

Andrzej Jodłowski, Wanda Piąstka

Badania stanu technicznego wybranych studni głębinowych wodociągu „Dąbrowa” w Łodzi

Podstawowym warunkiem zapewnienia ciągłości zasilania w wodę systemów wodociągowych, jak również warunkiem prawidłowego, uzasadnionego pod względem technicznym i ekonomicznym, planowania niezbędnych prac remontowo-modernizacyjnych jest m.in. analiza informacji dotyczących sprawności ujęć wody. Istotną rolę odgrywa także możliwość prognozowania potencjalnych awarii tych ujęć. Ocena stanu technicznego oraz analiza niezawodności działania ujęć wody podziemnej stały się ostatnio bardzo istotnym problemem łódzkich wodociągów (ZWiK sp. z o.o. w Łodzi). W 2004 r. zaniechano poboru wody z Zalewu Sulejowskiego, a łódzka sieć wodociągowa jest obecnie zasilana głównie przez zespół ujęć wód podziemnych zlokalizowanych na terenie miasta i jego okolic. Zespół ten obejmuje ponad 60 studni wierconych, które budowano w różnym czasie z wykorzystaniem różnych technologii. Woda jest ujmowana z różnych warstw wodonośnych, a ujęcia charakteryzują się zróżnicowaną głębokością. Zakres zagadnień technicznych związanych z eksploatacją ujęć jest bardzo szeroki i charakteryzuje się dużym stopniem złożoności.

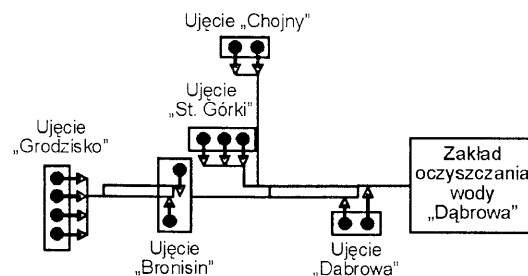
W pierwszej kolejności poddano ocenie stan techniczny ujęcia wodociągu „Dąbrowa”, największego i najstarszego wodociągu w systemie zaopatrzenia Łodzi w wodę. W jego skład wchodzi 13 studni głębinowych, które obecnie, w normalnych warunkach zasilania, dostarczają 35÷40% ogólnej ilości wody wprowadzanej do sieci wodociągowej. Obecne wydobycie kształtuje się na poziomie ok. 80% zdolności produkcyjnej eksploatowanych ujęć. Zaobserwowano, że zdolność produkcyjna systemu od początku bieżącego stulecia zaczęła wyraźnie maleć, przyczyny czego należy upatrywać głównie w zmniejszeniu wydajności eksploatacyjnej niektórych studni. W ostatnim czasie rozpoczęto proces długofalowego kompleksowego diagnozowania stanu technicznego użytkowanych studni z wykorzystaniem współczesnych technik monitoringu i wizualizacji [1].

W pracy przedstawiono analizę wyników badań związanych z oceną stanu technicznego ośmiu wybranych dolnokredowych studni głębinowych wodociągu „Dąbrowa” oraz ocenę możliwości zmniejszenia liczby ich postojów. Przeprowadzone badania dotyczą najstarszych studni filtrowych, których eksploatacja wiąże się z wieloma problemami obejmującymi m.in. kolmatację, piaszczenie, zmniejszenie wydajności eksploatacyjnej

i zmianę jakości wody. Analizie poddano także obserwacje dotyczące liczby, przyczyn i czasu postoju studni.

Charakterystyka studni głębinowych

Przy pomocy studni głębinowych wodociągu „Dąbrowa” dokonuje się poboru wody z trzech warstw wodonośnych Niecki Łódzkiej, tj. z czwartorzędowej oraz górnej i dolnej kredy. Woda w warstwie czwartorzędowej występuje w utworach piaszczystych i charakteryzuje się swobodnym zwierciadłem. Woda w warstwie górnokredowej występuje w partiach wapieni szczelinowatych, zaś w dolnokredowej wypełnia utwory piaszczyste i piaskowcowe. Wody górno- i dolnokredowe mają cechy wód artezyjskich bez samowypływu [2–5]. Schemat technologiczny ujęć wodociągu „Dąbrowa” przedstawiono na rysunku 1, a ich podstawowe dane techniczne zamieszczono w tabeli 1.



Rys. 1. Schemat wodociągu „Dąbrowa”
Fig. 1. Flow diagram of the Dąbrowa Waterworks

Zróżnicowanie konstrukcji i wydajności studni eksploatowanych w systemie wodociągu „Dąbrowa” wiąże się ze specyfiką profili geologicznych i przyjętą pierwotnie technologią budowy. Najstarsze studnie pochodzą z lat trzydziestych ubiegłego stulecia, najmłodsze mają nieco ponad 10 lat. Najpłytsze studnie, o głębokości ok. 130 m, ujmują wody czwartorzędowe. Studnie o głębokości ok. 250 m (bezfiltrowe) ujmują wody górnokredowe. Najgłębsze studnie, o głębokości do 900 m, czerpią wodę z utworów dolnej kredy. Średnica poszczególnych studni jest zróżnicowana i osiąga maksymalną wartość nominalną 600 mm. Wydajność eksploatacyjna waha się w granicach 50÷340 m³/h. Ujmowana woda charakteryzuje się zwiększoną zawartością związków żelaza i manganu. Największe stężenia tych domieszek obserwuje się w wodzie ze studni czwartorzędowych. Woda ujęta przez studnie wodociągu „Dąbrowa” jest tłoczona pompami głębinowymi i transportowana systemem rurociągów przesyłowych do stacji oczyszczania wody, gdzie jest poddawana odżelazianiu i odmanganianiu. Napowietrzanie wody przebiega w zamkniętych komorach reakcji, a filtracja w filtrach ciśnieniowych.

Dr hab. inż. A. Jodłowski, prof. nadzw.: Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Katedra Wodociągów i Kanalizacji, al. Politechniki 6, 90-924 Łódź
andrzej.jodlowski@p.lodz.pl

Mgr inż. W. Piąstka: Zakład Wodociągów i Kanalizacji sp. z o.o. w Łodzi, ul. Wierzbowa 52, 90-133 Łódź
wpiastka@zwik.lodz.pl

Tabela 1. Podstawowe dane techniczne studni głębinowych wodociągu „Dąbrowa”
Table 1. Basic technical data for the deep wells of Dąbrowa Waterworks

| Warstwa wodonośna | Liczba studni | Głębokość studni m | Czas eksploatacji lata | Wydajność eksploatacyjna m ³ /h | Średnica filtru materiał | Średnica kolumny eksploatacyjnej materiał |
|-------------------|---------------|--------------------|------------------------|--|--|---|
| Czwartorzęd | 3 | 113÷126 | 15÷38 | 50÷200 | 11 ³ / ₄ ÷14" stal węglowa, PVC | 18÷20" stal węglowa, PVC |
| Górna kreda | 4 | 240÷250 | 15÷55 | 200÷340 | 14÷20" otwór bosy | 14÷24" stal węglowa |
| Dolna kreda | 6 | 491÷900 | 7÷70 | 100÷270 | 11 ³ / ₄ ÷16" stal węglowa, stal nierdzewna, PVC | 16÷24" stal węglowa |

Wodociąg „Dąbrowa” był eksploatowany do połowy lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia z wydajnością zbliżoną do zdolności produkcyjnej ujęć wody i zatwierdzonych zasobów. Przyczynami przerw w pracy poszczególnych studni były wyłącznie sytuacje awaryjne i ograniczenia określone w pozwoleniach wodnoprawnych. Obecnie nie wszystkie studnie pracują jednocześnie, a liczba pracujących studni jest związana z ilością ujmowanej wody uzależnioną od jej poboru, jak również od bieżących uwarunkowań eksploatacyjnych, np. robót konserwacyjno-remontowych.

W ostatnim dziesięcioleciu ubiegłego stulecia, w okresie pracy wodociągu „Dąbrowa” z pełną zdolnością produkcyjną, przeprowadzono szereg prac modernizacyjnych. Ich celem było usprawnienie i unowocześnienie układów technologicznych i elektrycznych wszystkich studni. W ramach tego przedsięwzięcia dokonano wymiany agregatów pompowych instalując zespoły nowej generacji wyposażone w energooszczędne silniki o znacznie przedłużonym czasie pracy pomiędzy remontami, wynoszącym powyżej 20 tys. godz. Wymieniono także stare, skorodowane, rury pompowe na nowe zabezpieczone powłoką antykorozyjną, a zużytą armaturę zastąpiono nowoczesną. Kompleksowo zmodernizowano rozdzielnie zasilająco-sterownicze, wprowadzając m.in. programowalne sterowniki.

Zakres i metodyka badań

Badaniom stanu technicznego poddano osiem studni spośród trzynastu eksploatowanych w systemie wodociągu „Dąbrowa”. Analizie poddano trzy grupy informacji wyjściowych:

- rejestrowane parametry pracy studni (wydajność, poziom lustra wody), które porównano z najstarszymi zapisami zawartymi w dokumentacjach hydrogeologicznych i danymi z okresu początkowej eksploatacji obiektów,

- wartości wybranych wskaźników jakości ujmowanej wody (tj. wskaźników istotnych z punktu widzenia skuteczności oczyszczania wody i potencjalnego wpływu na sprawność konstrukcji studni, a w szczególności filtru i rur osłonowych), które porównano z zapisami zamieszczonymi w dokumentacji hydrogeologicznej (dane pierwotne), jak również średniorocznymi wartościami pochodzącymi z badań przeprowadzonych w ciągu ostatnich lat [4,5],

- wyniki inspekcji telewizyjnych studni przeprowadzonych z użyciem nowoczesnego sprzętu, które skonfrontowano z profilami geologicznymi powstałymi podczas prowadzenia prac wiertniczych.

Za punkt wyjścia do oceny możliwości zminimalizowania liczby postojów najstarszych studni dolnokredowych przyjęto analizę częstości i przyczyn wyłączeń studni głębinowych. W ocenie wykorzystano dane zebrane podczas ośmioletniego okresu obserwacji, obejmującego lata 2000–2007, tzn. po przeprowadzeniu prac modernizacyjnych w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia.

Omówienie wyników badań

Stan techniczny konstrukcji studni i zmiany warunków hydrogeologicznych ujęcia

Na podstawie informacji literaturowych [3,6,7], jak również dotychczasowych doświadczeń eksploatacyjnych ZWiK sp. z o.o. w Łodzi można stwierdzić, że wydajność jednostkowa studni filtrowych systematycznie maleje w miarę ich starzenia się. Jest to zwykle skutkiem zmniejszenia sprawności filtru związanego z jego sukcesywną kolmatacją chemiczną. Na powierzchni i w szczelinach filtrów studziennych następuje wytrącanie osadów składających się ze związków żelaza i manganu oraz węglanu wapnia. Przyczyną tego zjawiska jest najczęściej wzrost stężenia domieszek w ujmowanej wodzie (związków żelaza i manganu), co z kolei jest konsekwencją kolmatacji warstwy wodonośnej w strefie przyotworowej studni. Okazało się, że opisowi takiej sytuacji odpowiadają jedynie studnie czwartorzędowe i jedna dolnokredowa (nr 1z).

Wyniki badań studni najstarszych, dolnokredowych, nie potwierdzają tych zjawisk. Ilość dopływającej do nich wody uległa zwiększeniu, przy obserwowanym jednocześnie niekorzystnym zjawisku piaszczenia. Parametry pracy rozpatrywanych studzien ilustrujące te zmiany zamieszczono w tabeli 2. Można stwierdzić, że w ostatnim czasie uległy zasadniczej zmianie zarówno depresja, jak i jednostkowa wydajność eksploatacyjna niemal we wszystkich studniach. Wydajność jednostkowa najdłużej eksploatowanych studni dolnokredowych uległa znacznemu zwiększeniu, czemu towarzyszyło zmniejszenie depresji. Wyjątkiem była studnia nr 1 ujęcia „Dąbrowa”. Należy zwrócić uwagę, że wszystkie te studnie mają ograniczoną wydajność eksploatacyjną z powodu piaszczenia. Wydajność jednostkowa studni dolnokredowej nr 1z ujęcia „Dąbrowa”, stosunkowo krótko eksploatowanej i zlokalizowanej w niewielkiej odległości od studni nr 1, uległa znacznemu zmniejszeniu przy zwiększonej depresji. Istotne zmniejszenie wydajności jednostkowej, przy jednoczesnym zwiększeniu depresji, zaobserwowano także we wszystkich studniach czwartorzędowych.

Tabela 2. Parametry pracy wybranych studni głębinowych wodociągu „Dąbrowa”
Table 2. Operating parameters of the deep wells chosen of Dabrowa Waterworks

| Studnia | | Rok budowy | Parametry początkowe | | | Obecne parametry eksploatacyjne | | |
|-------------------|-------------|--------------|-----------------------------|-------------|---|---------------------------------|------------|--|
| | | | Wydajność m ³ /h | Depresja m | Wydajność jednostkowa m ³ /h·m | Wydajność m ³ /h | Depresja m | Wydajność jednostkowa m ³ /h·m (zmiana) |
| „Dąbrowa” nr 1 | dolna kreda | 1940 | 256 (1966) | 27,5 (1966) | 9,3 (1966) | 250 | 27 | 9,3 (bez zmian) |
| „Dąbrowa” nr 1z | | 1990 (1998*) | 101 (1998) | 28,0 (1998) | 3,6 (1998) | 100 | 55 | 1,8 (spadek) |
| „St. Górki” nr 2 | | 1937 (2006*) | 233 (1938) | 29,2 (1938) | 8,0 (1938) | 220 | 18 | 12,2 (wzrost) |
| „Chojny” nr 3 | | 1937 | 290 (1966) | 28,3 (1966) | 10,2 (1966) | 270 | 17 | 15,9 (wzrost) |
| „Grodzisko” nr 5 | | 1953 | 91 (1955) | 85,5 (1955) | 1,1 (1955) | 200 | 34 | 5,9 (wzrost) |
| „Grodzisko” nr 5b | czwartorzęd | 1988 | 87 | 4,4 | 19,7 | 60 | 25 | 2,4 (spadek) |
| „Grodzisko” nr 5c | | 1970 (1992*) | 130 (1992) | 13,9 (1992) | 9,4 (1992) | 130 | 35 | 3,71 (spadek) |
| „Grodzisko” nr 5d | | 1993 | 220 | 14,7 | 21,8 | 200 | 22 | 9,1 (spadek) |

*Rok rekonstrukcji studni

Tabela 3. Wskaźniki jakości wody w wybranych studniach głębinowych wodociągu „Dąbrowa”
Table 3. Water quality factors for the deep wells chosen of Dabrowa Waterworks

| Studnia | Rok badań | Zapach | Żelazo ogólne gFe/m ³ | Mangan gMn/m ³ | Chlorki gCl/m ³ | Azot amonowy gNH ₃ /m ³ | Siarczany gSO ₄ ²⁻ /m ³ |
|---------|-----------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------|---|--|
| Nr 1 | 1949/1952 | akcept. | 1,00 | 0,10 | 2,5 | 0,06 | 6,00 |
| | 2002 | H ₂ S lub akcept. | 0,97 | 0,03 | 1,8 | 0,04 | 8,20 |
| | 2007 | H ₂ S lub akcept. | 1,08 | 0,06 | 5,8 | 0,06 | 11,83 |
| Nr 1z | 1998* | akcept. | 0,95 | 0,07 | 7,0 | 0 | 14,40 |
| | 2002 | H ₂ S lub akcept. | 1,77 | 0,03 | 1,9 | 0,05 | 4,22 |
| | 2007 | H ₂ S lub akcept. | 2,16 | 0,06 | 1,9 | 0,05 | 9,30 |
| Nr 2 | 1948/1952 | akcept. | 1,60 | śl. | śl. | 0,14l | – |
| | 2002 | H ₂ S lub akcept. | 1,20 | 0,07 | 3,0 | 0,07 | 5,10 |
| | 2007 | H ₂ S | 1,23 | 0,11 | 1,8 | 0,11 | 3,45 |
| Nr 3 | 1947/1951 | akcept. | 1,60 | śl. | 3,0 | 0,08 | śl. |
| | 2002 | H ₂ S lub akcept. | 1,50 | 0,09 | 3,8 | 0,07 | 4,40 |
| | 2007* | H ₂ S | 1,50 | 0,10 | 2,3 | 0,13 | 5,72 |
| Nr 5 | 1958/1962 | akcept. | 1,00 | 0,01 | 6,2 | 0,02 | śl. |
| | 2002 | H ₂ S | 1,03 | 0,12 | 2,9 | 0,15 | 2,70 |
| | 2007 | H ₂ S | 1,12 | 0,10 | 1,3 | 0,18 | 4,51 |
| Nr 5b | 1988 | akcept. | 1,20 | 0,20 | 12,0 | 0,10 | 70,00 |
| | 2002 | H ₂ S lub akcept. | 1,57 | 0,17 | 6,0 | 0,40 | 22,77 |
| | 2007 | H ₂ S lub akcept. | 1,59 | 0,19 | 5,2 | 0,47 | 17,44 |
| Nr 5c | 1992 | akcept. | 1,60 | 0,16 | 15,0 | 0,18 | 116,00 |
| | 2002 | akcept. | 2,08 | 0,22 | 9,1 | 0,40 | 47,40 |
| | 2007 | akcept. | 2,24 | 0,30 | 9,6 | 0,44 | 53,34 |
| Nr 5d | 1993 | akcept. | 2,00 | 0,15 | 12,0 | 0,09 | 92,00 |
| | 2002 | akcept. | 1,90 | 0,21 | 9,8 | 0,40 | 40,02 |
| | 2007 | H ₂ S lub akcept. | 2,06 | 0,26 | 9,8 | 0,49 | 62,81 |

*Rok rekonstrukcji studni

Z kolei analiza zmian podstawowych wskaźników jakości wody pozwoliła stwierdzić, że w wodzie pochodzącej niemal ze wszystkich rozpatrywanych studni, istotnej zmianie uległ zapach wody. W tabeli 3 zestawiono wartości podstawowych wskaźników jakości wody. W początkowej fazie eksploatacji zapach wody był akceptowalny. Ostatnio zarejestrowano zapach siarkowodoru. W przypadku studni czwartorzędowych oraz większości dolnokredowych odnotowuje się sukcesywny wzrost zawartości związków żelaza. Zmianie uległa także zawartość manganu. Dotyczy to w szczególności studni czwartorzędowych nr 5c i 5d (tab. 2).

Pozostałe analizowane wskaźniki jakościowe, takie jak chlorki, azot amonowy i siarczany w wodzie ujmowanej przez wszystkie rozpatrywane studnie nie wykazywały istotnych zmian, a ich wartości były zgodne z obowiązującymi wymaganiami dotyczącymi jakości wody przeznaczonej do spożycia [13]. Na podstawie omówionych wyników badań nie można było jednak jednoznacznie określić stanu technicznego studni będących przedmiotem analizy, w tym przyczyny zmiany ich wydajności jednostkowej, jak również zmian w jakości ujmowanej wody, zwłaszcza w odniesieniu do jej zapachu.

Sformułowanie prawidłowej odpowiedzi na pytanie dotyczące przyczyn tych zmian oraz prawidłową ocenę stanu technicznego analizowanych otworów studziennych umożliwiły dopiero bardzo szczegółowe inspekcje telewizyjne. Wyniki inspekcji telewizyjnych w formie opisowej przedstawiono w tabeli 4. Niestety, nie przeprowadzono inspekcji w pełnym zakresie (tj. na całkowitej głębokości studni) w odniesieniu do wszystkich studni z uwagi na przeszkody zalegające w niektórych studniach dolnokredowych. W przypadku najstarszych studni przeprowadzono kompleksową inspekcję telewizyjną (80% głębokości) w zasadzie tylko w przypadku studni nr 3 (ujęcie „Chojny”) oraz studni nr 1 (ujęcie „Dąbrowa”). Należy jednak wziąć pod uwagę, że wszystkie stare studnie dolnokredowe mają podobną budowę (konstrukcję i profil geologiczny) oraz zbliżony czas eksploatacji (60+70 lat).

Analiza uzyskanych obrazów inspekcji telewizyjnej oraz profili geologicznych pozwoliła stwierdzić, że stan techniczny konstrukcji najstarszych studni dolnokredowych jest bardzo zły. Studnie te w strefie górnej i dolnej kredy miały silnie skorodowane rury osłonowe i filtry. Stwierdzono, że szczeliny filtrów były całkowicie zablokowane, zaś sam filtr był częściowo pozbawiony obsypki żwirowej, wyniesionej wraz

Tabela 4. Wyniki inspekcji telewizyjnych studni głębinowych wodociągu „Dąbrowa”
Table 4. Results of video inspection for the deep wells chosen of Dabrowa Waterworks

| Studnia (wiek) | Wynik inspekcji |
|----------------------------|---|
| „Dąbrowa” nr 1 (68 lat) | Ocenę stanu technicznego wykonano tylko w zakresie ok. 80% jej głębokości z uwagi na zalegającą przeszkodę w postaci urwanych głazów z wodonośca zalegających na krawędzi rury filtrowej. Stan rur osłonowych zły, liczne ogniska korozji wraz z perforacją rur i dziurami, co jest przyczyną jednoczesnego dopływu wody do studni z poziomu górnej kredy. W miejscach powstałych perforacji widoczna warstwa wodonośna, a w niej zalegające piryty, które są przyczyną powstałej korozji rur (agresywna woda). Oceny stanu technicznego filtru nie dokonano z uwagi na zalegające na krawędzi rury nadfiltrowej głazy piaskowca pochodzące z górotworu, które wpadły do otworu studziennego przez uszkodzenia rur osłonowych. Obecny stan techniczny zagraża dalszej jej eksploatacji. Studnia wymaga pilnej rekonstrukcji. Może być eksploatowana wyłącznie pod szczególnym nadzorem, z wydajnością eksploatacyjną ograniczoną o ok. 15%. |
| „Dąbrowa” nr 1z (18 lat) | Stan rur osłonowych dobry, nieliczne ogniska korozji rur (bez perforacji). Stan filtru bardzo dobry (topiony, ze stali nierdzewnej, typu Johnson, szkieletowy ze szczelinami), część czynna filtru w niewielkiej części nosi ślady kolmatacji, otwory filtru są drożne. |
| „Grodzisko” nr 5 (55 lat) | Ocenę stanu technicznego wykonano tylko w zakresie ok. 40% jej głębokości z uwagi na zalegającą przeszkodę w postaci utopionego platu gumy, który prawdopodobnie wpadł do otworu studziennego w początkowym okresie jej eksploatacji. Stan monitorowanych rur osłonowych dobry, nieliczne ogniska korozji rur (bez perforacji). Oceny filtru z powodów jw. nie dokonano. Zalecane wykonanie pompowania sprawdzającego (z zastosowaniem skrzyni przelewowej) w celu oceny piaszczenia studni. Podjęcie w przyszłości próby instrumentacji studni – usunięcie zalegającej przeszkody. |
| „St. Górki” nr 2 (71 lat) | Ocenę stanu technicznego wykonano tylko w zakresie ok. 30% jej głębokości z uwagi na zalegającą przeszkodę w postaci stalowego płaskownika, który wpadł do otworu studziennego prawdopodobnie w początkowym okresie jego eksploatacji. Stan monitorowanych rur osłonowych dobry, miejscowe ogniska korozji rur, bez perforacji (w 2006 r. na głębokości ok. 100 m zlikwidowano nieszczelność rur i przyczynę piaszczenia studni). Oceny filtru z powodów jw. nie dokonano. Zalecane podjęcie w przyszłości próby instrumentacji studni w celu usunięcia zalegającej przeszkody. |
| „Chojny” nr 3 (71 lat) | Stan rur osłonowych zły, liczne ogniska korozji, na głębokości ok. 108 m i 156 m otwory, powodujące dopływ wody z poziomu górnej kredy. Stan filtru bardzo zły – całkowicie zarośnięte szczeliny, korozja rury filtrowej wraz z perforacją, widoczny w dziurach brak obsypki żwirowej filtru, w rurze podfiltrowej zalega kilkunastometrowy słup piasku. Zalecane wykonanie pompowania sprawdzającego (z wykorzystaniem skrzyni przelewowej) do oceny piaszczenia studni i powtórzenie inspekcji telewizyjnej po roku jej eksploatacji. Docelowo konieczna rekonstrukcja studni (zastępczy odwiert). |
| „Grodzisko” nr 5b (20 lat) | Stan rur osłonowych dobry, nieliczne ogniska korozji rur (bez perforacji). Stan filtru (topiony, ze stalowej rury perforowanej, z siatką filtracyjną) zadowalający, w niewielkiej części nosi ślady kolmatacji, w większości otwory filtru są drożne, w dolnej części filtru uszkodzenie, które powstało prawdopodobnie w czasie budowy studni – nie zagraża dalszej eksploatacji. Zalecane wykonanie pompowania sprawdzającego (na skrzynię przelewową) do oceny piaszczenia studni i powtórzenie inspekcji telewizyjnej po roku eksploatacji. |
| „Grodzisko” nr 5c (38 lat) | Stan rur osłonowych zadowalający, nieliczne ogniska korozji rur, bez perforacji. Stan filtru (topiony, ze stalowej rury perforowanej, z siatką filtracyjną) zły, część czynna filtru w znacznej części jest zakolmatowana (ciemne osady związków manganu – większość otworów filtru jest niedrożna – stan ten może w przyszłości zagrażać dalszej eksploatacji). Zalecane wykonanie pompowania sprawdzającego (na skrzynię przelewową) do oceny spadku wydajności jednostkowej studni i oceny piaszczenia studni, wskazane powtórzenie inspekcji telewizyjnej po roku eksploatacji. |
| „Grodzisko” nr 5d (15 lat) | Stan rur osłonowych dobry. Stan filtru (kolumnowy z PVC, szczelinowy) zadowalający, część czynna nie nosi śladów kolmatacji, w dolnej części filtru uszkodzenie, które powstało prawdopodobnie w czasie budowy studni – nie zagraża dalszej eksploatacji. Zalecane powtórzenie inspekcji telewizyjnej po roku eksploatacji. |

z ujmowaną wodą. Najprawdopodobniej blokowanie szczelin spowodował materiał pochodzący z urobku wydobywanego podczas nieprawidłowo prowadzonych prac wierniczych. Zaobserwowano wyraźną perforację materiału konstrukcyjnego studni. Stwierdzono, że woda dopływała do otworów studziennych w zasadzie tylko przez otwory powstałej perforacji, tj. zarówno z poziomu górnej, jak i dolnej kredy. Zaobserwowano także, że w czasie postoju studni następował intensywny przepływ wody przez powstałe nieszczelności z poziomu górnej kredy do poziomu dolnej kredy w wyniku różnicy ciśnień hydrostatycznych. Mieszanie się wód dolnokredowych z górnokredowymi, charakteryzujących się zróżnicowaną jakością, zakłóca równowagę chemiczną w ujmowanej wodzie, czego wynikiem jest zespół reakcji chemicznych związanych m.in. z procesami korozji rur konstrukcyjnych studni, a także zmianą zapachu wydobywanej wody. Siarkowódór w ujmowanej wodzie pochodzi najprawdopodobniej z pirytów zalegających w strefie górnej kredy.

Przeprowadzone badania dowiodły, że stan techniczny studni dolnokredowej nr 1z ujęcia „Dąbrowa” jest bardzo dobry. Zmniejszenie wydajności jednostkowej oraz zmianę jakości ujmowanej wody (obecność zwiększonych ilości żelaza i siarkowodoru) można tłumaczyć bliskim sąsiedztwem studni nr 1. Eksploatacja studni nr 1z spowodowała zmianę dotychczasowego kierunku przepływu wody w strefie przyotworowej studni nr 1 i wypłukiwanie związków żelaza z częściowo już zakolmatowanej warstwy wodonośnej. Wobec tego można przypuszczać, że woda ujmowana ze studni nr 1z jest zasilana wodami poziomu górnej kredy w wyniku nieszczelności studni nr 1. Stwierdzono także, że stan techniczny filtra najstarszej studni czwartorzędowej nr 5c jest bardzo zły. Filtr jest w znacznym stopniu niedrożny z powodu blokowania

przez wytrącone osady związków żelaza i manganu. Stan techniczny pozostałych studni jest zadowalający. Zmniejszenie wydajności jednostkowej i zmiana jakości wody (zwiększona zawartość związków żelaza) został spowodowany głównie postępującą kolmatacją warstwy wodonośnej w strefie przyotworowej studni.

Przyczyny postojów i awaryjność studni

Dane dotyczące przyczyn postojów studni, jak również czasu ich trwania zebrano analizując istniejące zapisy eksploatacyjne ZWiK ujęte w raportach pracy ujęć wody i całego systemu wodociągu „Dąbrowa”, jak również w paszportach pracy urządzeń zainstalowanych w poszczególnych obiektach [4]. W analizie przyczyn postojów i awaryjności studni wzięto pod uwagę następujące rodzaje zdarzeń:

- uszkodzenie konstrukcji studzien (uszkodzenie/kolmatacja filtru, perforacja rury obsadowej w wyniku korozji, uszkodzenie miejsca połączenia rur obsadowych – rozszczelnienie),

- uszkodzenie układu pompowego studni (uszkodzenie agregatu pompowego, uszkodzenie/perforacja kolumny rur pompowych, uszkodzenie kabla zasilającego agregat pompowy, uszkodzenie osprzętu elektrycznego (np. przełącznika „el-cluwo”, przetworników ciśnień, sondy głębokości, styczników, urządzenia „softstartu” itp., uszkodzenie rurociągu tłocznego studni),

- postoje technologiczne (dyspozycje związane z ograniczeniem produkcji wodociągu „Dąbrowa”, awarie tłocznych rurociągów przesyłowych, awarie w stacji oczyszczania wody, remont zbiorników wyrównawczych, awarie w pompowni, wynikające z modernizacji zakładu),

Tabela 5. Zestawienie przyczyn postoju wybranych studni głębinowych wodociągu „Dąbrowa” w latach 2002–2007
Table 5. Causes underlying the discontinuities in the operation of the deep wells chosen, observed in the time span of 2002–2007

| Przyczyna postoju studni | Liczba postojów studni | | | | | | | |
|--|------------------------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | nr 1 | nr 1z | nr 2 | nr 3 | nr 5 | nr 5b | nr 5c | nr 5d |
| Uszkodzenie konstrukcji studni | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Uszkodzenie układu pompowego studni, w tym: | 8 | 5 | 6 | 8 | 10 | 29 | 25 | 16 |
| uszkodzenie agregatu pompowego (wymiana pompy) | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 6 | 2 | 1 |
| uszkodzenie kolumny rur pompowych (nieszczelność) | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| uszkodzenie armatury wewnątrz obudowy studni | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| uszkodzenie osprzętu elektrycznego n.n. | 3 | 2 | 4 | 5 | 5 | 20 | 19 | 11 |
| uszkodzenie rurociągu tłocznego studni | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 |
| Postój technologiczny, w tym: | 105 | 118 | 15 | 24 | 62 | 57 | 64 | 74 |
| dyspozycja wynikająca z ograniczeń produkcji | 93 | 108 | 7 | 11 | 35 | 37 | 39 | 50 |
| awaria magistral tłocznych DN350-DN750 | 4 | 4 | 3 | 6 | 21 | 14 | 17 | 15 |
| awaria w zakładzie oczyszczania wody | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| postój technologiczny (modernizacja zakł. oczyszcz.) | 6 | 5 | 4 | 6 | 5 | 5 | 7 | 8 |
| Postój wynikający z przerw w zasilaniu energetycznym, w tym: | 37 | 74 | 74 | 96 | 84 | 73 | 81 | 76 |
| awaria na liniach odbiorczych 15kV | 2 | 2 | 4 | 7 | 11 | 9 | 9 | 10 |
| awaria w stacjach trafo | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| wyładowanie atmosferyczne | 1 | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| zanik napięcia (ŁZE SA) | 33 | 41 | 66 | 86 | 70 | 63 | 69 | 63 |
| Postój planowany, w tym: | 14 | 12 | 8 | 8 | 30 | 32 | 33 | 29 |
| konserwacja urządzeń technologicznych | 7 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| konserwacja urządzeń elektrycznych | 7 | 7 | 8 | 4 | 8 | 9 | 10 | 6 |
| konserwacja urządzeń SN | 0 | 2 | 0 | 3 | 19 | 20 | 20 | 21 |
| Razem | 164 | 209 | 100 | 136 | 186 | 191 | 203 | 195 |

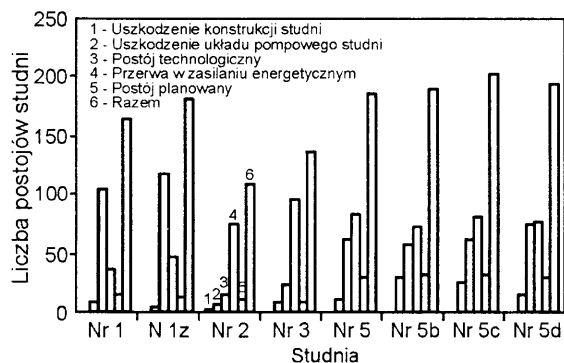
Tabela 6. Czas postoju wybranych studni wodociągu „Dąbrowa” w latach 2000–2007
 Table 6. Duration of discontinuities in the operation of the deep wells chosen, observed in the time span of 2000–2007

| Rodzaj postoju studni | Czas postoju studni, h | | | | | | | |
|---|------------------------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | nr 1 | nr 1z | nr 2 | nr 3 | nr 5 | nr 5b | nr 5c | nr 5d |
| Uszkodzenie konstrukcji studni | 0 | 0 | 238 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Uszkodzenie układu pompowego studni | 84 | 36 | 44 | 58 | 48 | 100 | 83 | 57 |
| Postój technologiczny | 384 | 254 | 46 | 130 | 315 | 563 | 567 | 518 |
| Postój wynikający z przerwy w zasilaniu energetycznym | 17 | 16 | 32 | 60 | 33 | 31 | 34 | 35 |
| Postój planowany | 111 | 113 | 137 | 43 | 114 | 102 | 86 | 148 |
| Razem | 596 | 419 | 495 | 290 | 510 | 796 | 769 | 757 |

– postoje wynikające z przerw w zasilaniu energetycznym (awarie na liniach odbiorczych 15 kV, awarie w stacji trafo, wyładowania atmosferyczne, zaniki napięć wskutek przełączeń lub awarii sieci energetycznej).

– postoje planowane (konserwacje urządzeń technologicznych i elektrycznych niskiego i średniego napięcia).

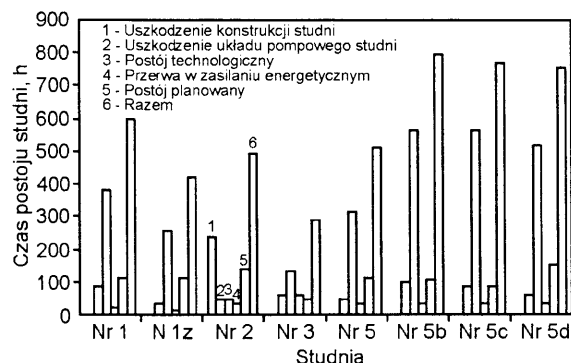
Zebrane informacje przedstawiono w tabelach 5 i 6 oraz na rysunkach 2 i 3. Z zestawienia przyczyn postojów analizowanych studni (tab. 5, rys. 2) wynika, że największą liczbę wyłączeń odnotowano w przypadku studni czwartorzędowych. W drugiej kolejności były to studnie dolnokredowe nr 5 ujęcia „Grodzisko” oraz nr 1 i 1z ujęcia „Dąbrowa”. Podstawową przyczyną postojów studni były wyłączenia technologiczne, w szczególności z uwagi na dyspozycje dotyczące ograniczenia produkcji wodociągu „Dąbrowa”. Drugą, bardzo znaczącą przyczyną postojów były przerwy w zasilaniu energetycznym, głównie w wyniku przełączeń lub awarii. Wyłączenia z powodu awarii eksploatowanych urządzeń i instalacji oraz ich planowej konserwacji stanowiły niewielką część postojów i dotyczyły głównie studni czwartorzędowych, przy czym awaryjne postoje były przede wszystkim wynikiem awarii rurociągów przesyłowych. Drugą w kolejności przyczyną w tej grupie niesprawności były uszkodzenia podwodnych agregatów pompowych.



Rys. 2. Liczba i rodzaj postojów studni wodociągu „Dąbrowa” w latach 2000–2007

Fig. 2. Number and type of discontinuities in the operation of the deep wells of Dabrowa Waterworks in the time span of 2000–2007

Analizując czas postojów studni stwierdzono, że dotyczył on otworów czwartorzędowych (tab. 6, rys. 3). Wśród studni dolnokredowych najdłuższym czasem wyłączenia z ruchu charakteryzowała się studnia nr 1 ujęcia „Dąbrowa”. Najkrótszy czas postoju stwierdzono w przypadku studni nr 3 ujęcia „Chojny”. Czas postoju poszczególnych studni nie był w pełni uzależniony od przyczyn ich wyłączenia z ruchu. Najdłuższe przerwy w pracy studni wynikały z dyspozycji ograniczenia produkcji wodociągu „Dąbrowa”. Na drugim miejscu lokowały się wyłączenia planowe spowodowane koniecznością wykonania robót konserwacyjnych. Najkrótszy czas postoju wynikał z przerw w zasilaniu energetycznym.



Rys. 3. Czas postoju studni wodociągu „Dąbrowa” w latach 2000–2007
 Fig. 3. Duration of discontinuities in the operation of the deep wells of Dabrowa Waterworks in the time span of 2000–2007

Wnioski

◆ Obiektami charakteryzującymi się najgorszym stanem technicznym wśród analizowanych studni wodociągu „Dąbrowa” w Łodzi okazały się najstarsze studnie dolnokredowe. Świadczą o tym zarówno wyniki przeprowadzonych badań zmian parametrów ich pracy, jak i jakości ujmowanej wody. Potwierdziły to również wyniki badań stanu rur konstrukcyjnych i filtra uzrównie w drodze inspekcji telewizyjnej otworów studziennych.

◆ Badania wykazały, że najstarsze studnie dolnokredowe wymagają pilnej rekonstrukcji z uwagi na poważne uszkodzenia (perforacje) rur osłonowych oraz filtrów, jak również brak drożności szczelin w filtrach. Skutkiem powstałych nieszczelności jest jednoczesny dopływ do studni wody z warstwy górno- i dolnokredowej, powodujący zakłócenie równowagi chemicznej ujmowanej wody. Postępujące zjawisko korozji rur konstrukcyjnych i filtra mogą doprowadzić do nagłego zawału studni. W celu ograniczenia postępującego procesu niszczenia konstrukcji otworów studziennych należy zminimalizować ich ewentualne postoje, zarówno awaryjne, jak i planowe.

◆ Analiza przyczyn i czasu postoju wykazała, że przyczynami przerw w pracy studni były głównie dyspozycje ograniczenia produkcji wody wodociągu „Dąbrowa”. Postoje wynikające z awarii eksploatowanych instalacji i urządzeń oraz rurociągów przesyłowych, jak również spowodowane przerwami w zasilaniu energetycznym nie stanowiły istotnego problemu, chociaż wymagają bardziej szczegółowych badań w oparciu o teorię niezawodności.

◆ Niezbędne jest wykonanie analogicznej analizy stanu technicznego pozostałych studni wchodzących w skład wodociągu „Dąbrowa”, co pozwoli na ustalenie zasad dalszej eksploatacji tego systemu w taki sposób, aby ograniczyć do minimum zagrożenie awariami (zniszczenie) studni oraz potencjalne zakłócenia w dostawie wody do odbiorców.

LITERATURA

1. A. JODŁOWSKI, W. PIĄSTKA: Wykorzystanie współczesnych technik diagnostycznych w eksploatacji studni głębinowych łódzkiego systemu wodociągowego. *Ochrona Środowiska* 2008, vol. 30, nr 1, ss. 39–43.
2. G. ZASTANY: Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1972.
3. G. HOUBEN, C. TRESKATIS: Regeneracja studni. Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO. Bydgoszcz 2004.
4. A. BAUER, G. DIETZE, W. MULLER, K.J. SOINE, D. WEDELING: Poradnik eksploatatora systemów zaopatrzenia w wodę. Wydawnictwo Seidel-Przywecki. Warszawa 2005.
5. O. PRZEWŁOCKI, A. TKACZENKO, K. CZARNOCKI.: Studnie. Arkady, Warszawa 1961.
6. W. WÓJCIK, J. DZIOPAK, W. DĄBROWSKI: Badania nad zapobieganiem inkrustacji biologicznej studni. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 1985, nr 1, ss. 17–19.
7. W. WÓJCIK: Przyczyny spadku wydajności studni wierconych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 1986, nr 4, ss. 82–84.
8. Materiały eksploatacyjne i dokumentacje techniczne. Zakład Wodociągów i Kanalizacji sp. z o.o. w Łodzi (prace niepublikowane).
9. J. CYRAN, P. SENDERECKI, W. PIĄSTKA, J. SOLNICA: Analiza jakości wód podziemnych ujmowanych z wybranych studni czwartorzędowych, górnokredowych i dolnokredowych wodociągu Dąbrowa w latach 1980–2002. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, PZITS, Poznań–Zakopane 2006, t. 1, ss. 177–195.
10. H. KŁOSS-TREBACZKIEWICZ, M. KWIETNIEWSKI, M. ROMAN: Wyniki badań i metoda oceny niezawodności działania ujęć wód podziemnych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 1988, nr 5, ss. 87–92.
11. M. KWIETNIEWSKI, M. ROMAN, H. KŁOSS-TREBACZKIEWICZ: Niezawodność wodociągów i kanalizacji. Arkady, Warszawa 1993.
12. Ustawa z 7 czerwca 2001 r. O zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków. DzU 2006, nr 123, poz. 858.
13. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 29 marca 2007 r. W sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. DzU 2007, nr 61, poz. 417.

Jodłowski, A., Piąstka, W. Assessing the Condition of Deep Wells for Dabrowa Waterworks: A Case Study. *Ochrona Środowiska* 2008, Vol. 30, No. 3, pp. 45–51.

Abstract: The objects under study are eight Lower Cretaceous deep wells operated by the Dabrowa Waterworks, which is part of the water supply system for the city of Lodz. The deep wells chosen were subjected to assessment of their technical condition, since their operation raised serious technological problems (*e.g.* due to silting-up, decline in yield, deterioration of water quality). Observations about the causes and frequency of failure, as well as the length of time when the wells were not in service, were also scrutinized. Of the objects chosen, the oldest Lower Cretaceous deep wells were found to be in the worst condition. This

finding was not only substantiated by the analysis of changes in their operating parameters or in the quality of the water being taken in, but was also confirmed by the video inspection of the well's interior, which enabled the condition of the pipes and that of the filters to be examined. It was demonstrated that discontinuities in the operation of the wells occurred predominantly when the order was given to reduce water production in the Dabrowa Waterworks. Discontinuities caused by the failure of particular installations or distribution pipes, as well as the discontinuities resulting from power stoppage, are of minor importance but still require close examinations based on the reliability theory.

Keywords: Water intake, groundwater, deep well, technical condition, frequency of well failure.