

Andrzej JODŁOWSKI
Wanda PIĄSTKA

*Katedra Wodociągów i Kanalizacji
Politechnika Łódzka
Zakład Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o.*

OCENA STANU TECHNICZNEGO STUDNI GŁĘBINOWYCH WODOCIĄGU „DĄBROWA” W ŁODZI

DĄBROWA WATERWORKS DEEP WELL TECHNICAL STATE EVALUATION

The “Dąbrowa” Waterworks is the largest and the oldest among all waterworks supplying the city of Łódź with water. It provides urban water distribution system with water coming from deep wells after purification involving iron and manganese removal. Its current production capacity is approximately equal to 40% of the city’s average daily demand and strictly depends on the production capacity of thirteen deep wells. The decline of deep wells production has been observed for the past few years. During analysis of the reasons for the wells’ capacity decrease it has been found that technical state evaluation of deep wells must be taken into the consideration. Until recently a wells examination had been based on the analysis of its recorded technical parameters. This proved to be insufficient to correctly diagnose wells state. Last year these examinations were supplemented with the visualisation of the well’s casing and screen technical state based on the video inspection of the well’s interior of most of the wells currently in use. This paper presents the results of the conducted study and suggests all the preventive countermeasures necessary to maintain the “Dąbrowa” Waterworks deep wells in good operational state.

1. Wprowadzenie

Problemy oceny stanu technicznego, jak i analiza niezawodności działania głębinowych ujęć wody, stały się ostatnio niezwykle istotne dla łódzkiego przedsiębiorstwa wodociągowego (ZWiK Sp z o.o.). W 2004 r. zaniechano poboru wody z Zalewu Sulejowskiego. Łódzka sieć wodociągowa jest zasilana obecnie głównie przez zespół ujęć wód wglębnych zlokalizowanych na terenie miasta i jego okolic. Zespół ten obejmuje ponad 60 studzien wierconych budowanych w różnych okresach, charakteryzujących się zróżnicowaną głębokością i ujmujących wodę z różnych warstw wodonośnych. Podsta-

wowym warunkiem zapewnienia ciągłości dostawy wody do łódzkiej sieci wodociągowej, jak również warunkiem prawidłowego, uzasadnionego technicznie i ekonomicznie planowania niezbędnych prac remontowo-modernizacyjnych jest bieżąca analiza informacji dotyczących sprawności ujęć głębinowych. Ważna jest także możliwość prognozowania potencjalnych awarii ujęć.

ZWiK Sp. z o.o. w Łodzi rozpoczął w ostatnim czasie proces długofalowego kompleksowego diagnozowania stanu technicznego użytkowanych studzien z wykorzystaniem współczesnych technik monitoringu i wizualizacji [1]. Podjęto także próbę zastosowania nowoczesnych metod analizy danych, a także wykorzystania zasad statystycznej oceny niezawodności pracy ujęć.

Z uwagi na szeroki zakres zagadnień i ich złożoność, skupiono się w pierwszej kolejności na Wodociągu „Dąbrowa”, który jest największym i najstarszym wodociągiem w systemie zaopatrzenia m. Łodzi w wodę. W jego skład wchodzi 13 studzien głębinowych, które obecnie, w normalnych warunkach zasilania, dostarczają wodę w ilości stanowiącej 35 ÷ 40% ogólnej ilości wody wprowadzanej do łódzkiej sieci wodociągowej. Aktualne wydobycie wody kształtuje się na poziomie ok. 80% zdolności produkcyjnej ujęć. Niestety, od początku bieżącego stulecia zdolność produkcyjna systemu zaczęła maleć, co wynika głównie ze spadku wydajności eksploatacyjnej niektórych otworów.

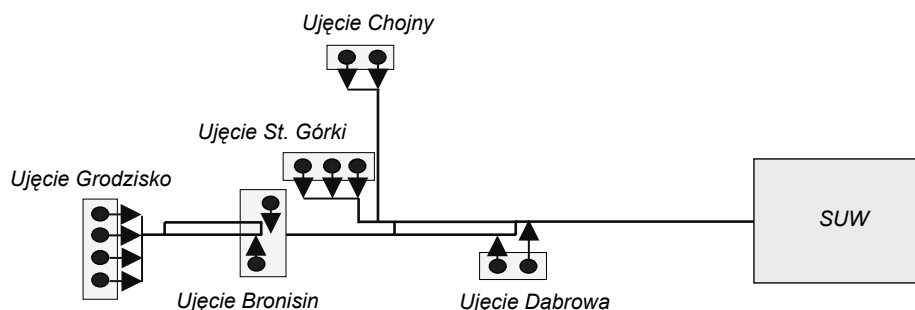
Przedmiotem pracy jest analiza wyników badań związanych z oceną stanu technicznego ośmiu wybranych, dolnokredowych i czwartorzędowych, ujęć głębinowych Wodociągu „Dąbrowa” oraz ocena możliwości ograniczenia liczby ich postojów. Praca dotyczy najstarszych studzien z zabudowanymi filtrami, których eksploatacja wiąże się z wieloma problemami obejmującymi m.in. piaszczenie, spadek wydajności eksploatacyjnej i zmiany jakości wody. Przy wyborze metody badań nad możliwością ograniczania liczby postojów kierowano się m. in. wynikami innych prac dotyczących oceny niezawodności ujęć wód podziemnych [10,11].

2. Charakterystyka ujęć głębinowych Wodociągu „Dąbrowa”

Studnie głębinowe Wodociągu „Dąbrowa” pobierają wodę z trzech warstw wodonośnych Niecki Łódzkiej: z czwartorzędu oraz z 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, 3, 4, 5]. Schemat technologiczny ujęć wody Wodociągu „Dąbrowa” przedstawiono na Rys. 1, a ich podstawowe dane techniczne zamieszczono w Tabeli 1.

Zróżnicowanie konstrukcji i wydajności studzien eksploatowanych w systemie Wodociągu „Dąbrowa” wiąże się ze specyfiką profilu geologicznych i przyjętą pierwotnie technologią budowy. Najstarsze studnie pochodzą z lat trzydziestych ubiegłego stulecia, najmłodsze mają nieco ponad 10 lat. Najpłytsze studnie, o głębokości ~130 m, ujmują wody czwartorzędowe. Studnie o głębokości ~250 m (bezfiltrowe) ujmują wody górnokredowe. Najgłębsze studnie, o głębokości do 900 m, czerpią wodę z utworów dolnej kredy. Średnica studzien jest zróżnicowana i osiąga maksymalną wartość nominalną 600 mm. Wydajność eksploatacyjna waha się w granicach od 50 do 340 m³/h. Ujmowana woda charakteryzuje się ponadnormatywnym stężeniem żelaza i manganu. Największe

stężenia domieszek obserwuje się w wodzie pochodzącej ze studzien czwartorzędowych. Woda ujęta przez studnie Wodociągu „Dąbrowa” jest tłoczona przez pompy głębinowe i transportowana systemem rurociągów przesyłowych do stacji uzdatniania wody (SUW), gdzie jest poddawana procesowi usuwania żelaza i manganu. Napowietrzanie przebiega w zamkniętych komorach reakcji, a filtracja w filtrach ciśnieniowych.



Rys. 1. Schemat technologiczny ujęć głębinowych Wodociągu „Dąbrowa”

Tab. 1. Podstawowe dane techniczne studni głębinowych Wodociągu „Dąbrowa”

Lp.	Warstwa wodonośna	Liczba studzien [szt.]	Głębokość studni [m]	Okres eksploatacji [lata]	Wydajność eksploatacyjna [m ³ /h]	Średnica filtra, materiał	Średnica kolumny eksploatacyjnej, materiał
1.	Łącznie, w tym:	13	113 ÷ 900	10 ÷ 70	50 ÷ 340	11 ³ / ₄ " ÷ 20"	14" ÷ 24"
2.	czwartorzęd	3	113 ÷ 126	15 ÷ 38	50 ÷ 200	11 ³ / ₄ " ÷ 14" stal węgl., PCV	18" ÷ 20" stal węgl., PCV
3.	górna kreda	4	240 ÷ 250	15 ÷ 55	200 ÷ 340	14" ÷ 20" otwór „bosy”	14" ÷ 24" stal węgl.
4.	dolna kreda	6	491 ÷ 900	7 ÷ 70	100 ÷ 270	11 ³ / ₄ " ÷ 16" stal węgl., stal nierdz., PCV	16" ÷ 24" stal węgl.

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

W ostatnim dziesięcioleciu ubiegłego stulecia, w okresie, gdy Wodociąg „Dąbrowa”, pracował z pełną zdolnością produkcyjną, dokonano szerokiego zakresu prac modernizacyjnych, których celem było usprawnienie i unowocześnienie układów technologicz-

nych i elektrycznych wszystkich ujęć wody. W ramach tego przedsięwzięcia wprowadzono nową generację pomp głębinowych, z energooszczędnymi silnikami i znacznie dłuższym okresie międzyremontowym (min. 20 tys. godzin). Dokonano wymiany starych, skorodowanych rur pompowych, z powłoką antykorozyjną, zużytą armaturę zastąpiono nowoczesną, kompleksowo zmodernizowano rozdzielnie zasilająco-sterownicze, wprowadzono programowalne sterowniki.

3. Zakres i metodyka pracy

Ocena stanu technicznego konstrukcji studzien głębinowych zaprezentowana w niniejszej pracy dotyczy najstarszych otworów z zabudowanymi filtrami, których eksploatacja wiązała się lub wiąże się z określonymi problemami technicznymi. Problemy te obejmowały m.in. piaszczenie studni, spadek wydajności eksploatacyjnej i zmiany jakości wody. Ocenę przeprowadzono w odniesieniu do ośmiu spośród wszystkich trzynastu eksploatowanych studzien Wodociągu „Dąbrowa” analizując trzy grupy informacji wyjściowych:

- a) rejestrowane parametry pracy studni (wydajność, poziom lustra wody), które porównano z najstarszymi zapisami zawartymi w dokumentacjach hydrogeologicznych i danymi z okresu początkowej eksploatacji obiektów [8],
- b) wartości wybranych wskaźników jakości ujmowanej wody (tj. wskaźników istotnych z punktu widzenia efektu prowadzonego procesu uzdatniania wody i potencjalnego wpływu na sprawność konstrukcji studni, a w szczególności filtra i rur osłonowych), które porównano z zapisami zamieszczonymi w posiadanej dokumentacji hydrogeologicznej (dane pierwotne), jak również średniorocznymi wartościami pochodzącymi z badań prowadzonych w ciągu ostatnich lat [8, 9],
- c) wyniki inspekcji telewizyjnych studzien przeprowadzonych z użyciem nowoczesnego sprzętu, które skonfrontowano z profilami geologicznymi powstałymi podczas prowadzenia prac wiertniczych [8].

Za punkt wyjścia do oceny możliwości minimalizowania liczby postojów najstarszych studni dolnokredowych przyjęto zbadanie zakresu i przyczyn wyłączeń ujęć głębinowych. W ocenie wykorzystano dane zebrane podczas ośmioletniego okresu obserwacji, obejmującego lata 2000-2007, tzn. po przeprowadzeniu prac modernizacyjnych w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia. W analizie przyczyn postojów i awaryjności studzien wzięto pod uwagę następujące rodzaje zdarzeń, których skutkiem były przerwy w pracy ujęć głębinowych [10,11]:

- uszkodzenie konstrukcji studzien (uszkodzenie/kolmatacja filtra, 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 „elcluwo”, przetworników ciśnień, sondy głębokości, styczników, urządzenia „softstartu” itp., uszkodzenie rurociągu tłoczno studni),
- postoje technologiczne (dyspozycje związane z ograniczeniem produkcji Wodociągu „Dąbrowa”, awarie tłocznych rurociągow przesyłowych, awarie w

SUW, remont zbiorników wyrównawczych, awarie w pompowni, wynikające z modernizacji SUW),

- postoje wynikające z przerw w zasilaniu energetycznym (awarie na liniach odbiorczych 15kV, awarie w stacji trafo, wyładowania atmosferyczne, zaniki napięć wskutek przełączeń lub awarii w sieci ŁZE),
- postoje planowane (konserwacje urządzeń technologicznych, elektrycznych n.n. i ś.n.).

4. Wyniki badań i ich omówienie

4.1. Badania stanu technicznego konstrukcji studzien i zmian warunków hydrogeologicznych

Z informacji literaturowych [6, 7], jak również dotychczasowych doświadczeń eksploatacyjnych ZWiK Sp. z o.o. w Łodzi [8] wynika, że wydajność jednostkowa studni filtrowych systematycznie maleje w miarę starzenia się, co jest to zwykle skutkiem spadku sprawności filtra związanej z sukcesywnym wytrącaniem się osadów (składających się ze związków żelaza i manganu oraz węglanów) na jego powierzchni i w szczelinach. 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. Niestety, opisowi takiej sytuacji odpowiadają jedynie wyniki badań studzien czwartorzędowych i jednej dolnokredowej (nr 1z). Wyniki badań studzien najstarszych, dolnokredowych, nie sugerują możliwości potwierdzenia tych zjawisk, ponieważ ilość dopływającej do nich wody uległa zwiększeniu, przy obserwowanym jednocześnie niekorzystnym zjawisku piaszczenia. W tabeli 2 zamieszczono wyniki analizy parametrów pracy rozpatrywanych studzien, które ilustrują te zmiany.

Widać, że w ostatnim okresie uległy zasadniczej zmianie zarówno depresja, jak i jednostkowa wydajność eksploatacyjna. Można to stwierdzić we wszystkich niemal studniach. Wydajność jednostkowa najdłużej eksploatowanych studzien dolnokredowych uległa znacznemu wzrostowi, czemu towarzyszyło zmniejszenie depresji. Wyjątkiem była studnia nr 1 ujęcia „Dąbrowa” – stosunkowo krótko eksploatowana. Należy zwrócić uwagę, że wszystkie te studnie mają ograniczoną wydajność eksploatacyjną z powodu piaszczenia. Wydajność jednostkowa studni dolnokredowej nr 1z ujęcia „Dąbrowa” zlokalizowanej w niewielkiej odległości od studni nr 1, uległa znacznemu zmniejszeniu przy zwiększonej depresji. Istotne zmniejszenie wydajności jednostkowej przy jednoczesnym wzroście depresji zaobserwowano także we wszystkich studniach czwartorzędowych. Zmianie uległa także jakość ujmowanej wody. Podstawowe wskaźniki jakości wody w analizowanych studniach głębinowych przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 2. Parametry pracy wybranych studzien głębinowych Wodociągu „Dąbrowa”

Lp.	Studnia	Rok budowy (rekonstr.)	Parametry początkowe (z pompowania próbnego)			Aktualne parametry eksploatacyjne				
			Q	s	q	Q	s	q		
			m ³ /h	m	m ³ /h/m	m ³ /h	m	m ³ /h/m	Zmia- ny	
1.	Dąbrowa nr 1	dolna kreda	1940	~256 (z 1966)	~27,5 (z 1966)	~9,3 (z 1966)	250	27	~9,3	bez zmian
2.	Dąbrowa nr 1z		1990 (w 1998 rekons.)	~101 (po rekons.)	~28,0 (po rekons.)	~3,6 (po rekons.)	100	55	~1,8	spa- dek
3.	St. Górki nr 2		1937 (w 2006 rekons.)	~233 (z 1938)	~29,2 (z 1938)	~8,0 (z 1938)	220	18	~12,2	wzrost
4.	Chojny nr 3		1937	~290 (1966)	~28,3 (1966)	~10,2 (1966)	270	17	~15,9	wzrost
5.	Grodzi- sko nr 5		1953	~91 (z 1955)	~85,5 (z 1955)	~1,1 (z 1955)	200	34	~5,9	wzrost
6.	Grodzi- sko nr 5b	czwartorzęd	1988	~87	~4,4	~19,7	60	25	~2,4	spa- dek
7.	Grodzi- sko nr 5c		1970 (w 1992 rekons.)	~130 (z 1992)	~13,9 (z 1992)	~9,4 (z 1992)	130	35	3,71	spa- dek
8.	Grodzi- sko nr 5d		1993	~220	~14,7	~21,8	200	22	~9,1	spa- dek

Analiza zmian wskaźników jakości ujmowanej wody pozwala stwierdzić, że w wodzie pochodzącej z niemal wszystkich rozpatrywanych studzien, istotnej zmianie uległ zapach wody. W początkowej fazie eksploatacji zapach był akceptowalny, ostatnio zaś rejestrowano zapach siarkowodoru. W przypadku studzien czwartorzędowych oraz większości studzien dolnokredowych, odnotowuje się sukcesywny wzrost stężenia żelaza. Dotyczy to studni czwartorzędowych nr 5c i 5d (Rys. 2). Zmianie uległo także stężenie manganu. Pozostałe analizowane wskaźniki jakościowe, takie jak stężenie chlorków, amoniaku, siarczanów w wodzie ujmowanej przez wszystkie rozpatrywane studnie, nie wykazują istotnych zmian, a ich wartości są zgodne z obowiązującymi wymaganiami dotyczącymi jakości wody przeznaczonej do spożycia [13].

Na podstawie omówionych wyników badań nie można jednak było jednoznacznie określić stanu technicznego rozpatrywanych studzien, przyczyn powstałych zmian ich wydajności jednostkowej, jak również zmian w jakości ujmowanej wody, przede wszystkim w odniesieniu do zapachu.

Sformułowanie prawidłowej odpowiedzi na pytanie dotyczące przyczyn omawianych wyżej zmian oraz prawidłową ocenę stanu technicznego analizowanych otworów studziennych umożliwiły dopiero bardzo szczegółowe inspekcje telewizyjne. Niestety, nie przeprowadzono inspekcji w pełnym zakresie (tj. dla całkowitej głębokości studni) w odniesieniu do wszystkich studzien z uwagi na przeszkody zalegające w niektórych studniach dolnokredowych. W przypadku najstarszych studni, udało się przeprowadzić

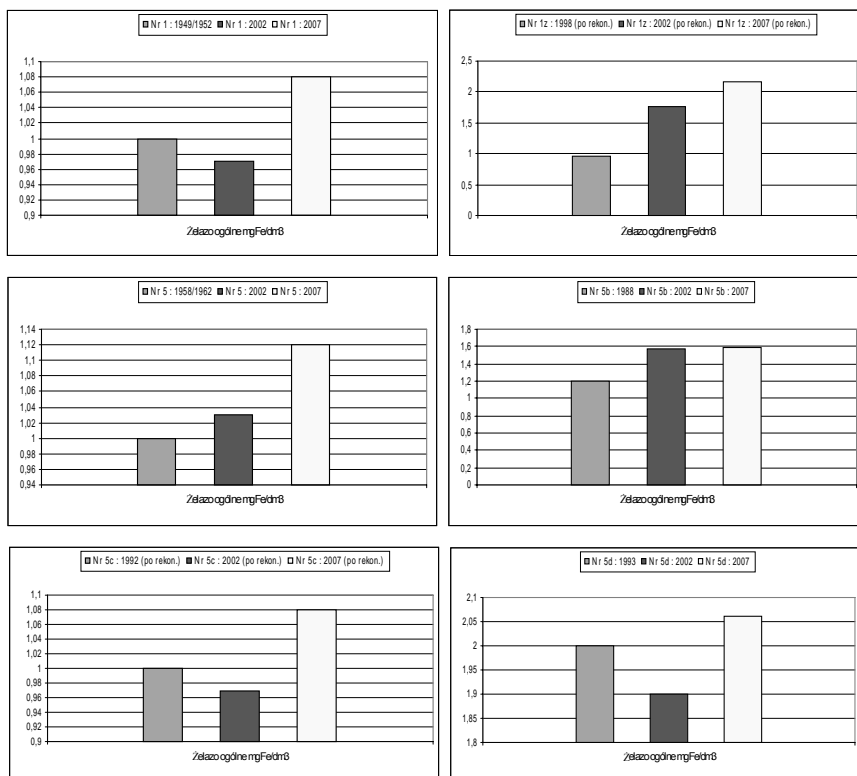
kompleksową inspekcję telewizyjną w zasadzie tylko w przypadku studni nr 3 (ujęcie „Chojny”) oraz studni nr 1 ujęcia Dąbrowa (80% głębokości). Należy jednak wziąć pod uwagę, że wszystkie stare studnie dolnokredowe mają podobną budowę (konstrukcję i profil geologiczny) oraz zbliżony okres eksploatacji (60-70 lat). Wyniki inspekcji telewizyjnych w formie opisowej przedstawiono w tabeli 4.

Tab. 3. Istotne wskaźniki jakości wody dla wybranych studzien głębinowych Wodociągu „Dąbrowa”

Lp.	Studnia	Rok badań	Parametr					
			Zapach	Żelazo og.	Mangan	Chlorki	Jon amon.	Siarczany
			-	mgFe/dm ³	mgMn/dm ³	mgCl/dm ³	mgNH ³ /dm ³	mgSO ₄ /dm ³
1.	Nr 1	1949/1952	akcept.	1,00	0,10	2,5	0,06	6,00
2.		2002	H ₂ S lub akcept.	0,97	0,03	1,8	0,04	8,20
3.		2007	H ₂ S lub akcept.	1,08	0,06	5,8	0,06	11,83
4.	Nr 1z	1998 (po rekon.)	akcept.	0,95	0,07	7,0	0	14,40
5.		2002	H ₂ S lub akcept.	1,77	0,03	1,9	0,05	4,22
6.		2007	H ₂ S lub akcept.	2,16	0,06	1,9	0,05	9,30
7.	Nr 2	1948/1952	akcept.	1,60	ślady	ślady	0,14	0
8.		2002	H ₂ S lub akcept.	1,20	0,07	3,0	0,07	5,10
9.		2007	H ₂ S	1,288	0,11	1,8	0,11	3,45
10.	Nr 3	1947/1951	akcept.	1,60	ślady	3,0	0,08	ślady
11.		2002	H ₂ S lub akcept.	1,50	0,09	3,8	0,07	4,40
12.		2007 (po rekon.)	H ₂ S	1,50	0,10	2,3	0,13	5,72
13.	Nr 5	1958/1962	akcept.	1,00	0,01	6,2	0,02	ślady
14.		2002	H ₂ S	1,03	0,12	2,9	0,15	2,70
15.		2007	H ₂ S	1,12	0,10	1,3	0,18	4,51
16.	Nr 5b	1988	akcept.	1,20	0,20	12,0	0,10	70,00
17.		2002	H ₂ S lub akcept.	1,57	0,17	6,0	0,40	22,77
18.		2007	H ₂ S lub akcept.	1,59	0,19	5,2	0,47	17,44
19.	Nr 5c	1992	akcept.	1,60	0,16	15,0	0,18	116,00
20.		2002	akcept.	2,08	0,22	9,1	0,40	47,40
21.		2007	akcept.	2,24	0,30	9,6	0,44	53,34
22.	Nr 5d	1993	akcept.	2,00	0,15	12,0	0,09	92,00
23.		2002	akcept.	1,90	0,21	9,8	0,40	40,02
24.		2007	H ₂ S lub akcept.	2,06	0,26	9,8	0,49	62,81

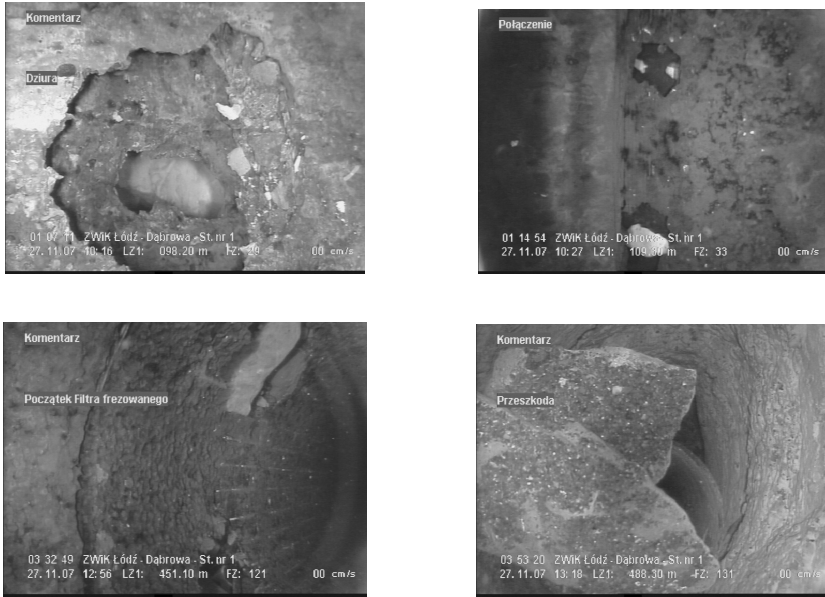
Analiza uzyskanych obrazów inspekcji telewizyjnej (Rys. 3 i 4) oraz profili geologicznych pozwoliła stwierdzić, że stan techniczny konstrukcji najstarszych studzien dolnokredowych jest bardzo zły. Studnie te w strefie górnej i dolnej kredy miały silnie skorodowane rury osłonowe i filtry (duże otwory lub perforacja). Stwierdzono, że szczeliny filtrów były całkowicie zarośnięte osadami węglanowymi, zaś sam filtr był częściowo pozbawiony obsypki żwirowej, wyniesionej wraz z ujmowaną wodą. Zaobserwowano, że woda dopływała do otworów studziennych w zasadzie tylko przez powstałe nieszczelności (perforację lub duże otwory), tj. zarówno z poziomu górnej, jak i dolnej kredy. Można podejrzewać, 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. Siarkowodor w ujmowanej wodzie pochodzi z porytów zalegających w strefie górnej kredy.

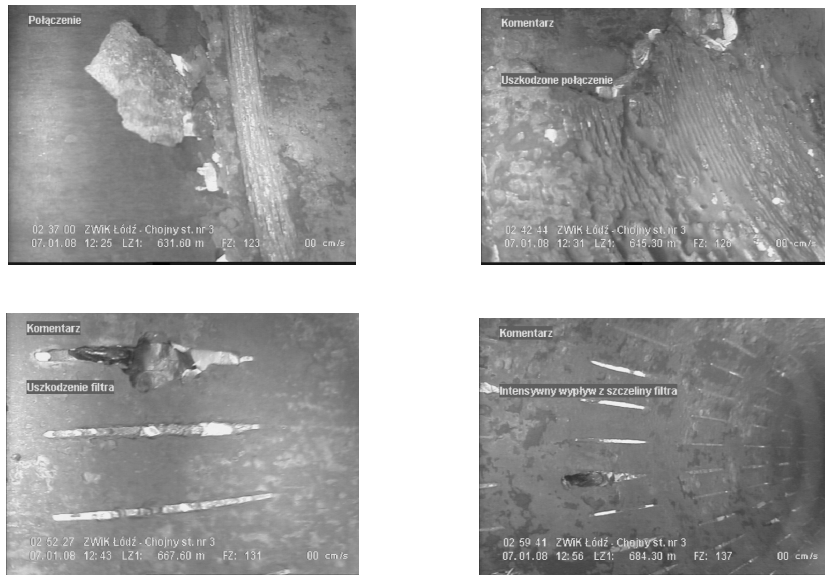


Rys. 2. Zmiany wartości średniorocznych stężenia żelaza w wodzie wybranych studni Wodociągu „Dąbrowa”

Przeprowadzone badania dowiodły, że stan techniczny studni dolnokredowej nr 1z ujęcia „Dąbrowa” jest bardzo dobry. Spadek wydajności jednostkowej oraz zmianę jakości ujmowanej wody (obecność zwiększonego stężenia 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 skolmatowanej 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.



Rys. 3. Dokumentacja fotograficzna obrazująca stan rur osłonowych i filtra studni nr 1 (ujęcie „Dąbrowa”)



Rys. 4. Dokumentacja fotograficzna obrazująca stan rur osłonowych i filtra studni nr 3 (ujęcie „Chojny”)

Tab. 4. Wyniki inspekcji telewizyjnych studzien głębinowych Wodociągu „Dąbrowa”

Lp.	Studnia		Wynik inspekcji
1.	Dąbrowa nr 1 (wiek 68 lat)	dolna kreda	<p>Ocenę stanu technicznego wykonano tylko w zakresie ~80% jej głębokości, z uwagi na zalegającą przeszkodę w postaci urwanych głazów z wodonośca zalegających na krawędzi rury filtrowej.</p> <p>Stan rur osłonowych zły, liczne ogniska korozji wraz 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).</p> <p>Oceny stanu technicznego filtra nie dokonano, z uwagi na zalegające na krawędzi rury nadfiltrowej glazy piaskowca pochodzące z górotworu, które wpadły do otworu studziennego przez istniejące uszkodzenia rur osłonowych.</p> <p>Obecny stan techniczny zagraża dalszej jej eksploatacji. Studnia wymaga pilnej rekonstrukcji. Może być eksploatowana wyłącznie pod szczególnym nadzorem, z wydajnością eksploatacyjną ograniczoną obecnie o ~15% w stosunku do pierwotnej.</p>
2.	Dąbrowa nr 1z (wiek 18 lat)		<p>Stan rur osłonowych dobry, nieliczne ogniska korozji rur (bez perforacji).</p> <p>Stan filtra bardzo dobry (topiony, ze stali nierdzewnej, typu Johnson, szkieletowy ze szczelinami), część czynna filtra w niewielkiej części nosi ślady kolmatacji, otwory filtra są drożne</p>
3.	Grodzisko nr 5 (wiek 55 lat)		<p>Ocenę stanu technicznego wykonano tylko w zakresie ~40% jej głębokości, z uwagi na zalegającą przeszkodę w postaci utopionego płatu gumy, która prawdopodobnie wpadła do otworu studziennego w początkowym okresie jej eksploatacji.</p> <p>Stan monitorowanych rur osłonowych dobry, nieliczne ogniska korozji rur (bez perforacji). Oceny filtra z powodów j.w. nie dokonano.</p> <p>Zalecane wykonanie pompowania sprawdzającego studni (z zastosowaniem skrzyni przelewowej) w celu oceny piaszczenia studni. Podjęcie w przyszłości próby instrumentacji studni - usunięcie zalegającej przeszkody.</p>
4.	Stare Górki nr 2 (wiek 71 lat)		<p>Ocenę stanu technicznego wykonano tylko w zakresie ~30% jej głębokości, z uwagi na zalegającą przeszkodę w postaci stalowego płaskownika, który wpadł do otworu studziennego prawdopodobnie w początkowym okresie jego eksploatacji.</p> <p>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 filtra z powodów j.w. nie dokonano.</p> <p>Zalecane podjęcie w przyszłości próby instrumentacji studni w celu usunięcia zalegającej przeszkody.</p>
5.	Chojny nr 3 (wiek 71 lat)		<p>Stan rur osłonowych zły: liczne ogniska korozji, na głębokości ok. 108 m, 156m otwory, powodujące dopływ wody z poziomu górnej kredy.</p> <p>Stan filtra bardzo zły – całkowicie zarośnięte szczeliny, korozja rury filtrowej, wraz z perforacją, widoczny w dziurach brak obsypki żwirowej filtra, w rurze podfiltrowej zalega kilkunastometrowy słup piasku.</p> <p>Zalecane wykonanie pompowania sprawdzającego studni (z wykorzystaniem skrzyni przelewowej) dla oceny piaszczenia studni i powtórzenie inspekcji telewizyjnej po roku jej eksploatacji.</p> <p>Docelowo, konieczna rekonstrukcja studni (zastępczy odwiert).</p>
6.	Grodzisko nr 5b (wiek 20 lat)	czwartorzęd	<p>Stan rur osłonowych dobry, nieliczne ogniska korozji rur (bez perforacji).</p> <p>Stan filtra (topiony, ze stalowej rury perforowanej, z siatką filtracyjną) zadawalający, część czynna filtra w niewielkiej części nosi ślady kolmatacji, w większości otwory filtra są drożne, w dolnej części filtra uszkodzenie, które powstało prawdopodobnie w czasie budowy studni – uszkodzenie to nie zagraża dalszej eksploatacji.</p> <p>Zalecane wykonanie pompowania sprawdzającego studni (na skrzynię przelewową) dla oceny piaszczenia studni i powtórzenie inspekcji telewizyjnej po roku jej eksploatacji</p>
7.	Grodzisko nr 5c (wiek 38 lat)		<p>Stan rur osłonowych zadawalający, nieliczne ogniska korozji rur, bez perforacji.</p> <p>Stan filtra (topiony, ze stalowej rury perforowanej, z siatką filtracyjną) zły, część czynna filtra w znacznej części jest skolmatowana (ciemne osady związków manganu – większość otworów filtra jest niedrożnych – stan ten może w przyszłości zagrażać dalszej eksploatacji).</p> <p>Zalecane wykonanie pompowania sprawdzającego studni (na skrzynię przelewową) dla oceny spadku wydajności jednostkowej studni i oceny piaszczenia studni, wskazane powtórzenie inspekcji telewizyjnej po roku jej eksploatacji.</p>
8.	Grodzisko nr 5d (wiek 15 lat)		<p>Stan rur osłonowych dobry.</p> <p>Stan filtra (kolumnowy, z PVC, szczelinowy) zadawalający, część czynna nie nosi śladów kolmatacji, w dolnej części filtra uszkodzenie, które powstało prawdopodobnie w czasie budowy studni – uszkodzenie to nie zagraża dalszej eksploatacji.</p> <p>Zalecane powtórzenie inspekcji telewizyjnej po roku jej eksploatacji</p>

Stwierdzono, że stan techniczny filtra najstarszej studni czwartorzędowej jest bardzo zły. Filtr jest w znacznym stopniu niedrożny z powodu blokowania przez wytrącone osady związków żelaza i manganu. Stan techniczny pozostałych studzien jest zadawalający. Spadek wydajności jednostkowej i zmiana jakości wody (podwyższone stężenie związków żelaza) został spowodowany głównie postępującą kolmatacją warstwy wodonośnej w strefie przegotowanej studni.

4.2. Badania przyczyn postojów i awaryjności ujęć głębinowych

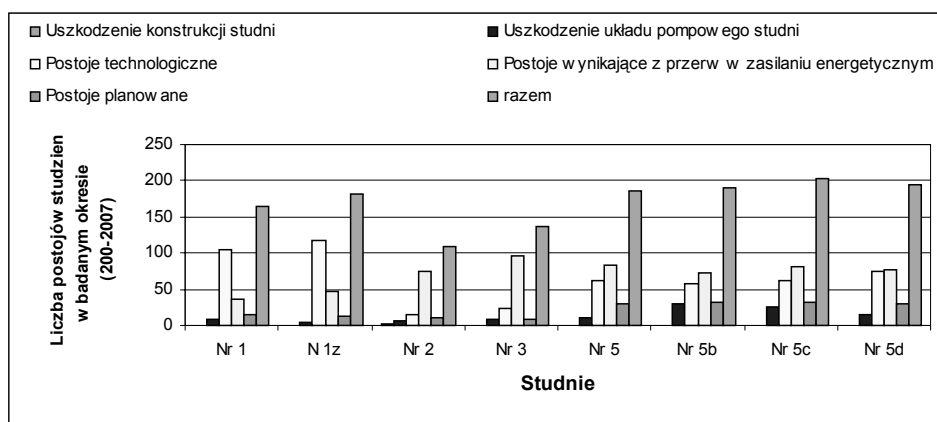
Dane dotyczące przyczyn postojów studzien, jak również czasu ich trwania, zebrano analizując istniejące zapisy eksploatacyjne ZWiK ujęte w raportach pracy ujęć wody i całego systemu Wodociągu „Dąbrowa” oraz w paszportach pracy urządzeń zainstalowanych w poszczególnych obiektach [8]. Zebrane informacje zestawiono w tabelach 5 i 6 oraz przedstawiono w formie graficznej na Rys. 4 i 5.

Tab. 5. Zestawienie sumaryczne przyczyn postoju wybranych studzien głębinowych Wodociągu „Dąbrowa”

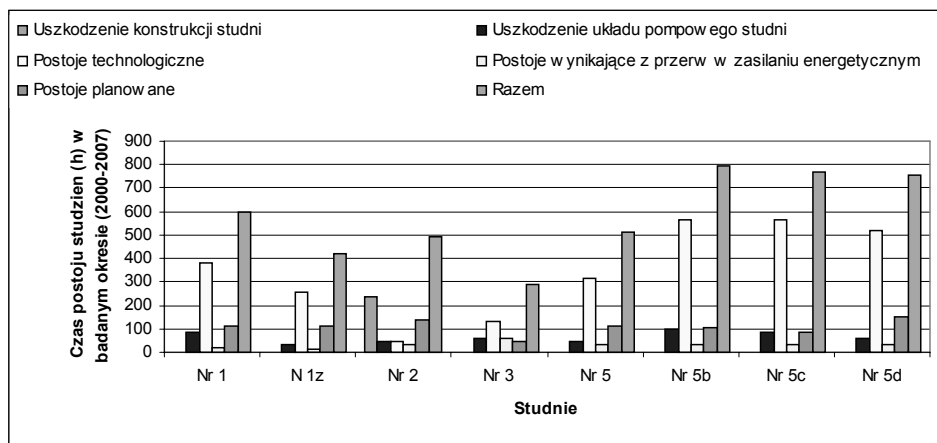
Lp.	Wyszczególnienie przyczyn postojów	Studnia							
		Liczba postojów studni (szt.) w badanym okresie (2002-2007)							
		Nr 1	N 1z	Nr 2	Nr 3	Nr 5	Nr 5b	Nr 5c	Nr 5d
1.	Uszkodzenie konstrukcji studni:	0	0	3	0	0	0	0	0
2.	Uszkodzenie układu pompowego studni:	8	5	6	8	10	29	25	16
a.	uszkodzenie agregatu pompowego (wymiana pompy)	4	2	2	3	3	6	2	1
b.	uszkodzenie kolumny rur pompowych (nieszczelność)	1	0	0	0	1	0	0	1
c.	uszkodzenie armatury wewnątrz obudowy studni	0	0	0	0	1	1	2	1
d.	uszkodzenie osprzętu elektrycznego n.n.	3	2	4	5	5	20	19	11
e.	uszkodzenie rurociągu tłoczego studni	0	1	0	0	0	2	2	2
3.	Postoje technologiczne:	105	118	15	24	62	57	64	74
a.	dyspozycje wynikające z ograniczeń produkcji:	93	108	7	11	35	37	39	50
b.	awaria magistral tłocznych DN350-DN750	4	4	3	6	21	14	17	15
c.	awaria w SUW	2	1	1	1	1	1	1	1
d.	postoje technologiczne wynik. z modernizacji SUW	6	5	4	6	5	5	7	8
4.	Postoje wynik. z przerw w zasilaniu energetycznym	37	74	74	96	84	73	81	76
a.	awarie na liniach odbiorczych 15kV	2	2	4	7	11	9	9	10
b.	awarie w stacjach trafo	1	1	0	0	1	0	1	1
c.	wyładowanie atmosferyczne	1	2	4	3	2	1	2	2
d.	zaniki napięć (od strony ŁZE SA)	33	41	66	86	70	63	69	63
5.	Postoje planowane	14	12	8	8	30	32	33	29
a.	konserwacja urządzeń technologicznych	7	3	3	1	3	3	3	2
b.	konserwacja urządzeń elektrycznych	7	7	8	4	8	9	10	6
c.	konserwacja urządzeń SN	0	2	0	3	19	20	20	21
6.	Razem:	164	209	100	136	186	191	203	195

Tab. 6. Czas postoju wybranych studzien Wodociągu „Dąbrowa” w latach 2000-2007

Lp.	Rodzaje postojów	Czas postoju studzien (h)							
		Nr 1	N 1z	Nr 2	Nr 3	Nr 5	Nr 5b	Nr 5c	Nr 5d
1.	Uszkodzenie konstrukcji studni	0	0	238	0	0	0	0	0
2.	Uszkodzenie układu pompowego studni	84	36	44	58	48	100	83	57
3.	Postoje technologiczne	384	254	46	130	315	563	567	518
4.	Postoje wynikające z przerw w zasilaniu energetycznym	17	16	32	60	33	31	34	35
5.	Postoje planowane	111	113	137	43	114	102	86	148
6.	Razem	596	419	495	290	510	796	769	757



Rys. 4. Liczba i rodzaj postojów wybranych studzien Wodociągu „Dąbrowa” w latach 2000-2007



Rys. 5. Czas postojów wybranych studzien Wodociągu „Dąbrowa” w latach 2000 -2007

Z zestawienia przyczyn postojów analizowanych studni (Tabela 5, Rys. 4) wynika, że największą liczbę wyłączeń odnotowano w przypadku studni czwartorzędowych. W drugiej kolejności były to studnie dolnokredowe nr 5 ujęcia „Grodzisko” oraz nr 1, a także nr 1z ujęcia „Dąbrowa”. Podstawową przyczyną postojów studzien były wyłączenia technologiczne, w szczególności z uwagi na dyspozycje ograniczenia produkcji Wodociągu „Dąbrowa”. Drugą, bardzo znaczącą przyczyną postojów były przerwy w zasilaniu energetycznym, głównie w wyniku przełączeń lub awarii w Łódzkim Zakładzie Energetycznym SA. Wyłączenia z powodu awarii eksploatowanych urządzeń i instalacji oraz ich planowej konserwacji stanowiły niewielką część postojów i dotyczą 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.

Najdłuższy czas postojów studni dotyczył otworów czwartorzędowych (Tabela 6, Rys. 5). Wśród studni dolnokredowych, studnia nr 1 ujęcia „Dąbrowa”, charakteryzowała się najdłuższym okresem wyłączenia z ruchu. Najkrótszy czas postojów stwierdzono w przypadku studni nr 2 ujęcia „Stare Górkki”. Czas postoju poszczególnych studzien nie jest w pełni adekwatny do przyczyn ich wyłączenia z ruchu. Najdłuższe przerwy w pracy studzien wynikają z dyspozycji ograniczenia produkcji Wodociągu „Dąbrowa”. Na drugim miejscu lokują się wyłączenia planowe powodowane koniecznością wykonania robót konserwacyjnych. Najkrótszy czas postoju wynikał z przerw w zasilaniu energetycznym.

5. Wnioski

1. Obiektami znajdującymi się w najgorszym stanie technicznym pośród analizowanych studni okazały się najstarsze studnie dolnokredowe. Świadczą o tym zarówno wyniki przeprowadzonych badań zmian parametrów ich pracy i jakości ujmowanej wody wykonane w oparciu o zapisy eksploatacyjne, jak również wyniki badań stanu rur konstrukcyjnych i filtra uzyskane w drodze inspekcji telewizyjnej otworów studziennych.
2. Badania wykazały, że najstarsze studnie dolnokredowe wymagają pilnej rekonstrukcji z uwagi na poważnie uszkodzone rury osłonowe oraz filtry (dziury, perforacja), jak również niedrożne szczeliny w filtrach. Skutkiem powstałych nieszczelności jest jednoczesny dopływ do studni wody z warstwy górno- i dolnokredowej powodujący zakłócenie równowagi chemicznej ujmowanej wody, a w ślad za tym postępujące zjawisko korozji rur konstrukcyjnych i filtra mogące doprowadzić do nagłego zawału studni.
3. W celu ograniczenia postępującego procesu niszczenia konstrukcji otworów studziennych należy zminimalizować ich ewentualne postoje, zarówno awaryjne, jak i planowe.
4. Analiza przyczyn i czasu tych postojów wykazuje, że przerwy w pracy studni spowodowane są głównie dyspozycjami ograniczenia produkcji wody Wodociągu „Dąbrowa”. Postoje wynikające z awarii eksploatowanych instalacji i urządzeń oraz rurociągów przesyłowych, jak również spowodowane przerwami w zasilaniu energetycznym, nie stanowią istotnego problemu, wymagają jednak bardziej szczegółowych badań zgodnie z teorią niezawodności.

5. Wykonanie analogicznej analizy stanu technicznego pozostałych studzien wchodzących w skład Wodociągu Dąbrowa” pozwoli na ustalenie zasad dalszej eksploatacji tego systemu tak, by ograniczyć do minimum zagrożenie awariami (zniszczenia) studni i potencjalne zakłócenia w dostawie wody do odbiorców.

Bibliografia

- [1] Jodłowski A., Piąstka W.: Wykorzystanie współczesnych technik diagnostycznych w eksploatacji studni głębinowych łódzkiego systemu wodociągowego. *Ochrona Środowiska*. 2008, 1(30): 39-43.
- [2] Zastany G.: Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych. Wydawnictwo Geologiczne Warszawa 1972
- [3] Houben G., Treskatis Ch.: Regeneracja studni. Oficyna Wydawnicza Projprzem – EKO. Bydgoszcz 2004.
- [4] Bauer A., Dietze G., Muller W., Soine K.J., Wedeling D.: Poradnik eksploatatora systemów zaopatrzenia w wodę. Wyd. Seidel-Przywecki Sp. z o.o. Warszawa 2005.
- [5] Przewłocki O., Tkaczenko A., Czarnocki K.: Studnie. Arkady. Warszawa 1961.
- [6] Wójcik W., Dziopak J., Dąbrowski W.: Badania nad zapobieganiem inkrustacji biologicznej studni. *GWITS*, 1985 nr 1 ss. 17-19.
- [7] W. Wójcik: Przyczyny spadku wydajności studni wierconych. *GWITS*, 1986 nr 4, ss. 82-84.
- [8] Materiały eksploatacyjne i dokumentacje techniczne ZWiK Sp. z o.o. w Łodzi.
- [9] Cyran J., Senderecki P., Piąstka W., Solnica J.: Analiza jakości wód podziemnych ujmowanych z wybranych studni czwartorzędowych, górnokredowych i dolnokredowych Wodociągu „Dąbrowa” w latach 1980-2002. Materiały z konferencji XX Krajowej, VIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Poznań, czerwiec 2006.
- [10] Kłoss Trębaczkiwicz H., Kwietniewski M., Roman M.: Wyniki badań i metoda oceny niezawodności działania ujęć wód podziemnych. *GWITS*, 1988, nr 5, ss. 87-92.
- [11] Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trębaczkiwicz H.: Niezawodność wodociągów i kanalizacji. Arkady. Warszawa 1993.
- [12] Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (Dz. U. Nr 72 z dnia 13 lipca 2001 r. poz. 747 z późniejszymi zmianami)
- [13] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 listopada 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. Nr 203 z dnia 29 listopada 2002 r.