

Andrzej Jodłowski, Wanda Piąstka

## Wykorzystanie współczesnych technik diagnostycznych w eksploatacji studni głębinowych łódzkiego systemu wodociągowego

Przez wiele lat łódzki system wodociągowy był zasilany w wodę pochodzącą z zasobów powierzchniowych i podziemnych. W 1998 r. ponad 52% ujmowanej wody pochodziło ze Zbiornika Sulejowskiego i Pilicy. Od 2004 r. podstawowym źródłem zaopatrzenia miasta w wodę stał się zespół ponad sześćdziesięciu studni głębinowych. Dążeniem każdego eksploatatora systemu zaopatrzenia w wodę – pracującego w oparciu o ujęcia głębinowe – jest zapewnienie dużego stopnia niezawodności funkcjonowania studni oraz utrzymanie optymalnych kosztów użytkowania. Zagadnienia niezawodności ujęć wód podziemnych, jak i energooszczędnej eksploatacji studni były przedmiotem wielu analiz [1–4]. Problemy te stały się również priorytetowymi zadaniami Zakładu Wodociągów i Kanalizacji sp. z o.o. w Łodzi.

Utrzymanie sprawności urządzeń wodociągowych jest powinnością każdego eksploatatora [5,6]. Podstawą tych działań jest bieżąca ocena stanu technicznego i sprawności obiektów wodociągowych oraz związane z tym określone działania prewencyjne, a także wszelkiego typu naprawy i remonty. Dotyczy to również i tych obiektów, do których w trakcie normalnej eksploatacji (pracy) dostęp jest znacznie utrudniony lub niemożliwy, tak jak to ma miejsce w przypadku konstrukcji studziennych.

Podczas eksploatacji studni głębinowych przebiegają procesy, których skutkiem jest stopniowe zmniejszanie sprawności ujęć. Dotyczy to zarówno otworów studziennych, jak i zainstalowanych w nich urządzeń. Niekiedy dochodzi do gwałtownych uszkodzeń ujęć studziennych w postaci awarii. Obszerne informacje dotyczące zagadnień związanych z eksploatacją studni zawiera praca [7]. Wynika z niej, że procesy zmniejszania sprawności ujęć wód podziemnych należy umiejętnie śledzić i diagnozować. Stanowi to warunek podejmowania w odpowiednim czasie właściwych decyzji o sposobie dalszego postępowania z tymi obiektami. Decyzje te muszą być uzasadnione pod względem zarówno technicznym, jak i ekonomicznym.

Celem pracy było przedstawienie niektórych zagadnień związanych z diagnostyką studni wierconych. Zebrane informacje zostały oparte na doświadczeniach zgromadzonych podczas wieloletniej eksploatacji ujęć studziennych zaopatrujących łódzki system wodociągowy. Zwrócono szczególną

uwagę na korzyści wynikające z systematycznie prowadzonych obserwacji w toku eksploatacji ujęć studziennych. W ostatnich latach rozpoczęto w ZWiK w Łodzi proces kompleksowego diagnozowania stanu technicznego studni głębinowych, z wykorzystaniem współczesnych technik monitoringu i nowoczesnych metod analizy danych.

### Studnie głębinowe w systemie zaopatrzenia Łodzi w wodę

Obecnie łódzki system wodociągowy, dostarczający do miasta wodę w ilości około 150 tys. m<sup>3</sup>/d, jest zasilany z ujęć podziemnych zlokalizowanych na terenie Łodzi i w jej okolicach (Wydział Produkcji Wody „Łódź”), ujęć w Rokicinach (Wydział Produkcji Wody „Tomaszów”) oraz ujęć w Bronisławowie, tuż przy Zbiorniku Sulejowskim (Wydział Produkcji Wody „Sulejów”). Regiony geologiczne, z których jest czerpana woda dla miasta położone są na brzegu Niecki Łódzkiej oraz Wału Kujawsko-Pomorskiego [6]. Studnie eksploatowane przez Wydział Produkcji Wody „Łódź” oraz studnie zlokalizowane w okolicach Bronisławowa czerpią wodę z utworów górnej jury Wału Kujawsko-Pomorskiego. Studnie eksploatowane w rejonie Rokicin umożliwiają pobór wody z Niecki Łódzkiej z pokładów czwartorzędowych, trzeciorzędowych oraz dolnej i górnej kredy.

Pokłady wodonośne występują na zróżnicowanych głębokościach. Pokłady czwartorzędowe i trzeciorzędowe zalegają do głębokości 130 m p.p.t. Utwory górnokredowe sięgają 180+320 m p.p.t., a dolnokredowe 300+900 m p.p.t. Utwory górnej jury zalegają na głębokości do 130+200 m p.p.t. Woda w pokładach czwartorzędowych i trzeciorzędowych znajduje się w utworach piaszczystych i charakteryzuje się swobodnym zwierciadłem, natomiast woda w pokładach górnej kredy występująca w partiach wapieni szczelinowatych, woda w dolnokredowych utworach piaszczystych i piaskowcowych oraz w wapieniach górnourajskich ma cechy wód artezyjskich, chociaż jest pozbawiona samowypływu [8,9].

Konstrukcja i wydajność studni głębinowych łódzkiego systemu wodociągowego zależą od profilu geologicznego rejonów, w których zostały zlokalizowane i zastosowanej technologii budowy [10]. Charakteryzują się one znacznie zróżnicowanymi parametrami technicznymi. Podstawowe dane techniczne studni głębinowych eksploatowanych przez ZWiK w Łodzi przedstawiono w tabeli 1. Najpłytsze studnie mają głębokość ok. 30 m, a najgłębsze ok. 900 m. Część z nich (ok. 30%) jest studniami bezfiltrowymi, czerpiącymi wodę z pokładów górnej kredy i górnej jury. Zróżnicowane są również

Tabela 1. Dane techniczne studni głębinowych eksploatowanych przez ZWiK sp. z o.o. w Łodzi [10]

Warstwa wodonośna	Liczba studni szt.	Głębokość studni m	Czas eksploatacji lata	Wydajność eksploatacyjna m <sup>3</sup> /h	Średnica filtru materiał	Średnica kolumny materiał
Trzeciorzęd	1	100	36	25	10" stal węglowa	14" stal węglowa
Czwartorzęd	27	30÷130	5÷69	2,5÷200	3÷11 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> " stal węglowa PVC	8÷20" stal węglowa PVC
Górna kreda	15	180÷320	4÷77	35÷340	14÷20" otwór bosi	10÷20" stal węglowa
Dolna kreda	11	300÷900	7÷70	100÷270	7 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> ÷16" stal węglowa, stal nierdzewna, PVC	13 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> ÷24" stal węglowa
Górna jura	8	130÷200	22÷35	60÷320	12÷16" otwór bosi	18÷20" stal węglowa
Ogółem	62	30÷900	4÷77	2,5÷340	3÷20	8÷24"

średnice eksploatacyjne studni, wynoszące od 150 mm do 600 mm. Wydajność poszczególnych ujęć głębinowych mieści się w zakresie 2,5÷340 m<sup>3</sup>/h. Różnorodność zastosowanych technologii budowy studni wynika z faktu, że były one budowane w różnych latach, przy czym najstarsze łódzkie studnie pochodzą z lat trzydziestych ubiegłego wieku.

### Warunki eksploatacji studni głębinowych

Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Łodzi, dążąc do zapewnienia prawidłowych warunków pracy wszystkich użytkowanych studni głębinowych, stosuje zasady eksploatacji ustalone w toku wieloletnich doświadczeń [10]. Wśród nich należy zwrócić szczególną uwagę na przestrzeganie warunków określonych w udzielonych pozwoleniach wodnoprawnych na pobór wody (w odniesieniu do wydajności, poziomu lustra wody i częstości dokonywania pomiarów tych parametrów). Istotny jest także dobór pomp głębinowych, zapewniający optymalne zużycie energii elektrycznej oraz wysoki standard urządzeń pompowych, instalacji elektrycznych i armatury umożliwiający bezawaryjną pracę i ograniczanie ujemnego wpływu na jakość ujmowanej wody. Dużą wagę przywiązuje się także do bieżącej analizy parametrów pracy studni (wydajność, poziom lustra wody, energochłonność) i do oceny pracy zainstalowanych w studniach urządzeń (sprawność pomp głębinowych). Zwraca się również uwagę na jakość wydobywanej wody.

Powyższe zasady są realizowane poprzez stosowanie określonych rozwiązań technicznych. W studniach są instalowane nowoczesne pompy, charakteryzujące się długimi okresami bezawaryjnej pracy pomiędzy remontami wynoszącymi powyżej 20 tys. godz. Odpowiedni dobór pomp umożliwia ich pracę bez konieczności dławienia wydajności (do wartości zgodnej z pozwoleniem wodnoprawnym lub tzw. eksploatacyjnej) i w najwyższym punkcie krzywej sprawności. W otworach studziennych są zastosowane kompleksowe zabezpieczenia elektryczne silników pomp przed suchobiegiem, asymetrią napięć, przeciążeniem i zwarciami. Praca pomp głębinowych jest monitorowana pod kątem ich sprawności poprzez okresowe (cykliczne) badania parametrów pracy agregatów pompowych zainstalowanych w studniach. Studnie są wyposażone w nowoczesne mierniki przepływu i poziomu lustra wody, zapewniające ciągły pomiar i rejestrację danych. Rury pompowe są zabezpieczone przed korozją

powłokami cynkowymi lub lakierniczymi. W studniach jest zastosowana nowoczesna armatura z miękkimi uszczelnieniami elastomerowymi, charakteryzująca się małymi współczynnikami strat hydraulicznych. Otwory studzienne są zabezpieczone szczelnymi głowicami i obudowami z włazami wyposażonymi w elektroniczne systemy sygnalizacji włamania. Eksploatacją ujęć studziennych zajmuje się wysoko wykwalifikowany zespół techniczny, w którego skład wchodzi inżynierowie i technicy branży sanitarnej, mechanicznej, elektrycznej oraz czynnie współpracujący hydrogeolog. Każda studnia ma własny paszport i książkę eksploatacji. W dokumentach tych są rejestrowane parametry pracy studni, jak również wszystkie istotne zdarzenia związane z jej ruchem. Ponadto eksploatacji każdej studni towarzyszą badania jakości wydobywanej wody. Dane te są odpowiednio archiwizowane i stanowią istotną pomoc podczas analizy pracy oraz diagnostyki stanu technicznego studni.

### Rodzaje i przyczyny niesprawności eksploatacyjnej studni

Podczas eksploatacji studni głębinowych przebiegają procesy, których skutkiem jest postępująca lub gwałtowna niesprawność tych obiektów. Ich następstwem może być przerwa w dostawie wody do odbiorców. Niesprawność studni można rozpatrywać na kilku płaszczyznach. Można wyróżnić między innymi niesprawność techniczną urządzeń pompowych, niesprawność techniczną konstrukcji otworu studziennego, niesprawność spowodowaną skażeniem mikrobiologicznym lub chemicznym warstwy wodonośnej lub jej zużyciem eksploatacyjnym.

Niesprawność techniczna urządzeń pompowych (instalacji) dotyczy wielu ich elementów [3,4]. Obejmuje m.in. uszkodzenie podwodnego agregatu pompowego, inkrustację sita wlotowego pompy lub silnika (osady chemiczno-biologiczne), uszkodzenie kabla zasilającego silnik pompy (złącza kablowego), uszkodzenie złączy rur pompowych powodujące nieszczelność, korozję rur pompowych (perforacja), niedrożność rurek piezometrycznych (uniemożliwienie pomiaru poziomu lustra wody), uszkodzenie armatury lub urządzeń pomiarowych studni, uszkodzenie urządzeń elektrycznych (blokada pracy pompy). Z kolei niesprawność techniczna konstrukcji otworu studziennego może być spowodowana starzeniem się studni, wadami konstrukcyjnymi i niewłaściwą

eksploatacją [7,11–13]. Objawem starzenia się studni jest zamykanie szczelin filtru drobnym piaskiem lub produktami ochry (żelazowej i manganowej) oraz inkrustacja węglanowa, kolmatacja (inkrustacja) obsypki żwirowej filtru, korozja filtru, korozja rur osłonowych (obsadowych), starzenie się (kruszenie) materiałów niemetalicznych (PVC, elastomeru), rozszczelnienie przestrzeni między częścią nadfiltrową a rurami osłonowymi lub między samymi rurami osłonowymi, zapiaszczenie studni (np. w wyniku sufozji lub mechanicznego uszkodzenia filtru spowodowanego zmeczeniem materiału). Do przejawów wad konstrukcyjnych należą osiadanie/pełzanie rur osłonowych (np. jako efekt sufozji), piaszczenie studni (np. wskutek nieprawidłowo wykonanej obsypki filtrowej lub uszczelnienia między rurami obsadowymi), ograniczenie dopływu wody/przelotu studni (np. w konsekwencji pozostawienia w studni pewnych elementów konstrukcyjnych z czasu jej budowy) [7,10]. Skutki niewłaściwej eksploatacji studni (błędy obsługi) obejmują kawitację w rurach konstrukcyjnych w wyniku nadmiernej prędkości przepływu i ograniczenie przepływu wody w studni w konsekwencji zatopienia w niej różnych elementów (np. pompy, rur pompowych, kabli itp.) [7,10]. Niesprawność studni może być także spowodowana skażeniem mikrobiologicznym lub chemicznym warstwy wodonośnej, a także zużyciem eksploatacyjnym warstwy wodonośnej (głównie w strefie przyotworowej) wynikającym z kolmatacji warstwy wodonośnej i powodującym zmniejszenie dopływu wody do studni [7,10].

Niesprawność techniczna studni spowodowana niesprawnością samych urządzeń pompowych lub instalacji jest łatwa do zdiagnozowania. Dzięki przyjętemu w ZWiK w Łodzi zasadom eksploatacyjnym, a także w wyniku bieżącej analizy monitorowanych parametrów pracy studni i zainstalowanych w nich urządzeń określa się przyczyny niesprawności. O niesprawności tego rodzaju świadczą m.in. spadek wydajności pompy przy jednoczesnym spadku depresji roboczego zwierciadła wody, przerwa w pracy pompy (np. wskutek zadziałania zabezpieczeń elektrycznych), wadliwe działanie przyrządów pomiarowych i/lub armatury, przecieki wody z instalacji wodociągowej. W celu przywrócenia sprawności całego układu pompowego przeprowadza się wymianę zużytych urządzeń na sprawne technicznie, co zazwyczaj nie stanowi dla użytkownika problemu, który rzutowałby w istotny sposób na zapewnienie ciągłości dostawy wody do sieci wodociągowej.

Znacznie trudniejsza do zdiagnozowania jest niesprawność konstrukcji otworu studziennego lub warstwy wodonośnej, zwłaszcza w warunkach bieżącej eksploatacji. Z doświadczeń ZWiK w Łodzi wynika, że do objawów świadczących o tego typu niesprawności należą m.in. zmniejszenie jednostkowej wydajności studni (w odniesieniu do depresji,  $q=Q/s$ ), postępujący wzrost energochłonności studni spowodowany obniżeniem się lustra wody, wzrost różnicy pomiędzy rzędną lustra wody w studni i w sąsiadującym otworze obserwacyjnym (piezometrze), pojawienie się nadmiernej ilości piasku w tłoczonym wodzie, zmiana składu fizyczno-chemicznego ujmowanej wody, rodzaj uszkodzeń pomp głębinowych (np. wytarcie wirników wskutek piaszczenia studni lub inkrustacja silnika). Zdarza się jednak, że parametry pracy studni i jakość wody w zasadzie się nie zmieniają, lecz stan techniczny obiektu zmusza do podejmowania działań konserwacyjnych (np. renowacja chemiczna) albo nawet rekonstrukcyjnych, polegających np. na naprawie uszczelnień rur osłonowych, wymianie filtru lub obsypki żwirowej filtru.

## Diagnostyka stanu technicznego studni

Szczegółowe badania stanu technicznego studni eksploatowanych przez Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Łodzi przeprowadzono do końca 2006 r., w zasadzie tylko w ewidentnych (widocznych) przypadkach spadku sprawności. Decyzje o konieczności wykonania ewentualnego remontu (renowacji) podejmowano w warunkach realnego zagrożenia wyłączenia studni z eksploatacji i związanych z tym prawdopodobnych zakłóceń w dostawie wody do odbiorców w rejonie źródła zasilania, a często w sytuacji znacznego uszkodzenia konstrukcji studni. Pociągało to za sobą wysokie koszty napraw (50÷70%, a niekiedy nawet i 100% wartości nowej studni). Pojawiało się również ryzyko, że rekonstrukcja studni może zakończyć się niepowodzeniem. Takie podejście do zagadnienia eksploatacji studni wynikało przede wszystkim z możliwości technicznych. Pracownicy przedsiębiorstwa prowadzili bieżącą analizę pracy studni w zasadzie tylko w oparciu o zapisy rejestrowanych parametrów pracy studni. Wykorzystano także wyniki badań sprawności pomp głębinowych wykonywanych okresowo (cyklicznie), jak również badań defektów pomp głębinowych wynurzonych z otworów. Poddano ocenie stopień wytarcia wirników lub stwierdzano obecność piasku w elementach wirujących. Poddano analizie dokumentację techniczną studni, dane dotyczące wskaźników mikrobiologicznych lub fizyczno-chemicznych wody (w tym ilości wydobywanego wraz z wodą piasku). Przeprowadzono próbną pompowanie z wykorzystaniem skrzyni przelewowej z umieszczonymi w niej specjalnymi sitami, służącą do mierzenia wydajności i wielkości wydobywanych wraz z wodą ziaren warstwy wodonośnej lub obsypki żwirowej filtru.

Należy jednak stwierdzić, że analiza tych danych pozwalała jedynie na określenie domniemanych przyczyn obniżania sprawności studni i miejsc ich uszkodzeń. Wsparciem tych obserwacji był wzrost energochłonności studni, przy prawidłowych parametrach pracy agregatu pompowego, co mogło być spowodowane obniżeniem poziomu lustra wody wskutek zmniejszonego dopływu wody do studni. Przyczyną tych zjawisk mogła być kolmatacja filtru lub warstwy wodonośnej. Brano pod uwagę nadmierne wytarcie wirników pomp przy stosunkowo krótkim okresie eksploatacji pompy w studni, świadczące o piaszczeniu studni (uszkodzony filtr, nieszczelność w rurach obsadowych lub źle wykonana zabudowa filtru wraz z obsypką żwirową). Analizowano zmiany składu chemicznego wydobywanej wody mogące świadczyć o dopływie do otworu studziennego wód z innych poziomów niż woda ujmowana (wskutek nieszczelności konstrukcji), brano pod uwagę tąpnięcia ziemi i powstanie kawern przy obudowach studni, które świadczyły o piaszczeniu studni w wyniku nieszczelności rur konstrukcyjnych lub źle wykonanej obsypki.

W celu potwierdzenia prawdopodobnych uszkodzeń konstrukcyjnych studni lub prawidłowości wykonania konstrukcji otworu studziennego (domniemanych na podstawie opisanych analiz i badań) przeprowadzono również sporadycznie inspekcje telewizyjne otworów studziennych (z zapisem na taśmie magnetycznej). Dokonywano tego na etapie przekazywania studni do eksploatacji (po jej budowie), rekonstrukcji lub przejmowania od innego użytkownika. Badania z wykorzystaniem kamery TV wykonywano jednak rzadko i dotyczyły one najczęściej fragmentów otworów. Wynikało to z faktu, że usługi w tym zakresie na rynku krajowym były trudno dostępne, kosztowne i o ograniczonym zakresie możliwej

Tabela 2. Wynik inspekcji telewizyjnej studni głębinowych w ZWiK sp. z o.o. w Łodzi [10]

Problem eksploatacyjny (przyczyna inspekcji)	Data inspekcji liczba studni	Wyniki inspekcji
Studnie nowobudowane (inspekcja kontrolna, przed planowanym przekazaniem studni do eksploatacji)	2000 r. – 2 2001 r. – 1	Budowa prawidłowo wykonana – studnie kwalifikują się do eksploatacji
Studnie przejmowane od innego użytkownika (inspekcja kontrolna, przed planowanym przekazaniem studni do eksploatacji)	2000 r. – 2	Jedna ze studni wadliwie wykonana – filtr ustawiony w studni nieosiowo (opierał się o rury osłonowe), co może w przyszłości skutkować piaszczeniem otworu
Studnie po rekonstrukcji (inspekcja kontrolna, przed planowanym przekazaniem studni do eksploatacji)	2000 r. – 1 2006 r. – 1 2007 r. – 1	Rekonstrukcje prawidłowo wykonane – studnie kwalifikują się do eksploatacji, w jednej ze studni wykonawca pozostawił elementy blokujące przelot otworu studziennego, brak możliwości ich usunięcia
Studnie, których eksploatacja była związana lub wiąże się z określonymi problemami (inspekcje przed planowanymi rekonstrukcjami lub w celu określenia dalszych zasad eksploatacji)	2004 r. – 2 2005 r. – 1 2007 r. – 5	Zobrazowane miejsca uszkodzeń (otwory, pęknięcia w konstrukcji rur obsadowych), stan techniczny filtra i rur obsadowych (kolmatacja i inkrustacja) – konieczna rekonstrukcja/renowacja studni Zobrazowane przeszkody uniemożliwiające dalszą inspekcję (elementy pozostawione po budowie i zatopione w trakcie eksploatacji) – konieczne udrożnienie studni
Studnie, do których nie ma żadnych zastrzeżeń eksploatacyjnych (planowa inspekcja kontrolna, po ok. 10 latach eksploatacji)	2007 r. – 2	Miejscowe początki kolmatacji filtra (wytracone osady tlenków żelaza) – konieczność zaplanowania renowacji chemicznej studni

głębokości penetracji, jak również czystości (czytelności) obrazu. Pomimo tych niedogodności stwierdzono, że metoda telewizyjna była bardzo przydatna w prawidłowej ocenie stanu technicznego konstrukcji studni.

W marcu 2007 r. przedsiębiorstwo zakupiło nowoczesny sprzęt do inspekcji telewizyjnych studni. Uchylna-obrotowa kolorowa kamera TV oraz sprzęt do jej zanurzania w otworze studziennym, sterowania i zapisu przebiegu inspekcji są zamontowane w specjalnie do tego celu przystosowanym samochodzie. Przewiduje się, że tak wyposażony samochód będzie docierał do studni zlokalizowanych w terenie. Dokumentację przeprowadzonej inspekcji wykonuje się przy użyciu specjalistycznego programu analitycznego IBAS 32, który umożliwia natychmiastowy wydruk raportów poinspekcyjnych zawierających dane badanej studni głębinowej, graficzną prezentację studni (formularz studni, raport graficzny), foto-raporty zawierające zdjęcia cyfrowe, statystykę zrealizowanych badań studni głębinowych, rejestrację obrazu w formatach MPEG1, MPEG2, MPEG4 oraz archiwizację na nośnikach CD/DVD. Uchylna-obrotowa zdalnie sterowana kamera jest wyposażona w zintegrowane oświetlenie typu LED o podwyższonej mocy. Kąt wychyłu kamery wynosi  $\pm 90^\circ$ , kąt obserwacji  $\pm 150^\circ$ , a kąt obrotu nie ma ograniczeń. Inspekcję można prowadzić w otworach o średnicach powyżej 100 mm bez dodatkowego oświetlenia lub 150 mm z dodatkowym oświetleniem. Głębokość inspekcji może sięgać 1000 m.

Zakup nowoczesnego systemu do telewizyjnej inspekcji studni głębinowych, charakteryzującego się parametrami technicznymi umożliwiającymi pracę w różnych warunkach terenowych i w różnego rodzaju konstrukcjach otworów studziennych, pozwoli na rozpoczęcie długofalowych działań mających na celu kompleksową ocenę (diagnostykę) stanu technicznego studni użytkowanych przez ZWiK w Łodzi. Pozyskane informacje staną się podstawą do planowania dalszych przedsięwzięć związanych z utrzymaniem studni w odpowiednim stanie technicznym i zapewnienia optymalnych kosztów ich eksploatacji.

Przyjęty do realizacji program kompleksowej diagnostyki studni obejmuje takie działania, jak prowadzenie badań nad stanem technicznym konstrukcji studni na drodze cyklicznych

i systematycznych inspekcji telewizyjnych wszystkich użytkowanych otworów studziennych, głównie w powiązaniu z planową wymianą pomp (inspekcje kontrolne), prowadzenie kompleksowej analizy danych eksploatacyjnych w celu zbadania dynamiki i tendencji zmian parametrów pracy studni na przestrzeni lat i w odniesieniu do stanu początkowego. Dotyczy to poziomu lustra wody przy takim samym wydobyciu, wydajności przy takiej samej depresji, wydajności jednostkowej oraz wskaźników fizyczno-chemicznych wydobywanej wody. Przewiduje się opracowanie planu potrzeb w zakresie niezbędnych do wykonania zabiegów konserwacyjnych (czyszczenie studni, renowacje chemiczne), rekonstrukcji eksploataowanych studni, a także określania potencjalnych kosztów tych prac wraz z uzasadnieniem techniczno-ekonomicznym.

W czasie od marca 2000 r. do kwietnia 2007 r. wykonano łącznie osiemnaście inspekcji telewizyjnych 16 studni eksploatowanych przez ZWiK w Łodzi, z których trzy dotyczyły studni nowych (inspekcje kontrolne przed odbiorem do eksploatacji), a dalsze trzy studni po rekonstrukcji (inspekcje kontrolne, przed odbiorem do eksploatacji). Przeprowadzono także dwie inspekcje studni przekazywanych ZWiK do eksploatacji przez innego użytkownika w celu określenia obecnej sprawności studni. Przeprowadzono osiem inspekcji dotyczących studni, których eksploatacja była związana lub wiąże się w dalszym ciągu z określonymi problemami (inspekcje przed planowanymi rekonstrukcjami lub w celu określenia dalszych zasad eksploatacji) oraz dwie inspekcje dotyczące studni, co do których nie było żadnych zastrzeżeń eksploatacyjnych. Dokonano tzw. planowej inspekcji kontrolnej po ok. 10 latach eksploatacji. Z ogólnej liczby wykonanych inspekcji, siedem zrealizowano własną kamerą (marzec-kwiecień 2007 r.). Wyniki lustracji studni kamerą TV przedstawiono w tabeli 2.

Inspekcje telewizyjne okazały się bardzo skutecznym narzędziem do diagnozowania stanu technicznego studni. Inspekcje wykonane w studniach, których eksploatacja wiązała się lub wiąże z problemami technicznymi (piaszczenie, sukcesywne zmniejszanie wydajności, zwiększanie depresji), pomogły określić przyczynę problemów, ujawniając miejsce i rodzaj uszkodzenia, co z kolei pomogło ustalić zasady

dalszej eksploatacji i określić sposób oraz koszty ich usprawnienia. Inspekcje telewizyjne, umożliwiające identyfikację wad ukrytych, przeprowadzone w studniach nowo wybudowanych i po rekonstrukcji, stały się bardzo przydatne w momencie przejmowania ich do eksploatacji. Badania z wykorzystaniem kamery TV w studniach, których eksploatacja dotychczas była bezproblemowa dowiodły, że wymagały one określonych zabiegów renowacyjnych, zapobiegających przed potencjalnymi skutkami postępującej niesprawności wynikającej z kolmatacji filtru.

## Wnioski

◆ Doświadczenia Zakładu Wodociągów i Kanalizacji w Łodzi dowodzą, że inspekcja telewizyjna otworów studziennych skutecznie umożliwia dokonanie oceny ich stanu technicznego przed przyjęciem studni do eksploatacji (obiektów nowych i po remoncie), w warunkach bieżącej jej pracy oraz w sytuacjach awaryjnych.

◆ Obrazy zarejestrowane kamerą TV dotyczące potencjalnych błędów konstrukcyjnych, zmian eksploatacyjnych powstałych w trakcie użytkowania studni i uszkodzeń elementów konstrukcyjnych studni, poparte analizą dokumentacji technicznej (wraz z profilem geologicznym), jak również danych obejmujących zapisy parametrów pracy tych obiektów (wydajność, poziom lustra wody, energochłonność), a także wyniki badań jakości ujmowanej wody oraz wyniki badań celowych pompowań próbnych dają możliwość określenia z odpowiednim wyprzedzeniem (nie tylko w warunkach ratunkowych) niezbędnych zabiegów konserwacyjno-renowacyjnych lub rekonstrukcyjnych studni, w celu przywrócenia sprawności tych obiektów.

◆ Inspekcje otworów studziennych przeprowadzone z wykorzystaniem kamery TV pozwalają na identyfikację rodzaju niesprawności i miejsc uszkodzeń, a tym samym określenie technologii potencjalnych napraw oraz prawidłowe szacowanie ich kosztów.

◆ Analiza danych uzyskanych w trakcie inspekcji telewizyjnych studni umożliwia podejmowanie właściwych – uzasadnionych technicznie i ekonomicznie – decyzji o wykonaniu prac konserwacyjno-renowacyjnych oraz kolejności tych prac. Planowanie i realizacja tych prac, poparte szczegółową

analizą techniczno-ekonomiczną, pozwalają na uniknięcie kosztów związanych z potencjalnymi stratami i zakłóceniami w dostawie wody do sieci wodociągowej, które wystąpiłyby w przypadku zaniechania wcześniejszych działań prewencyjnych i naprawczych. Prowadzone systematycznie badania sprawności studni pozwalają także na optymalizację kosztów eksploatacji systemu wodociągowego.

## LITERATURA

1. H. KŁOSS-TRĘBACZKIEWICZ, M. KWIETNIEWSKI, M. ROMAN: Wyniki badań i metoda oceny niezawodności działania ujęć wód podziemnych. *GWiTS*, 1988, nr 5, ss. 87–92.
2. M. KWIETNIEWSKI, M. ROMAN, H. KŁOSS-TRĘBACZKIEWICZ: Niezawodność wodociągów i kanalizacji. Arkady, Warszawa 1993.
3. R. BŁĄŻEJEWSKI, M. NOWACZYK: Wybrane parametry niezawodnościowe pomp głębinowych w świetle badań eksploatacyjnych. *GWiTS*, 1994, nr 2, ss. 38–39.
4. J. DRÓŻDŹ: Ergooszczędne sterowanie ujęciami wód podziemnych. *GWiTS*, 1981, nr 4, ss. 111–112.
5. Ustawa z 18 lipca 2001 r. Prawo wodne. *DzU* nr 115, poz. 1129.
6. Ustawa z 7 czerwca 2001 r. O zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (tekst jednolity). *DzU* z 2006 r. nr 123, poz. 858.
7. G. HOUBEN, CH. TRESKATIS: Regeneracja studni. Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO. Bydgoszcz 2004.
8. G. ZASTANY: Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1972.
9. O. PRZEWŁOCKI, A. TKACZENKO, K. CZARNOCKI: Studnie. Arkady, Warszawa 1961.
10. Materiały eksploatacyjne i dokumentacje techniczne ZWiK sp. z o.o. w Łodzi (prace niepublikowane).
11. B. PŁACZKOWSKA: Ocena stanu technicznego studni w oparciu o współczynnik oporu hydraulicznego. *GWiTS*, 1981, nr 6, ss. 153–154.
12. W. WÓJCIK, J. DZIOPAK, W. DĄBROWSKI: Badania nad zapobieganiem inkrustacji biologicznej studni. *GWiTS*, 1985, nr 1, ss. 17–19.
13. W. WÓJCIK: Przyczyny spadku wydajności studni wierconych. *GWiTS*, 1986, nr 4, ss. 82–84.

Jodłowski, A., Piastka, W. Use of Advanced Diagnostic Techniques in Deep Well Operation for the Needs of the Water Supply System of Lodz. *Ochrona Środowiska* 2008, Vol. 30, No. 1, pp. 39–43.

**Abstract:** The method of feeding the water supply system of Lodz (groundwater intakes, 62 deep wells) is discussed. The study addresses the following issues: the aging of the wells (which includes understanding the character of the processes occurring both in the wells and in the aquifer) and the available strategies for limiting the occurrence of undesired phenomena when the wells are in service. Taking the experience gained by the waterworks of the city of Lodz as an example, a modern

video-based well inspection system is described, which involves a closed-circuit customized TV camera and enables visual assessments of water wells with diameters exceeding 100 mm to the depth of 1000 m. It has been demonstrated that video-based inspections of the well interior provide information about the condition of the well casing and the filter. They are also of help in identifying the deposits and other materials that potentially impair the performance of the well. An analysis of the data obtained in this way makes it possible to program processes that will provide a reliable performance and operation of the well by the application of preventive or correcting measures

**Keywords:** Deep well, operation, aging, video inspection.