowania wód powierzchniowych i podziemnych w strukturach hydrogeologicznych dla ujęć komunalnych w dolinach rzek” [4].

3. Lokalizacja i budowa studni

Lokalizację doświadczalnej studni S-1 poprzedzono badaniami geofizycznymi (16 sondowań elektrooporowych SGE), w wyniku których określono miąższości warstwy o najkorzystniejszych parametrach hydrogeologicznych i zmienności litologicznej, a tym samym umożliwiły wybudowanie opisywanej studni wraz z dwoma zbieraczami poziomymi o długości 15 m [2, 4]. Lokalizację studni S-1 przedstawiono na rysunku 1.



Rys 1. Lokalizacja studni demonstracyjnej (studnia S-1) w Bardzie [8]
Fig 1. Location of the demonstration well (the S-1 well) in Bardo [8]

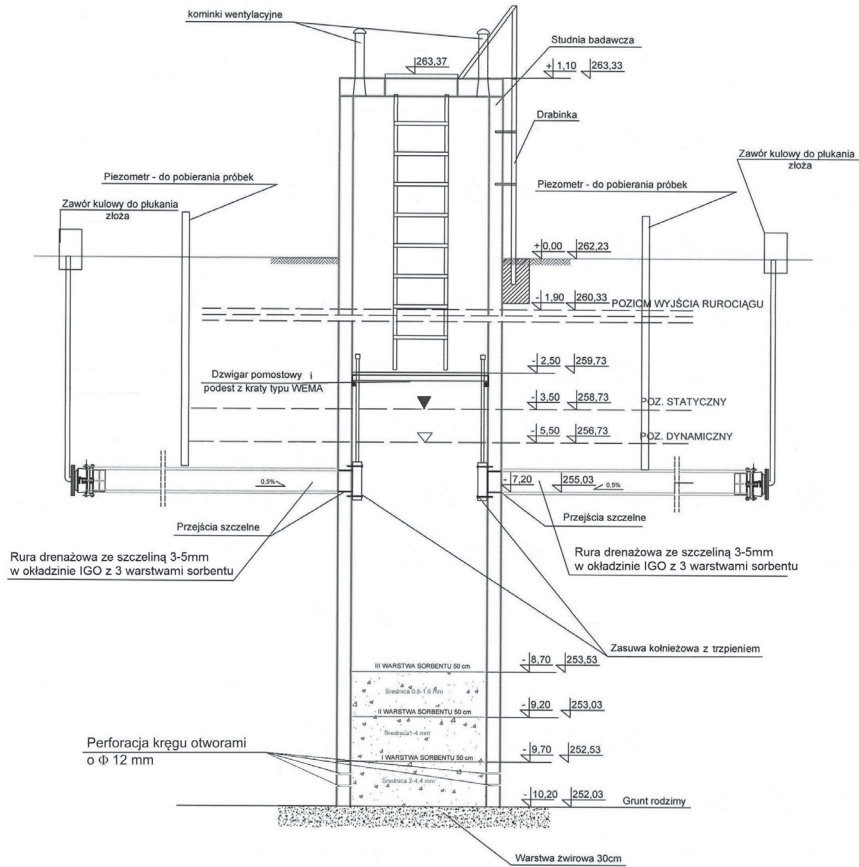
Budowa studni trwała niecałe 2 miesiące, wykonawcą robót budowlanych była firma JATAX spółka z o.o. z siedzibą w Kłodzku. Studnię wykonano metodą odkrywkową. Na głębokości 10,5 m dno wyrobiska zasypało 0,3 m warstwą żwiru o granulacji 5-10 mm, a następnie posadowiono kręgi żelbetonowe o średnicy wewnętrznej/zewnętrznej 1500/1900 mm tworząc kolumnę o długości 11,7 m. Dno projektowanej studni zasypało trzema warstwami sorbentu o miąższości 0,5 m każdy. Pierwszą warstwę od spągu stanowi piasek z Mietkowa, drugą gryz dolomitowy i trzecią hydrocleanit mineralny. Na głębokości około 7-8 m w naturalnej warstwie wodonośnej i poniżej poziomu wody osadzono dwa horyzontalnie drenaże, z których każdy jednym końcem przyłączony jest do studni zbiorczej szerokodymensionalnej, a drugim do przewodu rurowego wyprowadzonego na powierzchnię ziemi. Każda z rur perforowanych o średnicy 225 mm obudowana jest okładziną filtrową wykonaną wg patentu „Poltegor-Institut”. Obydwa drenaże z każdej strony obsypane są trzema warstwami materiału filtracyjno-sorpcyjnego, których granulację i miąższość określa się na podstawie badań lizymetrycznych. Obsypki od osi drenu usypano w następującej kolejności: hydrocleanit mineralny, kruszywo dolomitowe z Romanowa i na warstwie zewnętrznej piasek z Mietkowa [2, 4]. Parametry sorbentów zastosowanych w studni Bardo przedstawiono w tabeli 1.

*Tabela 1. Podstawowe parametry sorbentów [2, 4]
Table 1. Main parameters of sorbents [2, 4]*

Sorbent	Granulacja [mm]	Miąższość warstwy [m]
Hydrocleanit	2,0-4,4	0,3
Dolomit Romanowo	1,0-4,0	0,3
Piasek Mietków	0,5-1,6	0,3

W miejscu podłączenia drenów do szybu studni zamontowano zasuwę kołnierkową umożliwiającą sterowanie wydajnością poszczególnych drenów. Dodatkowo, w celu poboru prób sorbentu oraz wody podczas prac badawczych, wzdłuż każdego drenu zainstalowano trzy piezometry o długości 6,3 m. Piezometry te rozmieszczono w odległości 2,5 m, 7,5 m i 12,5 m od bocznej krawędzi studni szybowej [2, 4]. Uproszczony schemat techniczny studni S-1 przedstawiono na rysunku 2.

STUDNIA PODSTAWOWA Nr S-1 w Bardzie



Rys 2. Schemat techniczny studni S-1 [2]
Fig 2. Technical scheme of the S-1 well [2]



Rys 3. Budowa studni S-1
Fig 3. Building of the S-1 well

4. Proces oczyszczania wody na etapie ujmowania

Sposób polepszenia parametrów jakościowych wód w podziemnych strukturach wodonośnych „in situ” na ujęciu komunalnym S-1 w Bardzie polega na procesie filtracji surowej wody z warstw wodonośnych do umiejscowionych horyzontalnie drenaży. Ujmowana woda przepływa przez poszczególne warstwy sorbentu (piasek z Mietkowa, kruszywo dolomitowe oraz warstwę hydrocleanitu), a następnie filtrowana jest przez okładzinę żwirową i rurą perforowaną trafia do studni zbiorczej.

Podczas przepływu wymywane są drobne mikrocząstki, które osadzają się na strukturze porowatej okładziny żwirowej tworząc membranę fluidalną redukującą zanieczyszczenia mikrobiologiczne w ujmowanej wodzie. Zanieczyszczenia te zredukowane są także na tworzących się na strukturach obsypki sorpcyjno-filtracyjnych i strukturze filtru błonkach biologicznych.

Ujęta w ten sposób woda ma zdecydowanie lepsze parametry jakościowe, a dzięki długim horyzontalnym zbieraczom wybudowana studnia charakteryzuje się wysokimi wskaźnikami ilościowymi w porównaniu do zwykłych ujęć pionowych. Potwierdzają to badania, które opisano w kolejnej części artykułu.

5. Metodyka i wyniki badań jakościowych i ilościowych

5.1 Badania ilościowe ujmowanej wody

Wyznaczenie parametrów hydraulicznych nowo wybudowanej studni S-1 w Bardzie wykonano metodą krótkotrwałych pompowań wielostopniowych bez przerw stabilizacyjnych zwierciadła wody, pomiędzy wzrastającymi wydatkami.

Badania hydrauliczne studni wykonano na początku grudnia 2015 roku przy obu otwartych drenażach. Wyniki badań przedstawiono na rysunkach (rys. 4 oraz 5) oraz tabelach (tab. 2 i 3).

Do pomiarów poziomu wody w studni oraz wydajności ujmowanej wody wykorzystano następujące oprzyrządowanie:

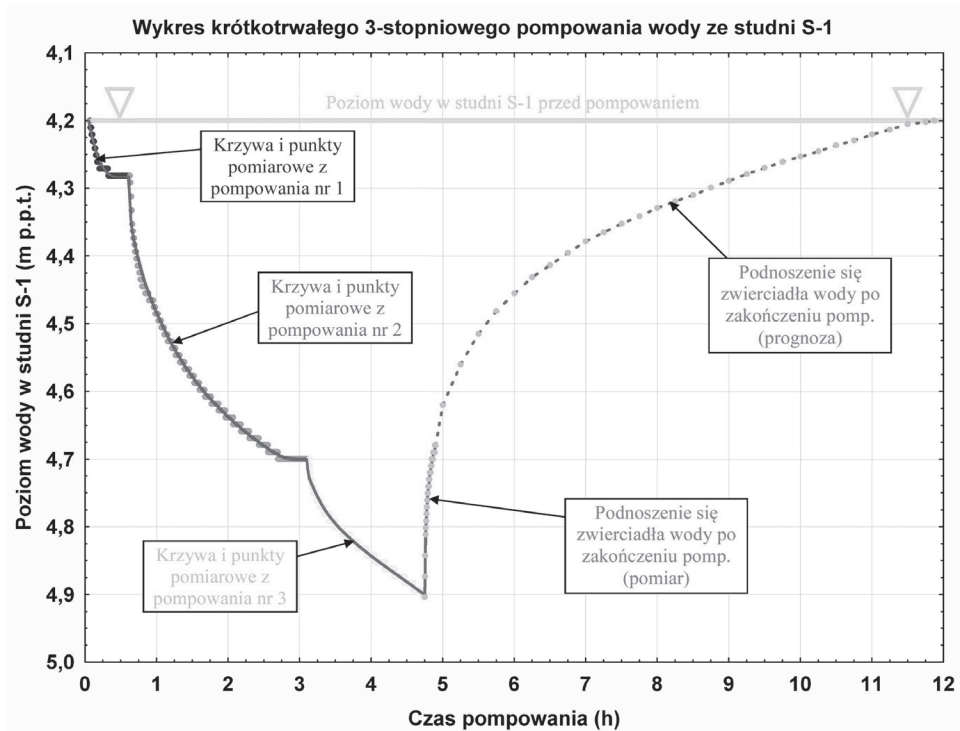
- do pomiaru kontrolnego zwierciadła wody przed i po zakończeniu każdego cyklu wykorzystano sondę akustyczną Bosphera G-10 o dokładności +/- 1 cm;
- do pomiaru zmiany poziomu zwierciadła wody w studni wykorzystano aparaturę do zdalnego monitorowania (bezobsługowa), składającą się z sondy ciśnieniowej WATERPILOT FMX167 oraz rejestratora Ecograph T RSG30 (oba urządzenia firmy Endress+Hauser);
- do pomiaru wydajności pompy wykorzystano podłączony do sieci wodomierz mechaniczny.

Krótkotrwałe pompowanie wielostopniowe podzielono na trzy cykle dynamiczne. Czas trwania jednego cyklu wahał się od 0,6 do 2,5 godziny i był zgodny z założeniami metody Bruina-Hudsona [1]. Wydajność na poszczególnych cyklach pompowania była stała i wynosiła odpowiednio: $Q_1 = 5,43 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_2 = 19,66 \text{ m}^3/\text{h}$ oraz $Q_3 = 26,04 \text{ m}^3/\text{h}$. Połączony poziom zwierciadła wody studni ustabilizowany był na głębokości 4,20 m pod poziomem terenu (5,44 m pod poziomem studni). Temperatura ujmowanej wody wynosiła 12°C zaś otoczenia $5\text{-}7^\circ\text{C}$. Przez pierwszą godzinę pomiarów padał drobny deszcz.

Pierwszy cykl pompowania, dla wydatku Q_1 równego $5,43 \text{ m}^3/\text{h}$, zakończył się po zaledwie 37 minutach. W czasie tym poziom wody w studni opadł o 0,08 m i ustabilizował się na głębokości 4,28 m p.p.t.

Drugi cykl pompowania o wydajności $Q_2 = 19,66 \text{ m}^3/\text{h}$ trwał najdłużej i wyniósł 2,5 godziny. Woda w tym czasie opadła o około 0,42 m i zaczęła stabilizować się na głębokości 4,70 m p.p.t.

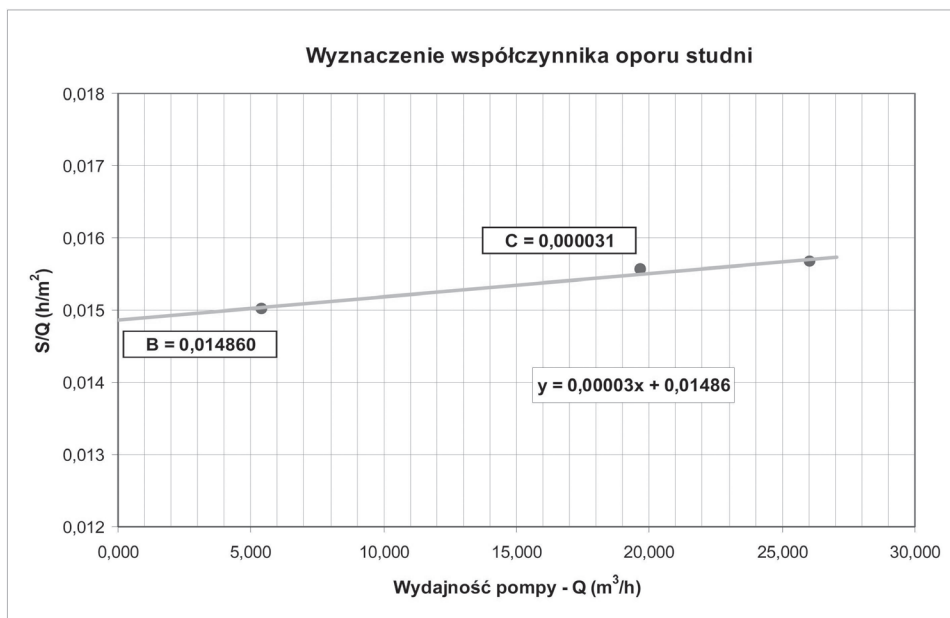
Ostatni cykl pompowania, dla wydatku Q_3 równego $26,04 \text{ m}^3/\text{h}$ został przerwany po upływie około 1,6 godzin (uzyskano liniowy spadek poziomu wody). Poziom wody w tym czasie osiągnął głębokość 4,90 m p.p.t. i obniżył się w porównaniu do poprzedniego cyklu o 0,2 m.



Rys 4. Wykres krótkookresowego i wielostopniowego pompowania w studni S-1

Fig 4. Graph of short-term and two-stage pumping in the S-1 well

W wyniku obliczeń przedstawionych na rysunku 5 i w tabeli 3 otrzymano wartość współczynnika oporu studni C równego $0,000031 \text{ h}^2\text{m}^5$, który potwierdził prawidłowe zaprojektowanie i wykonanie studni zbiorczej szeroko dymensyjnej z drenażami horyzontalnymi [1]. Natomiast uzyskane bardzo małe spadki depresji (tabela 3 i 4) świadczą o wysokiej wydajności zaprojektowanej studni.



Rys 5. Wyznaczenie współczynnika oporu studni („C”) metodą Bruina i Hudsona [1]
 Fig 5. Determination of the coefficient „C” by the Braun’s and Hudson’s method [1]

Tabela 2. Zestawienie danych i obliczeń z poszczególnych cykli pomiarowych
Table 2. Summary of data and calculations from the individual measurement cycles

Cykl pomiarowy	Czas pomiaru [h]	Ilość odnotowanych pomiarów sondy ciśnieniowej [-]	Wydajność pompowania Q_i [m ³ /h]	Początek cyklu pomiarowego				Koniec cyklu pomiarowego				Różnica poziomu zwierciadła wody w danym cyklu ($\Delta H=H_{h,c}-H_{h,p}$) [m]	Depresja (S) [m]		
				Cisnienie hydrostatyczne (P_{hp}) [Pa]	Głębokość zanurzenia sondy ciśnieniowej (H_{hp}) [m p.p.w.]	Poziom zwierciadła wody w studni S-1 (H_{hp}) [m p.p.t.]	Pomiar kontroli zwierciadła wody sondą akustyczną (h_p) [m p.p.s.]	Cisnienie hydrostatyczne (P_{hc}) [Pa]	Głębokość zanurzenia sondy ciśnieniowej (H_{hc}) [m p.p.w.]	Poziom zwierciadła wody w studni S-1 (H_{hc}) [m p.p.t.]	Pomiar kontroli zwierciadła wody sondą akustyczną (h_c) [m p.p.s.]				
I	0,6	67	5,43	0,395	39500	4,028	3,947	4,200	5,440	0,387	38600	4,282	5,525	0,082	0,082
II	2,5	460	19,66	0,387	38600	3,947	3,529	4,282	5,525	0,346	34600	4,700	5,950	0,500	0,500
II	1,6	388	26,04	0,346	34600	3,529	3,325	4,700	5,950	0,326	32600	4,904	6,150	0,704	0,704
Podnoszenie zwierciadła wody (pomiar)	0,2	37	0	0,326	32600	3,325	3,549	4,904	6,150	0,348	34800	4,679	5,919	0,479	0,479
Podnoszenie zwierciadła wody (pregnoza)	~7,0	-	0	0,348	34800	3,549	4,028	4,679	5,919	0,395	39500	4,200	5,440	-0,479	0,000

Tabela 3 Wyniki obliczeń parametrów wydajnościowych studni S-1
Table 3. Results of aquifer parameters of the S-1 well

Cykl pomiarowy	Wydajność pompowania Q_i [m ³ /h]	Zmierzona depresja S_i po czasie 0,6 h z korektą ekstrapolacyjną [m]	S_i/Q_i [h/m ²]	Depresja rzeczywista w warstwie wodonośnej $s_w=B-Q_i$ gdzie $B=0,014860$ h/m ² [m]	Zeskok hydrauliczny $\Delta s=C-Q_i^2$ gdzie $C=0,000031$ h ² /m ⁵ [m]	Depresja całkowita w studni S-1 (wg wzoru Jacoba) $s_c=B-Q-C-Q^2$ [m]	Sprawność studni S-1 η_{s-w/s_c} [-]
I	5,43	0,082	0,01502	0,081	0,001	0,082	0,989
II	19,66	0,306	0,01556	0,292	0,012	0,304	0,961
II	26,04	0,408	0,01567	0,387	0,021	0,408	0,948

5.1 Badania ilościowe ujmowanej wody

Do określenia jakości wód przeprowadzono analizy mikrobiologiczne:

- liczbę bakterii *E. coli*, bakterii z grupy coli oraz bakterii z grupy coli typu fekalnego wykonano wg normy PN-EN ISO 9308-1 (2000);
- liczbę paciorkowców kałowych z rodzaju *Enterococcus* dokonano wg normy PN-EN ISO 7899-2;
- ogólną liczbę mikroorganizmów (OLM) w temperaturach 22°C oraz w 36°C wykonano wg normy PN-EN ISO 6222;
- oznaczenia poszczególnych składników fizyko-chemicznych wykonywane były wg procedur laboratorium akredytowanego NU-2 Laboratorium Badań Chemicznych Wód (AB 281) oraz wg własnych procedur badawczych;
- wszystkie wymienione oznaczenia wykonano dla 2 różnych prędkości filtracji.

Prędkości filtracji dla drenaży o długości $L = 2 \times 15$ m i średnicy wewnętrznej okładziny filtrowej $D = 227$ mm wyniosły odpowiednio:

$$V_f = \frac{Q}{F} \quad \text{gdzie: } F = \pi \cdot D \cdot L = 3,14 \cdot 0,227 \cdot 30 = 21,3 \text{ m}^2$$

$$\text{dla } Q = 10 \text{ m}^3/\text{h} \quad V_f = \frac{10,0}{21,3} = 0,46 \text{ m/h}$$

$$\text{dla } Q = 20 \text{ m}^3/\text{h} \quad V_f = \frac{20,0}{21,3} = 0,93 \text{ m/h}$$

Przy prędkości filtracji V_f równej 0,46 m/h parametry fizyko-chemiczne wody ze studni S-1 wynosiły: pH 9,57, Ca 19,28 mg/l; Mg 39,03 mg/l, Fe 0,02 mg/l, Mn 0,01 mg/l, Co 0,0001 mg/l; Cu 0,0028 mg/l; Cr 0,0005 mg/l, Cd 0,0006 mg/l, Pb 0,006 mg/l, Ni 0,0011 mg/l, fosforany 0,065 mg/l [6].

Parametry mikrobiologiczne były następujące: Bakterie z grupy coli średnia ilość 8 jtk/ 100 ml. Ogólna liczba mikroorganizmów (OLM) w 36 °C wynosiły 6 jtk/ml, OLM w 22°C wynosiła 2,2 x 101 jtk/ ml [6].

Porównywalnie woda z piezometrów zabudowanych w naturalnej warstwie wodonośnej w pobliżu studni miała gorsze parametry mikrobiologiczne: ilość bakterii z grupy coli wynosiła 16 jtk/ 100 ml, występowały bakterie z rodzaju *Enterococcus* w ilości 1 jtk/ 100 ml, bakterie z grupy coli typu fekalnego 1 jtk/ 100 ml. OLM w 36 °C wynosiła 7,0 x 101 jtk/ ml, a OLM w 22 °C 9,25 x 10² jtk/ ml. Co stanowi średnio dwa razy większą wartość niż w przypadku wody ze studni S-1. Analogicznie pogorszone były parametry fizyko-chemiczne, wyższe ilości metali ciężkich i fosforanów: Fe 0,05 mg/l, Mn 0,25 mg/l, Co 0,0003 mg/l; Cu 0,0039 mg/l; Cr 0,0012 mg/l, Cd 0,0008 mg/l, Pb 0,0068 mg/l, Ni 0,0035 mg/l, fosforany 0,109 mg/l, natomiast niższe wartości minerałów: Mg 6,62 mg/l i pH równe 7,01 [6].

W przypadku zastosowania wyższych prędkości filtracji ponad $V_f = 0,93$ m/h odczyn pH obniżył się do poziomu 7,05. Parametry mikrobiologiczne były mniej korzystne niż poprzednio. Ilość Bakterii z grupy coli wynosiła 1,75 x 101 jtk./100 ml, OLM w 36 °C 2,0 x 10² jtk/ml, OLM w 22 °C 1,5 x 101 jtk/ml [6].

6. Podsumowanie

Nowatorski sposób ujmowania wód infiltracyjnych poprzez zastosowanie horyzontalnych drenaży zabudowanych w otulinie obsypek sorpcyjno-filtracyjnych, na przykładzie studni S-1 w Bardzie pozwala w skuteczny sposób polepszyć parametry wydajnościowe i jakościowe ujmowanych wód, co wiąże się z ograniczeniem dalszych zabiegów uzdatniania w zakładach komunalnych.

Dzięki użyciu długich horyzontalnych drenaży uzyskuje się dużą powierzchnię filtracyjną, dzięki której znacznie zwiększa się napływ filtrowanej wody do studni zbiorczej. Przy wydatku Q równym $5,43 \text{ m}^3/\text{h}$ uzyskany spadek poziomu wody w studni S-1 wyniósł około 8 cm, zaś współczynnik oporu studni w badaniu wydajnościowym (pompowanie krótkookresowe 3-stopniowe) osiągnął wartość $0,000031 \text{ h}^2\text{m}^5$. Współczynnik ten spełnia założenia normy PN-G-02318 i jest prawie dziesięć razy mniejszy od wartości dopuszczalnej $C = 0,0003 \text{ h}^2\text{m}^5$ [1]. Dodatkowo konstrukcja drenów w założeniach badawczych ma umożliwić przedłużenie okresu użytkowania ujęcia przez zapobieganie kolmatacji, a zamontowane na końcówce każdego drenu zawory płuczące, mogą służyć do czyszczenia drenaży.

Dzięki zastosowaniu odpowiednio dobranych sorbentów oraz okładziny filtracyjnej produkcji „Poltegor-Instytut” w studni S-1 uzyskuje się zdecydowanie lepsze parametry jakościowe w porównaniu do wody surowej pobranej z klasycznej studni. Tworząca się membrana fluidalna na konstrukcji drenażu i obsypkach skutecznie redukuje zanieczyszczenia mikrobiologiczne, a warstwa sorbentów polepsza parametry chemiczne wody. Dla prędkości filtracyjnej V_f równej $0,46 \text{ m/h}$ redukcja manganu w pobieranej wodzie w stosunku do wody gruntowej wynosiła 96%, a żelaza 60%. Uzyskane dane eksploatacyjne pochodzą z pierwszego okresu funkcjonowania nowej studni w roku 2015.

Przedstawiony sposób ujmowania wód podziemnych może być zastosowany tam, gdzie występują dogodne warunki hydrogeologiczne oraz odpowiedniej wielkości działka umożliwiająca zabudowę długich drenów ujęciowych.

Bibliografia

- 1) Dąbrowski S., Przybyłek J., „Metodyka próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych”, Warszawa 2005
- 2) Grzegorzczak K., Bielecka H., Dębicka K., „Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód podziemnych z utworów czwartorzędowych studnia S-1 w Bardzie”, Wrocław 2015
- 3) Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, „Diagnoza aktualnego stanu gospodarki wodnej”, Załącznik nr 1 do Projektu Polityki wodnej państwa 2030 (z uwzględnieniem etapu 2016), Warszawa 2010
- 4) Praca zbiorowa pracowników AGH w Krakowie pod kierownictwem Szczepańskiej Plewy J., Projekt nr 09-0036-10/2011: „Technologia biochemicznej remediacji i magazynowania wód powierzchniowych w podziemnych strukturach hydrogeologicznych dla ujęć komunalnych wód w dolinach rzek”, Zadanie 6: „Opracowanie modeli symulacyjnych przepływów wód i hydrodynamicznej stabilizacji zwierciadła wód w zlewniach i ich magazynowania w podziemnych strukturach geologicznych”, Kraków 2015
- 5) Poskrobko B., Poskrobko K., Skiba K. „Ochrona biosfery”, PWN, Warszawa 2007
- 6) „Poltegor-Institut”, Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Zgłoszenie patentowe nr P.413417, „Sposób polepszenia parametrów jakościowych wód w podziemnych strukturach wodonośnych in situ na ujęciach komunalnych, ujęcie wody oraz moduł filtracyjny do realizacji tego sposobu”, Warszawa 2015
- 7) Strona internetowa Katedry Hydrologii i Gospodarki Wodnej Uniwersytetu Łódzkiego, <http://hydro.geo.uni.lodz.pl/>, Zakładka „Badania naukowe”, Podpunkt „Zasoby Wodne”, Łódź 2016
- 8) Strona internetowa Geoportalu, <http://www.geoportal.gov.pl/>, mapa rastrowa, stan na koniec marca 2016

Badania wykonano w ramach projektu NR 09-0036-10/2011 współfinansowanego przez NCBiR.