



## PORÓWNANIE EFEKTYWNOŚCI TRZECH SYSTEMÓW ODBIORU WODY PODZIEMNEJ UJĘCIA INFILTRACYJNEGO DLA BYDGOSZCZY POD WZGLĘDEM WYDAJNOŚCI I ENERGOOSZCZĘDNOŚCI ORAZ ANALIZA ICH STARZENIA I DOBÓR ŚRODKÓW ZAPOBIEGAWCZYCH

### COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF THREE GROUNDWATER EXPLOITATION SYSTEMS AT THE INDUCED INFILTRATION WELL FIELD IN BYDGOSZCZ IN TERMS OF CAPACITY AND ENERGY EFFICIENCY, AS WELL AS ANALYSIS OF THEIR AGING AND SELECTION OF PREVENTIVE MEASURES

MARZENA BOROŃ<sup>1</sup>, TOMASZ GÓRKA<sup>2</sup>

**Abstrakt.** Artykuł prezentuje efektywność odbioru wody na ujęciu infiltracyjnym dla Bydgoszczy studniami eksploatowanymi, pompami głębinowymi, lewarami i drenażami zbiorczymi. Opisano przebieg eksploatacji i postęp kolmatacji w zależności od konstrukcji studni z pompami, lewarowych i drenaży zbiorczych. Porównano zużycie energii elektrycznej w tych trzech metodach poboru wody infiltracyjnej. Zasięg kolmatacji rejestrowano inspekcjami TV, pomiarami w pompowaniach strefowych i metodami geofizycznymi. Po 9 latach eksploatacji można stwierdzić, że tak zaprojektowany odbiór wody obniżył koszty eksploatacji w zakresie energii i opłat środowiskowych. Obserwacje procesów kolmatacji na filtrach studziennych i odpowiednio projektowane renowacje pozwalają aktualnie utrzymać wydatek jednostkowy studni na poziomie ok. 100% z okresu budowy.

**Słowa kluczowe:** ujęcie infiltracyjne, studnia, drenaż, kolmatacja, geofizyka otworowa.

**Abstract.** The paper presents the effectiveness of an artificially recharged well field system in Bydgoszcz, consisting of pump and siphon wells plus drains. The course of exploitation and the progress in clogging, depending on the well construction (pump, siphon, or drain wells), is described. Energy consumption for these three water extraction methods are compared. The clogging range was observed by camera inspections, zone pumping tests, and geophysical methods. After nine years of exploitation, it is possible to assume that the designed system saves the energy consumption and environmental charges. Observations of clogging processes and appropriate well rehabilitations enable to maintain nearly 100% of the new well-specific capacity.

**Key words:** induced infiltration well field, well, drainage system, clogging, borehole geophysics – well logging.

### WSTĘP

Rosnące koszty eksploatacji zmuszają do ciągłej optymalizacji metod poboru wód podziemnych. Na terenie projektowanego ujęcia infiltracyjnego dla Bydgoszczy rozważano wstępnie eksploatację wyłącznie studni z pompami głębinowymi. Jednak na podstawie powierzchniowych badań geofi-

zycznych, pomiarów w 6 hydrowęzłach, wierceń pilotowych i badań na układach pilotowych zastosowano, wypracowany przez geologów MWiK (Miejskie Wodociągi i Kanalizacja), mieszany system studni i drenaży. Po 9 latach eksploatacji tego dużego obiektu w zbliżonych warunkach hydrogeologicznych można już dokonać porównania efektywności poszczególnych rozwiązań w zakresie odbioru wody.

<sup>1</sup> Miejskie Wodociągi i Kanalizacja w Bydgoszczy Sp. z o.o., ul. Toruńska 103, 85-817 Bydgoszcz; e-mail: geolog@mwik.bydgoszcz.pl.

<sup>2</sup> Blm – Storkow GmbH Sp. z o.o. Oddział w Polsce, ul. Kożuchowska 30 a, 65-643 Zielona Góra; e-mail: gorka@blm-storkow.de.

## OPIS OBIEKTU

Ujęcie infiltracyjne w Czyżkówku wybudowano na wysokim tarasie rzeki Brdy, zbudowanym z osadów sandrowych o miąższości od kilkunastu do 25 m, podścielonych pstrymi łałami miopliocenu o miąższości ok. 40 m. W stropie pliocenu w centralnej części ujęcia udokumentowano plejstoceniową dolinę kopalną o przebiegu zachód–wschód wypełnioną żwirami i pospólkami do głębokości ok. 25 m. Studnie i drenaże zlokalizowano w barierach północ–południe tj. równoległych do naturalnych hydroizohips plejstoceniowej warstwy wodonośnej. Początkowo poziom wody podziemnej udokumentowano na głębokości ok. 6 m ze spadkiem w kierunku wschodnim, do rzeki Brdy (Boroń i in., 2011) (fig. 1).

Zasadniczą częścią systemu odbioru wody są **studnie z pompami głębinowymi** (typu G), zwłaszcza na barierach L1 (pierwszej) i L8 (ostatniej) zapewniających zatrzymanie wody infiltracyjnej w granicach terenu MWiK. Centralna część ujęcia jest eksploatowana lewarowo, a południowa drenażami zbiorczymi. Studnie G w ilości 106 odwiercono metodą udarowo-okrętną w rurach  $d = 914$  mm w rozstawie co 25,0 m lub  $d = 650$  mm w rozstawie co 12,5 m z kolumną filtrową odpowiednio DN500 lub DN300 ze szczeliną ciągłą typu Johnson ze stali kwasoodpornej. Wiercenia zakończono w łałach pstrych miopliocenu na głębokości ok. 3,5 m, licząc od ich stropu. **Studnie lewarowe (L)** w liczbie 67 odwiercono co 12,5 m metodą udarowo-okrętną w rurach  $d = 650$  mm z zabudowaną kolumną filtrową DN300 z filtrem typu Johnson ze stali kwasoodpornej i mostkowym. Wiercenia studni L zakończono w łałach na głębokości ok. 1,5 m. Miało to na celu umieszczenie pomp i rur ssawnych w rurach podfiltrowych w celu uzyskania większej depresji i zapewnienia nominalnej wydajności całego ujęcia, tj. 75 tys. m<sup>3</sup>/d nawet w sytuacjach kryzysowych skażenia Brdy. Wszystkie studnie mają podwójną obsypkę żwirową z zainstalowanymi w niej piezometrami  $d = 40$  mm dla kontroli i usuwania kolmatacji. **Drenaże poziome** (DN300 PVC osiatkowane o długości łącznie 465,1 m)



Fig. 1. Zdjęcie lotnicze ujęcia – po prawej stronie rzeka Brda (fot. P. Salaciński, 2008 r.)

Aerial photograph of the well field – Brda River to the right (photo by P. Salaciński, 2008)

wykonano tam, gdzie miąższość strefy saturacji nie przekracza 5 m (Boroń i in., 2011). Drenaż został ułożony w wykopie otwartym, szalowanym grodzicami Larsena, a obsypka została ułożona w specjalnej formie na głębokości minimalnie 0,5 m powyżej spągu warstwy wodonośnej (fig. 2).

Sześć drenów w trzech parach, są położone z nachyleniem ok. 1% w kierunku 3 studni zbiorczych. Wszystkie studnie i drenaże zbiorcze stanowią zatem sporą próbę jako porównywalny materiał badawczy do dalszych analiz.

## PRZEBIEG EKSPLOATACJI

Ujęcie pracuje od grudnia 2010 r. W 2017 r. dostarczyło ok. 13 mln m<sup>3</sup> wody. Zużycie energii elektrycznej na wypompowanie 1 m<sup>3</sup> wody ze studni typu L wyniosło ok. 0,09 kWh, drenaży 0,10 kWh, a ze studni typu G ok. 0,15 kWh. Wynika z tego, że mieszany system poboru wody znacznie ogranicza zużycie energii, a zatem koszty eksploatacji ujęcia. Nie notowano strat wody infiltracyjnej – roczna produkcja była równa ilości wody pobranej z rzeki Brdy bez obowiązku opłat za wody podziemne. Kolmatacja studni przebiega najwyraźniej w studniach położonych w zachodniej części ujęcia i w osi doliny kopalnej, gdzie występowały wody podziemne o najwyższej twardości. Instrukcja eksploatacji z 2010 r. zalecała coroczne renowacje wszystkich studni, aby ograniczyć rozwój kolmatacji, jednak na tym etapie eksploatacji rocznie czyszczone jest 60–70 studni (Boroń i in., 2015). Na studniach typu G oraz L stosowano metody: chemiczną, mechaniczną, płukania wysokociśnieniowego, płukania podciśnieniowego w pakierach urządzeniem typu Turbo cleaner oraz czyszczenia elektropneumoimpulsowego (EHD) (Sprawozdanie..., 2015; Macuda, Boroń, 2016). MWiK prowadzi badania nad doborem receptur stosownie do jakości osadu i konstrukcji studni (Boroń, Górka, 2018a). Drenaże, z uwagi na konstrukcję i ograniczony dobór metod, poddano wyłącznie czyszczeniu wodą pod wysokim ciśnieniem.



Fig. 2. Układanie drenażu – widoczna studnia zbiorcza, skrzynka z obsypką drenażu i system odwodnień igłofiltrami (fot. J. Cichočka, 2010 r.)

Construction works on drains – collector well, box with the gravel pack, wellpoint drainage system (photo by J. Cichočka, 2010)

## STOSOWANE METODY OCENY SKUTEKZNOŚCI RENOWACJI

Projektowanie renowacji odbywa się na podstawie analizy literatury tematu (m.in.: Gabryszewski, Wieczysty, 1985; PN-G-02318: 1994; Discroll, 1995; Timmer i in., 2003; Houben, Treskatis, 2007; Mansuy, 2007), obserwacji rozwoju i rozmieszczenia stref kolmatacji rejestrowanych przy pomocy inspekcji własną kamerą, pomiarów depresji podczas pompowań strefowych, obserwacji zeskoku hydraulicznego oraz oczywiście na podstawie efektów uzyskanych metodami geofizycznymi przed i po renowacji z lat poprzednich (Górka, Boroń, 2017). Dobór optymalnych rozpuszczalników stosowanych w renowacjach chemicznych prowadzi się na osadach pobranych z filtra skrobakami w laboratorium Działu Głównego Geologa MWiK (Boroń, Doniecka, 2016; Boroń, Górka, 2018a). Pomiary zeskoku hydraulicznego w rurkach piezometrycznych z ostatnich 2 lat nie wykazują jeszcze różnic, stąd wnioski, że obserwowana depresja jest efektem kolmatacji, jaka rozwija się na kontakcie obsypki i warstwy wodonośnej. Każdą studnię oceniano pod względem zmian współczynnika wydajności jednostkowej ( $q = Q/s$ ) oraz współczynnika  $C$  metodą Waltona wg PN-G-02318: 1994. Wydatek jednostkowy uzyskany po czyszczeniu porównywano do wartości z okresu budowy studni, co stanowiło również podstawę do odbioru prac renowacyjnych od ich wykonawcy. Z uwagi na obserwowany znaczny wpływ zasilania studni wodami z infiltracji, współczynniki  $q$  i  $C$  nie zawsze sprawdzają się jako jedyne parametry odbioru technicznego.

Najciekawsze są jednak efekty badań geofizycznych jakie wykonano łącznie w 27 studniach oraz 6 drenażach poziomych w dwóch etapach (przed i po czyszczeniu filtra). Badania dostarczyły informacje zarówno o stanie studni, jak i dopływach wody podziemnej lub infiltracyjnej (przewodność i temperatura). Składały się z następujących technik profilowania otworowego: średnicy, segmentacyjnego gamma (SGL), neutron-neutron, gamma-gamma, gęstościowego (PGG), przepływomierzem produkcyjnym, przepływomierzem tłocznym (Górka, Triller, 2018; Górka, 2019). Z uwagi na konstrukcję drenaży nie prowadzono w nich badań radiometrycznych i pomiarów z użyciem przepływomierza tłocznego. Wykonano natomiast pomiar ciśnienia hydrostatycznego wzdłuż drenu, co pozwoliło na prześledzenie spadku zwierciadła nad całą jego rozciągłością.

Pompowania strefowe dają informację o cząstkowych wydajnościach i depresjach odcinków filtra mierzonych w standardowych jednostkach. W MWiK stosuje się jednometrowy rozstaw pakerów. Uzupełnieniem tej metody jest pompowanie *flow meter log* przepływomierzem produkcyjnym, gdzie w jednostkach [%] otrzymuje się wartość dopływu z kolejnych odcinków filtra. Stosowane w praktyce hydrogeologicznej wymienione wskaźniki starzenia studni, zostały uzupełnione o dodatkowe parametry, dające informację o prawidłowości ułożenia obsypki (SGL), zachodzących procesach kolmatacji na poszczególnych głębokościach części czynnej kolumny filtrowej (PGG). Jest

to szczególnie przydatne przy strefowej analizie właściwej wydajności jednostkowej filtra. Standardowo podczas realizowanego programu pomiarowego uzyskuje się informacje dotyczące: strefowej przepustowości filtra i obsypki, rozkładu dopływów wód do otworu (ewentualnie braku dopływów z danego odcinka), zailenia lub/i zawartości kolmatanta wytrąceniowego oraz zmienności parametrów petrofizycznych obsypki (takich jak porowatość neutronowa i gęstość objętościowa). Dodatkowo realizowane badania pozwalają na ocenę poprawności umiejscowienia elementów konstrukcyjnych studni (zarówno orurowania, jak i wypełnienia przestrzeni pierścieniowej) oraz weryfikację profilu litologicznego. Ma to zasadnicze znaczenie przy interpretacji stref nieaktywnych hydrodynamicznie, które mogą być spowodowane zarówno kolmatacją studni, wadami konstrukcyjnymi, jak i niepoprawnym rozpoznaniem litologicznym w czasie realizacji wierceń. Idealnym rozwiązaniem jest pozyskanie tych parametrów w czasie odwiertu nowej studni, co eliminuje niejednoznaczności interpretacyjne w badaniach realizowanych po danym okresie eksploatacji (Górka, Baumann, 2013).

## WYNIKI PRZEPROWADZONYCH BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Z badań geofizycznych wykonanych podczas renowacji studni w Bydgoszczy wynikają przedstawione poniżej wnioski (Górka, 2019) (*vide tab. 1*):

- **Płukanie pod wysokim ciśnieniem** przyniosło najlepsze efekty pod względem poprawy parametru przepustowości filtra i zmiany rozkładu dopływów wód do otworu. Jednocześnie należy przy tym podkreślić, że najczęściej obserwowano intensywny wpływ tej metody na obsypkę, co świadczy, że przy niewłaściwie dobranym ciśnieniu, może być techniką dość inwazyjną. **Czyszczenie metodą pneumoimpulsową** w studniach typu L przyniosło kolejne co do wielkości efekty wzrostu przepustowości filtra (jednak nie we wszystkich studniach). Wydaje się, że stosowane renowacje chemiczne (ilość i jakość osadu, rozpuszczalnik, technologia) miały najmniejszy wpływ na zmianę opisywanego parametru. Kwas cytrynowy był dawkomany do filtra i do obsypki, jednak ilość kolmatanta chemicznego mogła być jeszcze niewielka. Metoda czyszczenia **turbocleanerem**, z uwagi na statystycznie małą próbkę do badań w studniach typu L jest niejednoznaczna. Niemniej jednak, podczas badań prowadzonych w studniach typu G, metodę tą można oznaczyć jako **najbardziej efektywną**. Wpływ jednak na to niewątpliwie ma różnica średnic filtrów w obu systemach poboru wody, przez co płukanie wysokociśnieniowe, przy użytym urządzeniu, nie było tak efektywne w filtrach DN500 jak obserwowano to w przypadku DN300.
- W większości studni nie obserwuje się wyraźnych zmian rozkładu dopływu wód do filtra (najwyższy efekt zarejestrowano w studniach czyszczonych wodą pod wysokim

Tabela 1

## Skuteczność renowacji studni L i G na podstawie analizy badań geofizycznych

Well rehabilitation efficiency in water wells L and G, based on geophysical well-logging methods

Numer studni	Rodzaj filtra	Średnica rur [mm]	Zmiana przepustowości filtra	Zmiana rozkładu dopływu wody do filtra	Zmiana wydajności jednostk. [m <sup>3</sup> /h/1mS]	Zmiana porowatości obsypki	Zmiana gęstości objętościowej obsypki	Zmiana zailenia / obecności kolmatanta	Zasyp w rurze podfiltrowej
2L	J	300	3	2	1,6 ↑	↔	↔	↔	10 cm
4L	J	300	3	1	2,3 ↑	↔	↔	↔	↔
7L	J	300	2 (*)	2	0,7 ↑	↔	↔	↔	↔
9L	J	300	2 (*)	1	2,8 ↑	↓	↔	↔	↔
12L	J	300	3	3	3,5 ↓	↔	↔	↔	↔
15L	J	300	4	2	2,9 ↓	↔	↑	↔	↔
17L	J	300	1-2	1	0,7 ↓	↔	↑	↔	10 cm
45L	J	300	5	3	0,9 ↑	↔	↑ (?)	↔	↔
51L	J	300	3	(?)	0,6 ↑	↔	↔	↔	↔
67L	M	300	↔	2	5,6 ↓ (?)	↔	↔	↔	↔
71L	M	300	1	3	3,7 ↑	↔	↔	1	↔
74L	M	300	1 (*)	1	1,2 ↑	↓	↔	↔	↔
79L	M	300	2	2	9,4 ↑	↔	↔	↔	↔
85L	M	300	3	1	2,1 ↓	↔ (?)	↔ (?)	1	↔
92L	M	300	2-3	1	↔	↓	↔	↔	↔
100L	M	300	2	3	5,8 ↓ (?)	↔	↔	↔	↔
42G	J	500	1	3	2,8 ↑	↔	↔	↔	10 cm
74G	J	500	1	3	1,3 ↑	↔	↔	2	+/-
76G	J	500	1	3	↔	↔	↔	3	↔
78G	J	500	1	2	0,7 ↑	↔	↔	2	+/-
80G	J	500	4	2	0,6 ↑	↔	↔	↔	↔
84G	J	500	4	3	1,9 ↓ (?)	↔	↔	3	10 cm
86G	J	500	1	4	3,4 ↓ (?)	↔	↔	2	↔
88G	J	500	1	1	↔	↔	↔	↔	↔
90G	J	500	↔	3	2,0 ↓ (?)	↔	↔	↔	↔
92G	J	500	1	1	1,5 ↓ (?)	↔	↔	?	↔
103G	J	300	5	2	0,3 ↑ (?)	↔	↑	1	↔

	czyszczenie pneumoimpulsami	impulse / airshock rehabilitation
	czyszczenie chemiczne	chemical cleaning
	czyszczenie pod wysokim ciśnieniem	high pressure jetting
	czyszczenie urządzeniem Turbocleaner	jetting with packers (Turbocleaner)
1	nieznaczna	minor
2	mała	small
3	umiarkowana	moderate
4	duża	large
5	bardzo duża	very large
*	częściowa (odcinkowa)	partial
(?)	niejednoznaczna	ambiguous
↔	brak zmian	no change
↑	wzrost	increase
↓	spadek	decrease
J	filtr ze szczeliną ciągłą typu „Johnson“	Johnson screen
M	filtr mostkowy	Bridge slot screen

ciśnieniem i turbocleanerem). W pozostałych przypadkach zmiana była mała lub nieznaczna. Należy jednak podkreślić, że na rozkład dopływów na całym ujęciu główny wpływ może mieć wykształcenie litologiczne (w tym zmiana zawartości frakcji drobnych wzdłuż profilu). Ogólnie można ocenić, że w wielu przypadkach górne partie filtra (przy jego górnej krawędzi) są hydrodynamicznie bardziej aktywne (niezależnie od czyszczenia). Z jednej strony wpływ na to może mieć zasilenie odcinka czynnego spływem wód z poziomów ponad filtrem, z drugiej jest wynikiem bilansowania słabszych dopływów z odcinka dolnego.

- W większości studni nie obserwuje się jednoznacznego pogorszenia parametrów petrofizycznych obsypki (porowatości neutronowej i gęstości objętościowej), które mogłyby całkowicie dyskwalifikować jakąkolwiek ze stosowanych metod. Z analizy wyników wydaje się jednak, że podczas prowadzonego czyszczenia, metody hydromechaniczne miały większy zasięg penetracji. Zależnie od stosowanych ciśnień roboczych i konstrukcji obsypki, jest to efekt pożądany do uzyskania.
- Zwraca się uwagę na fakt, że na skuteczność obranej metody znaczny wpływ ma **konstrukcja** filtra. Warto zauważyć, że metody hydromechaniczne lepszy efekt przyniosły w konstrukcjach filtra ze szczeliną ciągłą, natomiast chemiczne bardziej sprawdziły się w filtrach mostkowych. Turbocleanerem czyszczono jeden rodzaj filtrów, stąd brak jeszcze materiału porównawczego dla tej metody.
- W pomiarach wewnętrznej średnicy otworu nie obserwuje się jeszcze twardych osadów i inkrustacji z wytrąceniami chemicznymi, które znacząco mogłyby ograniczać przepływ filtra. Nie obserwuje się zatem zmian mierzonego parametru przed i po czyszczeniu. Powyższe jest jednak materiałem do porównań z wynikami realizowanej każdorazowo w otworze inspekcji telewizyjnej kiedy osady są na bieżąco usuwane.
- W żadnej ze studni typu L nie obserwuje się znaczących zmian zailenia (lub/i zawartości kolmatanta wytrąceniowego), obserwowanego lokalnie w badaniach studni typu G. Przepuszczalność może być to uwarunkowane jego mniejszą koncentracją w obrębie obsypki lub górotworu w przypadku studni typu L, przez co efekt nie mógł zostać zaobserwowany. Studnie typu G sprawiają przy tym wrażenie szybszego starzenia się, poprzez koncentrację kolmatanta w strefie przyfiltrowej.
- Rury podfiltrów niemal we wszystkich studniach po renowacji zostały oczyszczone z drobnych zasypów (lokalnie do maks. 10 cm jej wysokości).

Na podstawie badań geofizycznych zrealizowanych w **6 drenach poziomych** ocenia się, że dopływ wód podziemnych do drenów w przeważającej mierze jest bardzo równomierny, jedynie miejscowo zaznaczają się odcinki hydrodynamicznie mniej aktywne. Rozkład dopływów przy tym w większości drenów bliski jest linii idealnie równomiernego dopływu (tj. przypadkowi, w którym dren pra-

kuje jednorodnie na całej swojej rozciągłości). Na podstawie profilowania gamma ocenia się przy tym, że w obrębie bezpośredniego otoczenia drenów (5 na 6 przypadków), na znacznym ich odcinku, gromadzić się może duża ilość materiału drobnoziarnistego. Może to być główną przyczyną spadku wydajności ciągów drenaży w przyszłości. W zapisie inspekcji TV, na podstawie realizowanej renowacji wodą **pod wysokim ciśnieniem**, obserwuje się jednoznaczny efekt prowadzonego czyszczenia, niemniej nie przekłada się to na znaczny spadek frakcji drobnych w pomiarach porównawczych. Pomimo że paradoksalnie na chwilę obecną nie obserwuje się znacznego ich wpływu na rozkład dopływów wód do drenu, to wydaje się, że warto jest rozważyć rozszerzenie pakietu metod regeneracyjnych w drenach i/lub stosowanie zabiegów łączonych. Wśród nich powinny znaleźć się takie, które umożliwią pozbycie się frakcji drobnych z obsypki i dalszego otoczenia drenu. W miarę możliwości technicznych, zasadnym byłoby stosowanie metod hydrodynamicznych, umożliwiających przepływ wód lub środka regeneracyjnego do obsypki i przez nią. Niestety konstrukcja drenu (tj. szczelinowa z siatką filtracyjną) oraz konieczność poziomego przemieszczania urządzeń, bardzo ograniczają zarówno dobór metod regeneracyjnych, jak i ich skuteczność. Zależnie od zastosowanego rozmiaru siatki, wyżej opisywane frakcje mogą się okazać w całości lub częściowo niemożliwe do usunięcia (Górka, Triller, 2018).

## WNIOSKI

1. Dotychczasowa eksploatacja ujęcia infiltracyjnego dla Bydgoszczy przebiega zgodnie z projektem. Na podstawie spadku twardości wody infiltracyjnej można stwierdzić, że w pierwszym roku dokonano prawie całkowitej wymiany naturalnej wody podziemnej na wody infiltracyjne. Jednak okres rozruchu przy początkowo 100% udziale naturalnych wód podziemnych rozpoczął kolmatację filtrów. Względem wody rzecznej obserwuje się korzystne efekty technologiczne – tj. wyeliminowanie skutków zakwitów okrzemek i sinic, spadek innych zanieczyszczeń organicznych i mikrobiologicznych, stabilizację temperatury itp. Kilkakrotnie przetestowano scenariusz z wyłączeniem poboru wody z Brdy na kilka tygodni. Kontrola poziomu wody w piezometrach i pracy pomp umożliwia wyeliminowanie strat wody odpływającej poza teren sztucznej infiltracji.
2. Systematycznie prowadzone pomiary w studniach, badania osadu studziennego i renowacje pozwalają na chwilę obecną na utrzymanie sprawności studni ( $q$ ) na poziomie ok. 100% tej z okresu budowy, jednak oczywiście stopniowo będzie ona spadać. Corocznie ogłaszane przetargi ze specyfikacjami na renowacje są przygotowywane w MWiK na bazie doświadczeń z poprzednich lat, tak aby wypracować optymalny sposób czyszczenia studni. Metody renowacji należy jednak

zawsze dobrać do aktualnego stanu technicznego każdej studni.

3. Z obserwacji na ujęciu wynika, że generalnie kolmatacja studni jest **wprost proporcjonalna do ilości wypompowanej wody i jej składu fizykochemicznego**. Renowacje należy projektować więc **cyklicznie, analogicznie do płukania odżelaziaczy** na stacjach uzdatniania. Pompowania w pakierach i badania geofizyczne pokazują, że najbardziej zakolmatowane strefy występują w **górnej części filtrów**, niezależnie od umiejscowienia pompy w rurze nad lub podfiltrowej oraz litologii. Sposób eksploatacji ma też wpływ na rozwój kolmatacji – słabiej starzeją się studnie lewarowe, gdzie wahania poziomu wody są mniejsze, a powietrze ingeruje najpłycej. Minimalne zjawiska kolmatacji zanotowano w drenażach poziomych, gdzie rozkład dopływów w większości przypadków jest bardzo równomierny, ale zaskakująca jest zawartość frakcji drobnych w bezpośrednim otoczeniu drenu (5/6 przypadków), którą wstępnie interpretuje się jako kolmatację mechaniczną.
4. Każdy sposób eksploatacji wód podziemnych ma specyficzne uwarunkowania; drenaż okazał się prosty w eksploatacji, jednak jego budowa była dużym wyzwaniem, a usunięcie awarii na odcinku pomiędzy studniami re wizyjnymi może okazać się trudne (wykopy, szalowanie, odwodnienia itp.). Znacznie prostszym sposobem eksploatacji są studnie lewarowe, które łatwo czyścić lub wymienić, jednak awaria na studni zbiorczej wyłącza całą grupę studni typu L (ok. 20 szt.). Eksploatacja pompami głębinowymi pozwala precyzyjnie kształtować depresję, jest najmniej awaryjna, jednak koszty energii są tu najwyższe.
5. Na podstawie wyników badań geofizycznych stwierdza się, że aktualnie najlepsze efekty renowacji studni uzyskuje się **metodą płukania wysokociśnieniowego**. Należy jednak podkreślić, że sprawdza się ona głównie w otworach studziennych z filtrem ze szczeliną ciągłą typu Johnson. Ponadto jej skuteczność bezpośrednio powiązana jest z tym, że wydaje się ona być metodą najbardziej inwazyjną, co jest efektem pożądanym jedynie przy odpowiednim doborze ciśnień. W konstrukcjach studziennych z filtrem mostkowym również dobre, lub nawet nieznacznie lepsze rezultaty uzyskać można metodami **impulsowymi** i/lub urządzeniami wielokomorowymi do płukania ciśnieniowego w pakierach. Te ostatnie potwierdziły swoją skuteczność podczas realizacji badań na barierze 8. Metody chemiczne lub łączone powinno się stosować głównie w przypadku znacznej zawartości kolmatanta chemicznego na ścianach filtra, potwierdzonej inspekcją TV. W przypadku regularnie prowadzonych renowacji, po 9 latach eksploatacji studni infiltracyjnych na terenie ujęcia dla miasta Bydgoszczy, metody mechaniczne wydają się aktualnie spełniać swoje zadanie.

## LITERATURA

- BOROŃ M., DONIECKA D., 2016 – Badania nad doborem odczynnika do renowacji chemicznych studni na przykładzie ujęcia infiltracyjnego w Bydgoszczy. *W: Aktualne rozwiązania ujmowania i eksploatacji wód podziemnych* (red. G. Malina): 107–112. PZITS, Częstochowa.
- BOROŃ M., GÓRKA T., 2018a – Wpływ odczynników chemicznych stosowanych do renowacji chemicznych studni na własności studniarskiej siatki filtracyjnej wykonanej z poliamidu (PA). *W: Bezpieczeństwo zbiorowego zaopatrzenia w wodę na terenach objętych antropopresją* (red. G. Malina): 93–101. PZITS, Częstochowa.
- BOROŃ M., GÓRKA T., 2018b – Zmiany własności mechanicznych siatki studniarskiej wykonanej z poliamidu (PA) w czasie eksploatacji studni wodociągowych i renowacji chemicznych. *Technologia Wody*, 5: 34–41.
- BOROŃ M., CHOMICKI I., GÓRSKI J., SOZAŃSKI M., 2011 – Technologiczne, hydrogeologiczne i techniczne podstawy projektu i budowy ujęcia infiltracyjnego i SUW „Czyżkówko” w Bydgoszczy. *Technologia Wody*, 3, 11: 35–45.
- BOROŃ M., BRODZIAK R., BYLKA H., SOZAŃSKI M., 2015 – Koncepcja metodyczna sterowania eksploatacją infiltracyjnych ujęć wody. *Ochrona Środowiska*, 37, 3: 29–33.
- DISCROLL F.G., 1995 – Groundwater and wells. US Filter Johnson Screens, Minnesota, USA.
- GABRYSZEWSKI T., WIECZYSTY A., 1985 – Ujęcia wód podziemnych. Arkady, Warszawa.
- GÓRKA T., 2019 – Podsumowanie wyników interpretacji badań geofizycznych wykonanych w studniach 2L, 4L, 7L, 9L, 12L, 15L, 45L, 51L, 67L, 71L, 74L, 79L, 85L, 92L, 100L, 103G. Archiwum Działu Głównego Geologa MWiK Bydgoszcz.
- GÓRKA T., BAUMANN K., 2013 – Ocena zagrożeń wód podziemnych na podstawie kontrolnych pomiarów stanu technicznego otworów hydrogeologicznych przy wykorzystaniu metod geofizyki otworowej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 456: 173–178.
- GÓRKA T., BOROŃ M., 2017 – Renowacja studni wodociągowych w świetle badań geofizycznych. *Wodociągi i Kanalizacja*, 11, 165: 35–38.
- GÓRKA T., TRILLER F., 2018 – Wyniki interpretacji badań geofizycznych w studni zbiorczej Sd6 na ujęciu wód podziemnych „Czyżkówko” w Bydgoszczy. Archiwum Działu Głównego Geologa MWiK Bydgoszcz.
- Houben G., Treskatis C., 2007 – Water well, rehabilitation and reconstruction. McGraw Hill, Nowy Jork.
- MACUDA J., BOROŃ M., 2016 – Przegląd wybranych metod mechanicznych renowacji studni. *W: Aktualne rozwiązania ujmowania i eksploatacji wód podziemnych* (red. G. Malina): 113–121. PZITS, Częstochowa.
- MANSUY N., 2007 – Treatment approach to reduce well maintenance costs ULTRAPURE WATER®.
- PN-G-02318: 1994 – Studnie wiercone. Zasady projektowania, wykonania i odbioru. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- SPRAWOZDANIE z renowacji studni na terenie infiltracji w Bydgoszczy, Radical, Zielonka, 2015 – Archiwum Działu Głównego Geologa MWiK, Bydgoszcz.
- TIMMER H., VERDEL J., JONGMANS A., 2003 – Well clogging by particles in Dutch well fields. American Water Works Association Denver CO., USA.

## SUMMARY

Increasing operating costs force continuous optimization of groundwater exploitation methods. At the induced infiltration well field "Czyżkówko" in Bydgoszcz, three different systems (pump wells, siphon wells and horizontal drainage wells) have been implemented. After nine years of exploitation, the designed system proved to be very energy-efficient and environmentally friendly. However, the observed wells' ageing (usually due to clogging) is a significant factor that cannot be neglected. In order to keep all three systems in good working condition, regular well rehabilitations are undertaken. Four different methods have been tested over the past few years: airshock, chemical cleaning, jetting and so-called Turbocleaner, which is the variation of underpressure

jetting in packers. The efficiency of each method has been compared by pumping tests, camera inspections, and geophysical well-logging methods. The latter proved to be very useful especially in terms of the zonal evaluation of screen capacity and water inflow rate. This enabled the selection of the most efficient rehabilitation method for the well field, which at the time being proved to be jetting in Johnson screens. However, as far as the bridge slot screens are concerned, the airshock and Turbocleaner demonstrate the equal effectiveness. The very important factor is the casing diameter though. Observations show that appropriately and timely designed well rehabilitations enable to maintain the original well-specific discharge of most of analysed wells.

