

Helena Grabowska, Zdzisław Grabowski, Bogumił Rzerzycha, Jerzy Cyran

Wpływ zastąpienia wody powierzchniowej wodą podziemną na jakość wody oczyszczonej w systemie wodociągu „Sulejów-Łódź”

Wodociąg „Sulejów-Łódź”, oddany do eksploatacji w 1973 r., jest jednym z trzech systemów zaopatrujących aglomerację łódzką w wodę przeznaczoną do spożycia i na potrzeby gospodarcze. Od czasu uruchomienia do maja 2004 r. pracował w oparciu o wody powierzchniowe ujmowane z wybudowanego w tym celu Zbiornika Sulejowskiego na Pilicy. W czasie projektowania wodociągu zakładano, że jakość wody w zbiorniku będzie odpowiadała wymaganiom I klasy czystości wód śródlądowych, co nie zostało potwierdzone wynikami badań jakości wody ujmowanej w latach 1973–2004. Badania wykazały, że z roku na rok jakość wód powierzchniowych ulegała pogorszeniu.

Oczyszczanie wody, szczególnie w okresie spływów powodziowych, wymagało bardzo rozbudowanej technologii z zastosowaniem pylistego węgla aktywnego, doboru odpowiednich reagentów chemicznych i ich wysokich dawek. Wzrost wymagań stawianych wodzie przeznaczonej do spożycia powodował, że zdarzały się sytuacje, w których – pomimo zastosowania ściślego reżimu technologicznego – nie można było zachować wszystkich wskaźników jakości wody w granicach określonych przepisami. W związku z tym zaczęto poszukiwać rozwiązań, które gwarantowałyby uzyskanie wody oczyszczonej na bardzo dobrym poziomie jakościowym, niezmiennym w przekroju całego roku. Najszybszym do osiągnięcia sposobem na poprawę jakości wody było najpierw rozcieńczanie wody powierzchniowej wodą podziemną z już istniejących studni, a następnie zastąpienie wody powierzchniowej wodą podziemną z nowo wybudowanych studni w rejonie ujęcia w Bronisławowie. Od maja 2004 r. w systemie wodociągu „Sulejów-Łódź” ujmowana i oczyszczana jest wyłącznie woda podziemna. Wartości wskaźników jakości wody kierowanej do miasta są dużo niższe od dopuszczalnych, a koszt oczyszczania wody uległ znacznemu obniżeniu.

Czynniki wpływające na jakość wody w Zbiorniku Sulejowskim

Zbiornik Sulejowski jest sztucznym jeziorem zaporowym, pełniącym funkcję zbiornika retencyjnego, gromadzącym wody ze zlewni Pilicy z obszaru około 5 tys. km². Jakość wody w zbiorniku jest bardzo zmienna i zależna od pory roku, warunków atmosferycznych, jakości wód spływających ze zlewni rzeki w czasie roztopów i powodzi oraz intensywności zakwitów planktonu, w tym sinic.

Najbardziej niekorzystny wpływ na jakość wód powierzchniowych mają spływy powodziowe. Naniesiony ogromny

ładunek zanieczyszczeń w sprzyjających warunkach atmosferycznych (wysoka temperatura, duże nasłonecznienie) stanowi duże zagrożenie dla jakości wody, jak również jest bardzo dobrą pożywką do rozwoju organizmów planktonowych. W letnich okresach powodziowych pojawiają się na powierzchni zbiornika silne zakwity sinic, które w fazie obumierania uwalniają do wody produkty rozpadu w postaci toksyn. W latach 1993–2003 sześciokrotnie wystąpiły spływy wód powodziowych, w czasie których barwa wody wynosiła 60+180 gPt/m³, a jej utlenialność zmieniała się w zakresie 16+31 gO₂/m³. Maksymalne wartości wybranych wskaźników jakości wody ujmowanej ze Zbiornika Sulejowskiego w latach 1993–2003 przedstawiono w tabeli 1.

Technologia oczyszczania wód powierzchniowych

Oczyszczanie wód powierzchniowych o przeciętnym ładunku zanieczyszczeń nie sprawiało trudności technologicznych. Problemy pojawiały się w czasie ujmowania silnie zanieczyszczonych wód powodziowych, roztopowych lub wód w czasie zakwitów sinic. Aby oczyszczona w tych okresach woda odpowiadała obowiązującym wymaganiom, konieczne było zastosowanie bardzo rozbudowanej technologii, dobranie najskuteczniejszych koagulantów i stosowanie ich wysokich dawek. Pomimo to zdarzały się sytuacje, kiedy wartości takich wskaźników, jak mętność, zawartość chloroformu czy związków manganu, nie udało się obniżyć do wartości dopuszczalnych.

Zaostrzenie problemów w oczyszczaniu wód powierzchniowych nastąpiło po wprowadzeniu kolejnych aktualizacji rozporządzenia Ministra Zdrowia, dotyczącego jakości wody przeznaczonej do spożycia. Nowe wymagania spowodowały konieczność wprowadzenia nowych procesów jednostkowych w technologii oczyszczania wody, takich jak:

- utlenianie wstępne dwutlenkiem chloru,
 - usuwanie produktów ubocznych utleniania dwutlenkiem chloru (chlorynów) siarczanem żelaza(II),
 - alkalizacja wodorotlenkiem sodu.
- W ostatnich latach w czasie ujmowania wód powodziowych stosowano równocześnie następujące procesy jednostkowe:
- utlenianie wstępne domieszek wody dwutlenkiem chloru lub awaryjnie chlorem,
 - usuwanie produktów ubocznych utleniania (chlorynów) siarczanem żelaza(II),
 - alkalizacja wstępna wapnem hydratyzowanym,
 - sorpcja na pylistym węglu aktywnym,

Tabela 1. Zestawienie wskaźników jakości wody ujmowanej ze Zbiornika Sulejowskiego w systemie „Sulejów-Łódź” w latach 1993–2003 (wartości maksymalne w roku)

Wskaźnik, jednostka	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Temperatura, °C	20,5	25,2	23,7	21,5	22,0	23,0	22,3	21,5	21,5	24,0	20,0
Barwa, gPt/m ³	50	62	46	92	150	62	126	108	176	78	52
Mętność, g/m ³	27,0	28,0	30,0	30,0	17,0	13,0	30,0	7,0	13,0	15,3	12,3
pH, –	8,90	8,90	8,90	8,70	8,75	8,60	8,90	8,20	8,50	9,05	8,85
Zasadowość og., val/m ³	3,1	2,9	3,1	3,4	3,2	2,9	2,9	3,2	3,1	3,1	3,2
Utlialność, gO ₂ /m ³	10,0	16,0	13,2	17,4	31,2	12,6	24,4	20,8	28,0	16,0	9,6
ChZT, gO ₂ /m ³	38,4	38,3	37,6	54,0	46,0	43,7	57,6	38,4	54,0	36,0	28,6
Mangan, gMn/m ³	0,18	0,50	0,37	0,85	0,30	0,35	2,03	0,35	0,25	0,24	0,29
Żelazo ogólne, gFe/m ³	0,68	0,85	0,95	1,50	1,10	1,10	0,45	0,65	1,50	1,00	0,90

– koagulacja, flokulacja i sedymentacja w klarownikach z warstwą osadu zawieszonoego,

– końcowa alkalizacja wapnem hydratyzowanym i ługiem sodowym,

– filtracja pospieszna przez złoża piaskowe i antracytowo-piaskowe,

– ozonowanie,

– dezynfekcja chlorem i dwutlenkiem chloru.

Biorąc pod uwagę liczbę stosowanych procesów i fakt, że dawki chemikaliów były bardzo wysokie, koszt oczyszczania wody był również wysoki.

Kierunki poprawy jakości wody

Rozporządzenia Ministra Zdrowia zaostrzające warunki, jakim powinna odpowiadać woda przeznaczona do spożycia przez ludzi, zmusiły do poszukiwania metod poprawy jakości wody produkowanej w systemie wodociągu „Sulejów-Łódź”. W latach 1999–2001 przeprowadzono badania w dwóch kierunkach:

– poprawa jakości wody oczyszczonej przez zastosowanie filtrów węglowych,

– poprawa wskaźników ujmowanej wody poprzez rozcieńczenie wody powierzchniowych wodą podziemną.

Koncepcja zastosowania filtrów węglowych opierała się na założeniu przeksztalcenia części filtrów ze złożem piaskowym na filtry ze złożem węglowym, z równoczesną zamianą ozonowania końcowego na ozonowanie pośrednie. Półtoraroczne badania wykazały, że do utrzymania dobrych warunków pracy węgla aktywnego konieczne byłoby kierowanie na złożę bardzo dobrze oczyszczonej wody, co w okresach powodziowych byłoby trudne do zrealizowania i nadal wymagałoby ponoszenia wysokich kosztów oczyszczania. Koncepcja rozcieńczania wody powierzchniowej wodą podziemną zakładała, że w czasie ujmowania silnie zanieczyszczonych wód będzie częściowo ograniczony pobór wody powierzchniowej, a różnica będzie uzupełniana wodą podziemną ze studni głębinowych. Liczne testy laboratoryjne wykazały, że rozcieńczenie wody powierzchniowej o bardzo złej jakości wodą podziemną o bardzo dobrych i stabilnych wskaźnikach jakościowych pozwoli na wyprodukowanie wody o dobrej jakości i mniejszym nakładem kosztów.

O wyborze kierunku poprawy jakości wody w systemie wodociągu „Sulejów-Łódź” zdecydował 2001 r., w którym do zbiornika dopłynęła letnia fala powodziowa o niespotykaniu wysokim ładunku zanieczyszczeń. Stworzona wcześniej,

przez uzyskanie pozwolenia wodnoprawnego, możliwość rozcieńczenia wody powodziowej wodą podziemną sprawiła, że możliwe było dotrzymanie wskaźników jakościowych wody kierowanej do miasta. Na podstawie udokumentowanych dużych zasobów wód podziemnych z pokładów górnokredowych o bardzo dobrej jakości w obrębie ujęcia w Bronisławowie, powstała nowa koncepcja stopniowego zastąpienia wody powierzchniowej wodą podziemną, aż do całkowitego wyeliminowania wody powierzchniowej. Powstał projekt budowy sześciu nowych studni głębinowych wokół doprowadzalnika, które razem z dwiema już pracującymi miały zapewnić ujęcie wody podziemnej w ilości 50 tys. m³/d, co zabezpieczyłoby planowane potrzeby w zaopatrzeniu miasta z omawianego systemu. Przeprowadzone liczne testy laboratoryjne wskazywały, że oczyszczanie wód podziemnych będzie znacznie prostsze niż wód powierzchniowych i będzie wymagało zastosowania następujących procesów jednostkowych:

– utlenianie wstępne chlorem,

– alkalizacja wapnem hydratyzowanym,

– filtracja pospieszna przez złoża piaskowe i antracytowo-piaskowe,

– dezynfekcja końcowa dwutlenkiem chloru lub chlorem.

Z badań wynikało, że podniesienie pH wody wapnem hydratyzowanym spowoduje wytrącenie związków żelaza i manganu, które następnie zostaną zatrzymane w złożach filtrów pospiesznych.

Etapy budowy ujęcia wód podziemnych w Bronisławowie

W 2002 r. została podjęta decyzja o budowie kompleksu studni głębinowych w Bronisławowie. Inwestycję rozpoczęto od modernizacji już istniejących dwóch studni, a następnie wybudowano kolejnych pięć. Realizacja inwestycji w zakresie włączania studni do systemu wodociągowego przebiegała następująco:

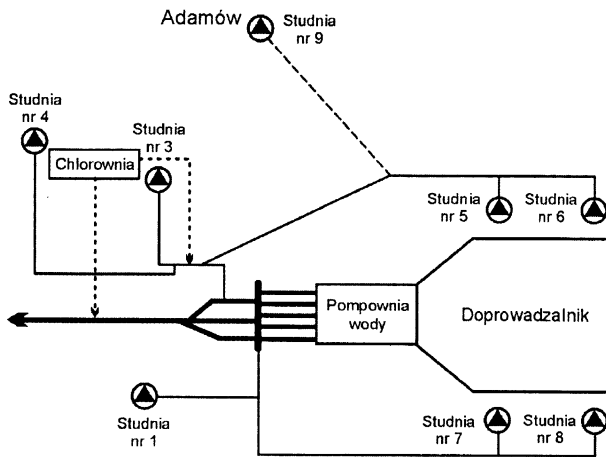
– 2002 r.: włączono zmodernizowane studnie nr 1 i nr 3, o łącznej wydajności 14 tys. m³/d,

– 2003 r.: włączono nowo wywiercone studnie nr 5 i nr 6 oraz w ograniczonym zakresie studnię nr 4; łączna wydajność wszystkich studni na tym etapie wynosiła 36 tys. m³/d.

– 2004 r.: włączono nowe studnie nr 7 i nr 8.

Jednocześnie oddano do eksploatacji zmodernizowaną chlorownię, umożliwiającą zastosowanie utleniania wstępnego za pomocą chloru w trybie automatycznym. W przyszłości planuje się włączenie studni nr 9, zlokalizowanej w miejscowości Adamów. Łączna wydajność ujęć wód podziemnych w Bronisławowie będzie wówczas wynosiła 57,6 tys. m³/d.

Nowo wybudowane studnie mają głębokość około 140 m i ujmują wodę podziemną z pokładów górnokredowych o bardzo dobrych i stabilnych wskaźnikach jakościowych. Schemat ujęcia wód podziemnych ze studni głębinowych w Bronisławowie przedstawiono na rysunku 1, natomiast udział wody podziemnej w rocznej produkcji wodociągu „Sulejów-Łódź” w latach 2002–2004 podano w tabeli 2.



Rys. 1. Schemat ujęcia wód podziemnych w Bronisławowie

Tabela 2. Pobór wody przez system wodociągu „Sulejów-Łódź”

Rok	Produkcja roczna	Pobór wód powierzchniowych	Pobór wód podziemnych	Udział wody podziemnej w produkcji rocznej
				%
		mln m ³		
2002	14,14	13,32	0,82	5,8
2003	12,56	7,87	4,69	37,3
2004	12,69	2,30	10,39	81,9

Tabela 3. Zestawienie wskaźników jakości wody podziemnej ujmowanej z poszczególnych studni w Bronisławowie w systemie wodociągu „Sulejów-Łódź” (wartości średnie z IV kwartału 2004 r.)

Wskaźnik, jednostka	Nr 1	Nr 2*	Nr 3	Nr 4	Nr 5	Nr 6	Nr 7	Nr 8
Temperatura, °C	9,8	9,4	9,5	10,0	9,8	9,8	10,2	10,2
Barwa, gPt/m ³	6,0	2,0	6,0	8,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Mętność, NTU	1,0	1,0	2,0	3,0	1,0	1,0	1,0	1,0
pH, –	7,50	7,50	7,50	7,40	7,40	7,40	7,50	7,50
Zasadowość ogólna, val/m ³	3,2	3,2	3,8	4,2	3,8	3,8	3,3	3,6
Azot amonowy, gNH ₄ ⁺ /m ³	0,10	nw.	0,13	0,13	0,10	0,10	0,08	0,08
Azotany, gNO ₃ ⁻ /m ³	0,40	26,0	0,40	0,10	0,40	0,30	0,70	0,35
Azotyiny, gNO ₂ ⁻ /m ³	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016	<0,016
Wapni, gCa/m ³	61,6	84,0	76,0	78,4	76,0	72,0	73,6	72,0
Przewodność wł., μS/cm	345	477	403	425	420	396	397	377
Utlenialność, gO ₂ /m ³	1,2	1,1	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2
ChZT, gO ₂ /m ³	1,70	1,40	1,80	1,90	1,60	1,40	1,50	1,50
BZT ₅ , gO ₂ /m ³	0,40	0,40	0,50	0,50	0,40	0,40	0,50	0,40
Zawiesiny ogólne, g/m ³	0,40	0,30	0,30	0,50	0,30	0,30	0,40	0,40
Chlorki, gCl ⁻ /m ³	8,5	15,0	9,0	7,0	10,0	7,5	10,0	7,5
Siarczany, gSO ₄ ²⁻ /m ³	18,5	18,5	21,0	19,5	22,6	19,5	21,0	21,8
Fenole lotne, g/m ³	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Żelazo ogólne, gFe/m ³	0,42	0,02	0,55	0,70	0,25	0,27	0,20	0,23
Mangan, gMn/m ³	0,08	0,02	0,09	0,11	0,07	0,07	0,06	0,06

*Studnia nr 2 (z utworów czwartorzędowych) pracuje na potrzeby socjalno-bytowe ujęcia wody w Bronisławowie

Eksploracja wodociągu „Sulejów-Łódź” w warunkach ujmowania wód podziemnych

Od połowy maja 2004 r. wodociąg „Sulejów-Łódź” pracuje wyłącznie w oparciu o wody podziemne z ujęć w Bronisławowie, z maksymalną dobową wydajnością 50 tys. m³/d. Zakłada się, że ujęcie wód powierzchniowych będzie włączane do eksploatacji tylko jako uzupełnienie ujmowanych wód podziemnych, w czasie awarii lub planowanych postojów pozostałych dwóch systemów wodociągowych zaopatrujących miasto w wodę. Woda podziemna charakteryzuje się bardzo dobrymi wskaźnikami jakościowymi. Wszystkie wskaźniki, oprócz żelaza i manganu, zawierają się w granicach wartości dopuszczalnych określonych w obecnych przepisach krajowych. Zestawienie wartości wskaźników jakości wód podziemnych ze studni głębinowych w Bronisławowie przedstawiono w tabeli 3.

W oczyszczaniu wody najważniejszym procesem jest usunięcie ponadnormatywnej zawartości związków żelaza i manganu. Utlenianie wstępne wody chlorem na ujęciu w Bronisławowie i alkalizacja wapnem hydratyzowanym w stacji w Kalinku powodują skuteczne wytrącanie związków żelaza i manganu. Powstały osad jest częściowo zatrzymywany w klarownikach, a w większej części w złożu filtracyjnym, skąd okresowo usuwany jest w czasie konserwacji klarowników i płukania złoża filtracyjnego. Po dezynfekcji dwutlenkiem chloru woda przesyłana jest do zbiorników wody czystej w pompowni „Chojny”, skąd kierowana jest do miejskiej sieci wodociągowej. Stosowane dawki dezynfektantów są bardzo małe, wykraczające poza zakresy dotychczasowych urządzeń dawkujących, stosowanych w oczyszczaniu wód powierzchniowych. Do precyzyjnego dawkowania małych ilości reagentów chemicznych należało przystosować urządzenia istniejące lub wymienić na nowe. Wyeliminowanie wielu procesów jednostkowych w oczyszczaniu wód podziemnych i obniżenie zużycia surowców chemicznych spowodowało bardzo znaczne obniżenie kosztów oczyszczania wody.

Tabela 4. Zestawienie wskaźników jakości wody podawanej do sieci wodociągowej Łodzi

Wskaźnik, jednostka	Ujmowanie wody powierzchniowej 2001 r.	Ujmowanie wody podziemnej I kw. 2005 r.	Wartość dopuszczalna
Barwa, gPt/m ³	3,7	2,0	15
Mętność, NTU	0,38	0,24	1
Utlenialność, gO ₂ /m ³	2,53	0,84	5,00
Żelazo ogólne, gFe/m ³	0,03	0,01	0,20
Mangan, gMn/m ³	0,02	0,006	0,05

Zamiana ujmowanej wody powierzchniowej na podziemną spowodowała poprawę jakości wody podawanej do sieci wodociągowej Łodzi (tab. 4) oraz znaczne uproszczenie technologii oczyszczania w zakresie stosowanych procesów jednostkowych. Z dziewięciu jednostkowych procesów, stosowanych w czasie ujmowania wody powierzchniowej, obecnie pozostały cztery:

- utlenianie wstępne chlorem,
- alkalizacja wapnem hydratyzowanym,
- filtracja pospieszna,
- dezynfekcja końcowa dwutlenkiem chloru.

Z jedenastu reagentów chemicznych stosowanych w czasie ujmowania wody powierzchniowej pozostały cztery, tj. chlor, wapno hydratyzowane, chloryn sodu i kwas solny, co spowodowało obniżenie kosztów jednostkowych oczyszczania wody wynikających ze stosowania reagentów chemicznych. Koszt oczyszczania wody w czasie ujmowania wody powierzchniowej (2001 r.), wynikający tylko ze stosowania chemikaliów, wynosił 0,20 zł/m³, natomiast podczas ujmowania wody podziemnej (I kw. 2005 r.) zmniejszył się do 0,02 zł/m³, co daje obniżenie kosztów o 90%.

Wnioski

◆ Na skutek zastrzonych wymagań, stawianych wodom powierzchniowym wykorzystywanym do zaopatrzenia ludności oraz wodzie przeznaczonej do spożycia, dokonano

w systemie wodociągu „Sulejów-Łódź” zamiany ujmowanej wody powierzchniowej na podziemną.

◆ Oczyszczanie wody podziemnej realizowane jest na istniejących urządzeniach. Przepływ przez urządzenia, w których nie zachodzą procesy technologiczne powoduje napowietrzenie wody, ułatwiające wytrącanie związków żelaza i manganu.

◆ Wprowadzona zamiana spowodowała poprawę jakości wody kierowanej do sieci wodociągowej, uproszczenie technologii jej oczyszczania, obniżenie zużycia reagentów chemicznych oraz znaczne obniżenie kosztów jednostkowych oczyszczania wody.

◆ Woda oczyszczona w systemie wodociągu „Sulejów-Łódź” charakteryzuje się bardzo dobrymi i stabilnymi wskaźnikami jakościowymi, a jej pH i zasadowość powodują, że woda wodociągowa nie ma właściwości korozyjnych.

LITERATURA

1. A. L. KOWAL, M. ŚWIDERSKA-BRÓŻ: Oczyszczanie wody. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Wrocław 1996.
2. Z. GRABOWSKI, B. RZERZYCHA, H. GRABOWSKA, M. WYBÓR, J. CYRAN, J. SOLNICA: Wstępne utlenianie domieszek wody dwutlenkiem chloru i usuwanie produktów ubocznych utleniania na przykładzie wodociągu Sulejów-Łódź. *Ochrona Środowiska*, 2001, nr 3, ss. 45–48.
3. H. GRABOWSKA, Z. GRABOWSKI, B. RZERZYCHA, J. CYRAN, A. K. M. KABZIŃSKI: Ocena skuteczności usuwania mikrocytyny LR w procesach uzdatniania wody powierzchniowej w systemie wodociągu „Sulejów-Łódź”. *Ochrona Środowiska*, 2003, nr 4, ss. 51–56.
4. A. WOLBORSKA, R. ZARZYCKI, J. CYRAN, H. GRABOWSKA, M. WYBÓR: Ocena biologicznej aktywności filtrów węglowych w uzdatnianiu wód powierzchniowych na przykładzie wodociągu „Sulejów-Łódź”. *Ochrona Środowiska*, 2003, nr 4, ss. 27–32.
5. M. ŚWIDERSKA-BRÓŻ, I. KRUPIŃSKA: Skuteczność procesu koagulacji w usuwaniu związków żelaza z wód podziemnych. *Ochrona Środowiska*, 2002, nr 3, ss. 9–13.
6. Z. GRABOWSKI: Eksploatacja wodociągu Sulejów-Łódź w latach 1998–2003. *Gospodarka wodna*, 2003, nr 12, ss. 507–511.

Grabowska, H., Grabowski, Z., Rzerzycha, B., Cyran, J. Upgrading the Quality of Drinking Water by Substitution of a Deep-Well Intake for the Existing Surface Water Intake at an Impoundment Lake: A Case Study. *Ochrona Środowiska* 2005, Vol. 27, No. 3, pp. 43–46.

Abstract: The object under study was the Water Supply System Sulejów-Łódź, which provides the city of Łódź (over million inhabitants) with drinking water. The water is drawn from an impoundment lake (Sulejów). In the past 10 years, the quality of the lake water has been deteriorating and fails to meet the more and more stringent standards. The continuing deterioration has also had a detrimental effect on the treatment and the

costs involved. All this triggered the search for an alternative approach. Thus, in their effort to upgrade the quality of the treated water, the Waterworks of Łódź decided to use deep-well water instead of surface-water intakes. Such substitution requires adaptation of the treatment train and relevant equipment to the two stages of transition: the first one involving a mixture of both surface water and groundwater, and the second one using deep-well water alone. In conclusion, the paper itemizes the technological and economic benefits of switching from surface water to deep-well water treatment.

Keywords: Surface water, groundwater, water quality, water treatment.