

Alicja Kowal

UZDATNIANIE WODY ZE ZBIORNIKA ZAPOROWEGO DOBROMIERZ

Charakterystyka zbiornika

Woda ujmowana ze zbiornika zaporowego Dobromierz przeznaczona jest dla zaopatrzenia rejonu Świebodzic. Zbiornik wodny Dobromierz zlokalizowany jest na obszarze Podgórze Bolkowskiego i Wałbrzyskiego w Sudetach Środkowych. Zasilany jest wodą rzeki Strzegomki, która od źródeł do Dobromierza ma charakter rzeki górskiej o średnim spadku 20,5‰. Powierzchnia zlewni wynosi 80 km². Przewiduje się zatrzymanie całej ilości wody w zbiorniku z odprowadzaniem w rzece jedynie przepływu sanitarnego.

Zbiornik został wykonany w latach 1978÷88. Pojemność całkowita zbiornika wynosi 11,65 mln m³, w tym użytkowa 8,3 mln m³. Powierzchnia zalewu wynosi 114 ha, a średnia głębokość zbiornika przy maksymalnym piętrzeniu 27 m wynosi 10,25 m, zaś przy minimalnym piętrzeniu 10,0 m głębokość ta wynosi 3,6 m.

Czasza zbiornika jest asymetryczna; w obszarze ujścia rzeki panują warunki płytkiego stawu. W końcowej części zbiornika, przylegającej do zapory o maksymalnej głębokości 27 m, panują warunki sprzyjające wystąpieniu uwarstwienia termicznego. Wahania poziomu oraz upust wody z dolnych części zapory prowadzić będą do zmiany stosunków termicznych i składu fizyczno-chemicznego wody, typowych dla jezior o tej głębokości. Cechy morfometryczne zbiornika, tj. objętość strefy pelagialnej oraz powierzchnia zwierciadła wody tej strefy klasyfikują go na granicy przydatności do celów wodociągowych.

Zlewnia zbiornika ma charakter rolniczy z niewielkim przemysłem typu usługowego. Istniejące osiedla posiadają zabudowę luźną wzdłuż koryta Strzegomki i ośmiu jej dopływów. Zaopatrzenie w wodę i odprowadzanie ścieków nie jest zorganizowane; ścieki z gospodarstw wywożone są na pola uprawne lub odpływają bezpośrednio do odwadniających zlewnię cieków, stanowiąc główne źródło zanieczyszczenia Strzegomki.

Jakość wody

Jakość wody w zbiorniku określono na podstawie badań składu fizyczno-chemicznego wód Strzegomki, prowadzonych w latach 1979÷80 [1]. Wartości ekstremalne oraz średnie wskaźników jakości wody podano w tabeli 1.

Woda z rzeki Strzegomki była miękka i o średniej twardości, o małym i średnim stopniu mineralizacji,

posiadała okresowo podwyższoną mętność, bardzo nieznacznie barwę, a także okresowo podwyższone ilości związków azotowych, organicznych oraz żelaza i manganu. W wodzie stwierdzono obecność niewielkiej ilości pestycydów i metali ciężkich. Wodę ze Strzegomki zaliczono do II klasy czystości wód powierzchniowych; sporadycznie duże ilości zawiesin, a także wskaźniki hydrobiologiczne i bakteriologiczne klasyfikowały wodę do III klasy czystości. Na podstawie tego składu wody prognozowano, że woda w zbiorniku będzie posiadała zwiększoną mętność [1].

Przewidywano znaczny wzrost stężeń związków biogennych w wodach zbiornika, w porównaniu do wód Strzegomki, na skutek spływów rolniczych z nawożonych terenów rolniczych zlewni zbiornika. Prognozowano także masowy rozwój planktonu z podwyższeniem mętności, pH (nawet do 11,0), wzrostem barwy, pogorszeniem właściwości organoleptycznych wody oraz wzrostem zanieczyszczeń organicznych.

Oceny jakości wody w zbiorniku dokonano na podstawie badań w pierwszym roku eksploatacji zbiornika, wykonanych w okresie 06.1988÷09.1989 (tab. 1) [2]. Badaną wodę zakwalifikowano do wód miękkich o średnim stopniu mineralizacji, o odczynie alka-

Tabela

Skład fizyczno-chemiczny wody

Wskaźnik	Jedn.	rz. Strzegomka			zb. Dobromierz		
		min.	max.	śred.	min.	max.	śred.
Mętność	g/m ³	2	40	6	3	15	—
Barwa	g Pt/m ³	2	25	7	5	20	10
Zapach	—	z1R	z1R	z1R	z1R	z1R	z1R
pH	—	7,6	8,5	8,1	7,9	9,2	4 8,5
Zasadowość F	val/m ³	—	—	—	0,0	0,3	1 —
Zasadowość M	val/m ³	1,25	3,6	2,4	1,4	2,5	20,0
Twardość og.	°tw.	7,8	15,3	11,5	9,2	11,5	29,9
Wapń	g Ca/m ³	36,4	73,6	53,0	38,2	54,3	,3
Magnez	g Mg/m ³	6,0	21,4	16,0	16,1	—	7,3
Chlorki	g Cl ⁻ /m ³	21,0	37,0	29,0	25	30	—
Żelazo og.	g Fe/m ³	0,0	1,6	0,31	0,0	0,19	,88
Mangan	g Mn/m ³	0,0	0,22	0,02	0,0	0,042	0,00
Azot amonowy	g N/m ³	0,24	1,52	0,52	0,0	0,5	0,09
Azot azotanowy	g N/m ³	0,005	0,15	0,034	0,005	0,18	,042
Azot azotanowy	g N/m ³	0,8	6,48	2,59	0,07	6,4	2,9
Azot organiczny	g N/m ³	—	—	—	0,9	2,8	—
Utlenialność	g O ₂ /m ³	2,2	9,6	4,81	4,1	11,4	6,0
Tlen	g O ₂ /m ³	9,0	13,4	11,2	—	—	—
Krzemionka	g SiO ₂ /m ³	—	—	—	0,0	10,0	—
Fosforany	g PO ₄ ⁻ /m ³	0,13	0,52	0,25	0,0	0,05	—
BZT ₅	g O ₂ /m ³	1,2	8,0	3,47	1,5	6,0	—
OWO	g C/m ³	—	—	—	1,3	17,9	5,6
Sód	g Na/m ³	10,0	13,8	12,0	9,0	13,0	10,0
Potas	g K/m ³	3,6	5,0	4,4	3,0	7,5	5,9
Siarczany	g SO ₄ ⁻ /m ³	38	83	55	63,5	77,9	67,7
Ciała rozp.	g/m ³	140	458	285	253	362	327
Zawiesiny og.	g/m ³	4	253	27	0	46	11,0
Miano coli	—	—	—	—	0,4	20	—
NPL	—	—	—	—	5	340	—

licznym. Skład wody zbiornika wskazuje na lepszą jej jakość w porównaniu do wód Strzegomki. Okresowo posiada ona nieznacznie podwyższoną mętność oraz zawartość związków organicznych. Należy do wód niekorozyjnych. Zalicza się ją do II klasy czystości, a okresowo nawet do I klasy. Badania hydrobiologiczne [2] wskazują, że woda znajduje się w strefie mezosaprobowej. Dominują organizmy z grupy zielenic i okrzemek, które są organizmami wskaźnikowymi wód czystych. Obserwowano wzrost mikroorganizmów był w granicach $20 \div 30\%$ populacji. Zarówno analiza fizyczno-chemiczna jak i hydrobiologiczna wody wskazuje, że skład wody nie jest jeszcze w pełni ustabilizowany, jednakże w wyniku przemian metabolicznych obserwowano wzrost pH wody, niekiedy nawet powyżej 9,0.

Mimo projektowanych stref ochronnych zbiornika, źródła zanieczyszczeń nie zostały zlikwidowane. W okresie badań stwierdzono falowe zanieczyszczenie wody ściekami, co spowodowało wzrost wskaźników zanieczyszczenia organicznego (utlenialność, BZT₅, OWO, azot organiczny) oraz wzrost bakterii i pierwotniaków (nie obserwowano wzrostu sinic — organizmów wskaźnikowych wód zanieczyszczonych). Wymienione wskaźniki, w wyniku przemian zachodzących w zbiorniku, ulegały dość szybko obniżaniu z wyjątkiem OWO.

Ochrona jakości wód zbiornika

Celem ochrony wód w zbiorniku rozpatrzono eliminację źródeł zanieczyszczeń, którymi są ścieki sanitarne, deszczowe i hodowlane w całej zlewni [3]. Cały zbiornik objęto strefą ochrony bezpośredniej wraz z pasem linii brzegowej o szerokości $30 \div 50$ m, zależnie od ukształtowania terenu. W strefie bezpośredniej zaprojektowano pas traw o szerokości do 40 m i następnie zalesienie terenu do 100 m. Z uwagi na rozległą linię brzegową ogrodzeniem stałym zabezpieczono jedynie miejsca przyległe do terenów zabudowanych. Pozostałą część strefy zabezpieczono tablicami ostrzegawczymi i zakazami.

Zlewnię powyżej zbiornika objęto strefą ochrony sanitarnej pośredniej ze zmniejszeniem ograniczeń gospodarczych w kierunku źródła cieku. W terenie cofkowym zbiornika przewidziano strefę pośrednią o pełnym ograniczeniu, tj. założono uporządkowanie gospodarki ściekowej poprzez skanalizowanie wsi. Dla ścieków hodowlanych przyjęto magazynowanie indywidualne z wywozem na pola w odpowiednich terminach agrotechnicznych, natomiast dla ścieków deszczowych zaprojektowano zbiornik wstępny. W zbiorniku wstępnym przewidziano, oprócz wytrącania zanieczyszczeń, prowadzenie biologicznego i mechanicznego usuwania substancji biogennej dla zapewnienia ochrony zbiornika głównego przed eutrofizacją. W tym celu proponuje się w zbiorniku wstępnym zastosowanie filtru biologicznego poprzez wykonanie w cofce zbiornika półek z roślinnością szuwarową o zalewie 0,8 m [3]. Roślinność szuwarowa, którą stanowią rdestnice, rzęśle, wywłóczniki i rogateki, należy wykaszować w końcu okresu wegetacyjnego, w związku z czym przewiduje się, że wraz z wykoszoną roślinnością usunie się ok. 700 kg azotu

i 70 kg fosforu, a także metale ciężkie. Podobny ładunek zanieczyszczeń zostanie związany przez system korzeniowy roślin.

Uwzględniając bilans substancji biogennej w zlewni należy sądzić, że zaprojektowany zbiornik wstępny z zabudową biologiczną będzie stanowił skuteczną ochronę zbiornika właściwego [4].

Zakład uzdatniania wody

Prognoza jakości wody w zbiorniku, określona na podstawie zmienności składu fizyczno-chemicznego wody ze Strzegomki, była podstawą do ustalenia technologii oczyszczania wody. W projektowanych procesach oczyszczania wody uwzględniono trudności technologiczne powodowane niskimi temperaturami wody w miesiącach zimowych, masowym rozwojem fito- i zooplanktonu, nagłymi zmianami jakości wody zachodzącymi wskutek wiosenno-jesiennego wymieszania, bądź na skutek eksploatacji zbiornika.

Ostatecznie dla uzyskania właściwej jakości wody w ZUW o wydajności 40 000 m³/d zaprojektowano:

- Wstępne utlenianie przy użyciu chloru i nadmanganianu potasowego dla zniszczenia planktonu; nadmanganian potasowy zaleca się stosować wówczas, gdy chlorowanie powoduje intensyfikację smaku i zapachu.
- Wstępną filtrację na mikrositach o oczkach $1,5 \div 25 \mu\text{m}$ dla usunięcia planktonu.
- Koagulację siarczanem glinowym i solami żelaza wraz z sedymentacją dla usunięcia barwy, mętności i obniżenia ilości związków organicznych. Przewidziano intensyfikację koagulacji przez stosowanie pylistego węgla aktywnego, wapna, krzemionki aktywowanej, chloru, względnie nadmanganianu potasowego oraz polielektrolitów organicznych. Węgiel aktywowany pylisty w połączeniu z chlorem lub nadmanganianem potasowym umożliwi usunięcie mikrozanieczyszczeń, pestycydów, substancji powierzchniowo czynnych oraz wpłynie na poprawę właściwości organoleptycznych wody, a także przyczyni się do stabilizacji osadu w osadnikach. Ponadto utleniacze utlenią siarczany żelazawy, a także przyspieszą proces koagulacji, w przypadku występowania w wodzie koloidów ochronnych. Dawkowanie wapna przewidziano przede wszystkim dla umożliwienia hydrolizy koagulantów, szczególnie w okresach niskiej zasadowości wody. Stosowanie krzemionki aktywowanej ma na celu zwiększenie wytrzymałości kłaczków oraz poprawę efektów flokulacji i sedymentacji, zwłaszcza w okresie obniżonej temperatury.
- Filtrację pospieszną, którą połączono z sorpcją.
- Dezynfekcję ozonem lub chlorem, albo też obydwoma reagentami w odstępach czasowych.

Z uwagi na występujące okresy o niskim poziomie zanieczyszczenia wody zaprojektowano ominięcie koagulacji objętościowej i przewidziano prowadzenie koagulacji bezpośrednio w złożach filtrów pospiesznych. W układzie funkcjonalnym obiektów wykorzystano konfigurację podgórskiego terenu i rozwiązano przepływ wody przez urządzenia grawitacyjne (rys. 1) [5, 6].

Ujęcie wody stanowi wieża ujęciowa, zlokalizowana w najgłębszej części zbiornika z trzema poziomami wlotów wody (różnica zwierciadeł 16,5 m) do rurociągów ZUW. Wloty zabezpieczone są kratami o prześwicie 200 mm. Dla ustabilizowania ciśnienia w rurociągach wody surowej zaprojektowano wieżę przelewową wyposażoną dodatkowo w kraty wymienne o prześwicie 5 lub 10 mm.

Następnym urządzeniem są mikrosita (3 jednostki) o średnicy 2,29 m i szerokości 1,52 m.

Do koagulacji zaprojektowano komory szybkiego mieszania o czasie przepływu wody 9 minut i komory wolnego mieszania o czasie przepływu 25 min. z mieszadłami mechanicznymi o regulowanej prędkości obrotowej.

Sedymentacja zachodzi w piętrowych osadnikach poziomych o czasie przepływu wody 2,5 h, z hydraulicznym spustem osadów.

Zaprojektowano 8 jednostek filtrów pośpiesznych, grawitacyjnych, dwusekcyjnych ze złożem trójwarstwowym (warstwa podtrzymująca żwirowa 0,3 m, warstwy filtracyjne: piasku 0,8 m, antracytu 0,4 m, węgla aktywnego 0,4 m), z 2,0 m warstwą wody nad złożem, płukane wodą i powietrzem. Prędkość filtracji do 6,5 m/h.

Stację ozonatorów projektuje się obecnie w oparciu o urządzenia krajowe w układzie poziomym obok komór kontaktowych.

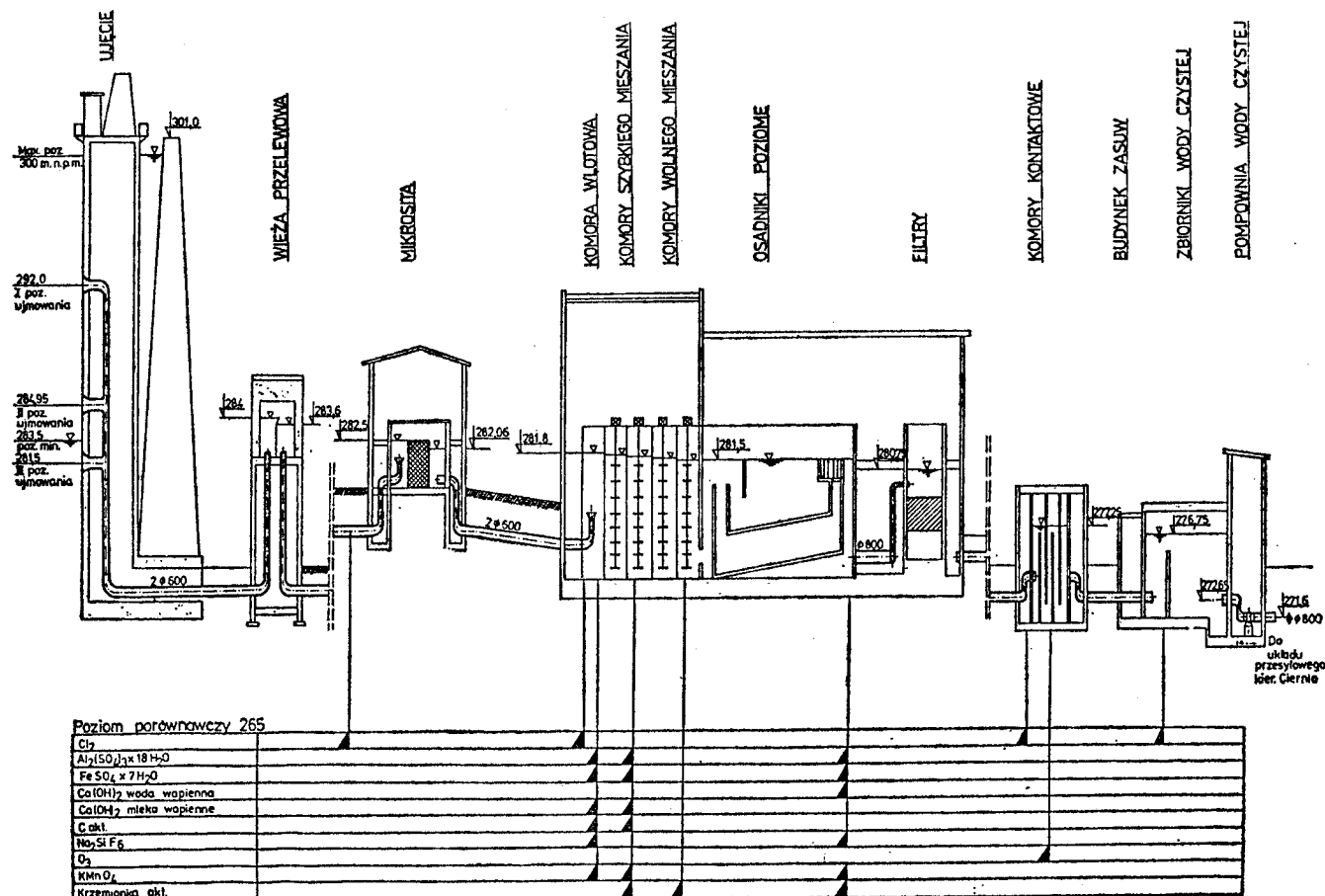
W ZUW zaprojektowano 2 zbiorniki wody czystej o pojemności 3000 m³ każdy, z wydzieloną częścią wstępną o stałym poziomie, stanowiącą punkt poboru wody dla hydroforni zakładowej i osiedla Dobromierz.

W pompowni wody zaprojektowano trzy zespoły pomp pionowych suchych typu 630 Wa 17,5 M z urządzeniem samozasysającym o wydajności każdego zespołu 630 m³/h i wysokości podnoszenia 17,5 m H₂O. W pompowni umieszczono także pompy wysokiego ciśnienia z niezależną siecią do transportu hydraulicznego materiałów filtracyjnych.

Dla oczyszczania popłuczyn z filtrów pośpiesznych zaprojektowano osadniki przepływowo-retencyjne z odzyskiem wód i nawrotem do ciągu technologicznego [7]. Osady z osadników pompami górniczymi typu PM-100 transportuje się na stawy osadowe o trzyletnim okresie eksploatacji.

Weryfikacja technologii oczyszczania wody

Równoległe z budową zakładu uzdatniania wody prowadzono badania technologiczne oczyszczania wody ze zbiornika w cyklu rocznym [2]. Obejmowały one następujące procesy technologiczne: koagulację, filtrację, utlenianie, sorpcję. Badania wykazały, że stosowanie siarczanu glinowego możliwe jest przy korekcie odczynu wody surowej do pH = 6,6. Koagulacja bez korekty pH wody zachodzi przy użyciu soli żelaza, których dawki optymalne



Rys. 1. Schemat zakładu uzdatniania wody w Dobromierzu

wynoszą $10 \div 30 \text{ g/m}^3$. Powstałe w koagulacji kłaczkii, mimo użycia soli żelaza, były lekkie, z tendencją do flotowania, co wskazuje na konieczność obciążania kłaczków polielektrolitami ze względu na zaprojektowany po flokulacji proces sedymentacji.

W procesie utleniania stosowano ozon i chlor. Dawka ozonu nie przekroczyła $2 \text{ g O}_3/\text{m}^3$, uzyskano przy niej $\text{NPL} = 2,0$ i obniżenie OWO ($\sim 10\%$), a niekiedy wzrost nawet o 25% , co świadczy, iż w tym procesie nie nastąpiło obniżenie stężenia związków organicznych, a jedynie zmiana ich formy. Zapotrzebowanie chlorowe wody surowej wynosiło do $2 \text{ g Cl}_2/\text{m}^3$, w tym niezwłoczne $0,5 \text{ g Cl}_2/\text{m}^3$. Wzrost zapotrzebowania chlorowego do $4,0 \text{ g Cl}_2/\text{m}^3$ stwierdzono w obecności żywych larw owadów w wodzie.

W badaniach wykazano przydatność do oczyszczania wody formowanego węgla aktywnego AG produkcji krajowej, obok węgla holenderskiej firmy Norit. Przewiduje się na podstawie badań, że w procesie sorpcji, rozwiązany łącznie z filtracją, nastąpi obniżenie stężenia związków organicznych nawet do 50% . Sama filtracja wody surowej lub z dawką koagulantu 10 g/m^3 z prędkością $5 \div 7,5 \text{ m/h}$ na złożu piaskowym daje obniżenie mętności poniżej 5 g/m^3 , a utlenialności od 10 do 30% .

Osobnym zagadnieniem, które zwróciło uwagę w badaniach, jest korekta pH wody. Obniżenie pH do wartości $\leq 8,5$ możliwe jest do uzyskania w procesie napowietrzania bez stosowania chemikaliów. Przewiduje się, że w układzie technicznym obniżenie pH nastąpi podczas przepływu wody przez urządzenia technologiczne oraz zbiorniki wody czystej w wyniku dyfuzji CO_2 do wody. Podkreśla się tu znaczenie czasu przepływu, który wynosi ok. $6,7 \text{ h}$, a także znaczenie wieży przelewowej, przez którą przepływa woda z dużą prędkością, co ułatwi dyfuzję CO_2 do wody.

Wnioski

1. Raptowne zmiany składu wody wywołane falą powodziową, jesienno-wiosenną cyrkulacją, rozwojem glonów oraz przypadkowym spływem zanieczyszczeń ze zlewni, spowodowały konieczność zastosowania rozbudowanej technologii oczyszczania wody z utlenianiem, koagulacją i sorpcją.
2. Wprowadzenie środków chemicznych, stosowanych zamiennie oraz możliwość ich wielopunktowego dawkowania zapewnia elastyczną eksploatację zakładu, dostosowaną do jakości wody.
3. Możliwe jest stosowanie koagulacji objętościowej (szybkie i wolne mieszanie oraz sedymentacja) oraz bezpośrednio w złożach filtrów, dzięki głębokim wielowarstwowym złożom filtracyjnym.
4. Zakład oczyszczania wody powinien być potraktowany jako zakład doświadczalny dla tego typu wód miękkich, podatnych na zakwity glonów.

LITERATURA

1. **Praca zbiorowa:** Badania i prognoza jakości wody dla zbiornika wodnego w Dobromierzu wraz z wytycznymi do technologii uzdatniania. Raport Inst., Inż. Ochr. Środow. P.Wr., ZBW Jelenia Góra, 1980.
2. **Praca zbiorowa:** Analiza zmian właściwości fizyczno-chemicznych i technologicznych wody ze zbiornika „Dobromierz”. Raport Inst. Inż. Ochr. Środow. P.Wr., Wrocław 1990.
3. Operat do stref ochronnych ujęcia wody w zbiorniku „Dobromierz”. BPBK Wrocław, 1989.
4. **Praca zbiorowa:** Koncepcja biologicznej eksploatacji zbiornika wstępnego w Dobromierzu. Raport Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław 1989.
5. Zakład Uzdatniania Wody w Dobromierzu — projekt techniczny. BPBK Wrocław, 1987.
6. Wieża ujęciowa w zbiorniku „Dobromierz” — projekt techniczny. Hydroprojekt Wrocław, 1976.
7. A. KOWAL: Sposób oczyszczania wód popłucznych z filtrów pośpiesznych i osadnik przepływowo-retencyjny do oczyszczania wód popłucznych z filtrów pośpiesznych. Patent PRL nr 106471, 1980.

TREATMENT OF THE DOBROMIERZ LAKE WATER

The Dobromierz reservoir is an impoundment lake for water supply to the nearby cities. Water quality predictions for the lake have been based on river water analy-

sis. The following treatment train has been designed: pre-oxidation (Cl_2 , KMnO_4), microstraining, alum or iron coagulation, sedimentation, multi-media filtration, and disinfection (O_3 , Cl_2). The flocculation process is aided by flocculants. The efficiency of the treatment process was verified in a pilot plant after two years of impoundment.