

Eugeniusz Latawiec, Leszek Dydycz, Henryk Piątkiewicz,
Barbara Chmielarz, Stanisław Filip, Kazimierz Subczak

Ocena efektów wstępnego ozonowania wody w ZUW „Zwięczyca” w Rzeszowie po rocznej eksploatacji

Po wielu latach dyskusji nad zaletami i wadami stosowania ozonu w procesach uzdatniania wody, obecne rozważania skupiają się głównie na konkretnych rozwiązaniach technicznych i technologicznych. Szczególnie mało kontrowersyjną budzi zastosowanie ozonu do wstępnego utleniania zanieczyszczonych wód powierzchniowych.

Oprócz obowiązku dotrzymywania wymaganych parametrów składu wody do picia, najlepszym wskaźnikiem jakości zastosowanej technologii uzdatniania jest zadowolenie odbiorców z dostarczonego produktu. Do MPWiK w Rzeszowie od wielu lat wpływały skargi konsumentów na odczuwaną przez nich złą jakość organoleptyczną wody. Proces poprawy jakości wody rozpoczęto od przeprowadzenia kompleksowych badań pilotowych, obejmujących cały rok hydrologiczny [1]. Badania te pozwoliły na opracowanie optymalnych procesów technologicznych, o które należy wzbogacić system uzdatniania wody, oraz na dobór parametrów dla zmodernizowania procesów już istniejących. Na tej podstawie została opracowana wariantowa koncepcja modernizacji i rozbudowy ZUW „Zwięczyca” w Rzeszowie [2]. Do realizacji w pierwszej kolejności wytypowano wstępne ozonowanie wody surowej, jako proces, który przy stosunkowo niewielkich nakładach inwestycyjnych maksymalnie poprawi jakość wody uzdatnionej. Jednocześnie zdecydowano o równoległym prowadzeniu prac modernizacyjnych istniejących procesów technologicznych.

Wydajność wytwornicy ozonu, określona na podstawie badań pilotowych, które maksymalną dawkę ozonu ustaliły na $2,5 \text{ gO}_3/\text{m}^3$, wynosiła $8,75 \text{ kgO}_3/\text{h}$ przy stężeniu 12% wag. Instalację do wstępnego ozonowania wody surowej w ZUW „Zwięczyca” uruchomiono w maju 1998 r. Realizacja podstawowych robót budowlano-montażowych trwała 6 miesięcy, po czym od maja do lipca 1998 r. trwał rozruch technologiczny, a następnie do lutego 1999 r. eksploatacja wstępna. Podczas eksploatacji wstępnej przeprowadzony został 72-godzinny test pod maksymalnym obciążeniem. Średnio w trakcie testu wytwornica ozonu uzyskała wydajność $8,41 \text{ kgO}_3/\text{h}$, przy stężeniu 11,85% wag. i zużyciu energii $9,30 \text{ kWh/kgO}_3$.

Rozwiązania techniczne i technologiczne

Zakład Uzdatniania Wody „Zwięczyca” w Rzeszowie składa się z dwóch niezależnych ciągów technologicznych, tj. „Zwięczyca I” – zrealizowanego w latach 1950–1960 i „Zwięczyca II” – zrealizowanego w latach 1970–1980. Każdy z nich jest samodzielny, ma własne ujęcie wody, zbiorniki końcowe i pompownie wysokiego tłoczenia. Łączna zdolność produkcyjna zakładu wynosi $3500 \text{ m}^3/\text{h}$ (ZUW I – $1500 \text{ m}^3/\text{h}$, ZUW II – $2000 \text{ m}^3/\text{h}$).

Zanim przystąpiono do opracowania projektów wykonawczych, należało rozwiązać kilka ważnych problemów, m.in. jakiej zastosować rozwiązania techniczne oraz ile i jaką z istniejącej kubatury zakładu wykorzystać, aby przy możliwie najniższych nakładach inwestycyjnych otrzymać instalację o najwyższej jakości, skuteczności i niezawodności oraz o niskich kosztach eksploatacji. Dzięki ścisłej współpracy projektantów i przyszłych realizatorów zadania oraz specjalistów ze strony użytkownika, udało się znaleźć rozwiązania, które zadowolili wszystkich.

Na wstępie, w celu możliwie największego obniżenia kosztów inwestycyjnych, postanowiono o realizacji wspólnego dla obu zakładów obiektu ozonowania wstępnego. Na komory kontaktowe ozonowania wstępnego wykorzystano dwa istniejące labiryntowe zbiorniki utleniania wstępnego nadmanganianem potasu w ZUW II, zlokalizowane na brzegu Wisłoka, pomiędzy ujęciem wody i pompownią I^o. Mają one łączną pojemność czynną 620 m^3 , co pozwoliło uzyskać czas kontaktu 10 min, przy pełnej wydajności obu zakładów. Komory zostały uszczelnione przed wyciekami ozonu na zewnątrz i przed penetracją ozonu do zbrojenia, wewnątrz przebudowane w celu uniknięcia „skrótowych” przepływów wody oraz dostosowane do zainstalowania wybranego systemu dyfuzji ozonu do wody. Wymieniono także armaturę. Na czterech przewodach $\phi 800$, doprowadzających wodę surową z ujęcia do komór kontaktowych, zainstalowano przepustnice regulacyjne utrzymujące stały poziom wody w zbiornikach, niezależnie od stanów powodziowych Wisłoka. Aby zapewnić odpływ wody ozonowanej do ciągu technologicznego ZUW I wykonano przewód grawitacyjny do systemu lewarowego ujęcia wody.

Kolejnym zadaniem był wybór systemu produkcji ozonu, tj. z powietrza czy tlenu. Aby problem rozwiązać kompleksowo zdecydowano o połączeniu decyzji z wyborem dostawcy urządzeń do produkcji ozonu. Zapytania, wraz ze szczegółowymi wymaganiami odnośnie instalacji, skierowane do trzech wiodących w świecie producentów wytwornic ozonu, dotyczyły równoległych ofert dla obu wariantów. Jednocześnie zebrano oferty na dzierżawę stacji magazynowania i odparowania ciekłego tlenu oraz jego dostawę.

Mgr inż. E. Latawiec, mgr inż. L. Dydycz: Zakład Rozwoju Nowych Technik Ochrony Środowiska ELIMP Sp. z o.o., ul. Cybernetyki 13, 02-677 Warszawa

Mgr inż. H. Piątkiewicz, mgr inż. B. Chmielarz, mgr inż. S. Filip, mgr inż. K. Subczak: Rzeszowska Gospodarka Komunalna Sp. z o.o. – Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji, ul. A. Naruszewicza 18, 35-055 Rzeszów

Na podstawie ofert opracowano analizę techniczno-ekonomiczną, pozwalającą na porównanie metod produkcji ozonu, z jednoczesnym wyborem dostawcy urządzeń. Jako końcowy wskaźnik, pozwalający na ocenę ekonomiczną ofert, przyjęto koszty rocznej eksploatacji instalacji ozonowania. Wskaźnik ten uwzględniał amortyzację, a więc pośrednio wartość instalacji do produkcji ozonu, amortyzację niezbędnych do wykonania budowy i instalacji technologicznych, zużycie energii elektrycznej na wytworzenie, dyfuzję i destrukcję ozonu, natomiast w wypadku instalacji opartych o tlen – zużycie tlenu oraz koszty dzierżawy stacji magazynowania i odparowania ciekłego tlenu. W analizie pominięto trudne do dokładnego oszacowania koszty eksploatacji, wynikające z przeglądów urządzeń i materiałów eksploatacyjnych. W tabelach 1 i 2 zawarto porównanie ekonomiczne wariantów produkcji ozonu z powietrza i tlenu, dla instalacji wybranego producenta urządzeń – firmy Ozonia AG ze Szwajcarii.

Tabela 1. Koszty inwestycyjne ozonowni opartej o instalacje firmy Ozonia AG w ZUW „Zwięczyca”

Składnik kosztów	Koszt inwestycji, tys. zł	
	powietrze	tlen
Remont komór kontaktowych $KMnO_4$ wraz z niezbędnymi instalacjami	1560	1560
Remont zaplecza technicznego pompowni I ^o	–	332
Budowa ozonowni	640	–
Roboty elektryczne i energetyczne	765	631
Automatyka	181	181
Montaż instalacji ozonowania	339	293
Instalacja ozonowania	3075	2324
Razem	6560	5321

Tabela 2. Koszty rocznej eksploatacji ozonowni opartej o instalacje firmy Ozonia AG w ZUW „Zwięczyca”

Składnik kosztów	Koszt eksploatacji, zł/a	
	powietrze	tlen
Energia elektryczna	108 024	56 650
Tlen	–	67 964
Dzierżawa zbiornika tlenu i stacji odparowania	–	44 400
Amortyzacja instalacji ozonowania	384 375	290 500
Amortyzacja budowli i pozostałych instalacji	243 950	209 790
Razem	736 349	669 304
Roczny wskaźnik kosztu wyprodukowania 1 kg O_3 , zł/kg O_3	22,90	20,82
Roczny wskaźnik przyrostu kosztów wyprodukowania 1 m ³ wody w wyniku wprowadzenia do eksploatacji wstępnego ozonowania wody, zł/m ³	0,0403	0,0367

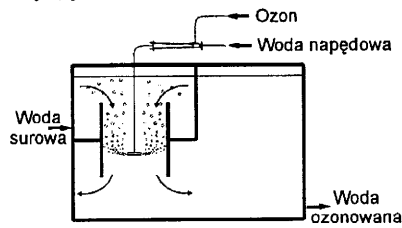
Maksymalna produkcja ozonu 8,75 kg O_3 /h; średnia roczna produkcja wody 50 tys. m³/d (2100 m³/h, 18250 tys. m³/a); średnia roczna dawka ozonu 1,75 g O_3 /m³; średnia roczna produkcja ozonu 3,67 kg O_3 /h (32149 kg O_3 /a); jednostkowe zużycie energii elektrycznej dla powietrza 22,4 kWh/kg O_3 , dla tlenu 11,75 kWh/kg O_3 ; koszt energii elektrycznej 0,15 zł/kWh; amortyzacja instalacji ozonowania 12,5% rocznie; amortyzacja budowli i pozostałych instalacji średnio 7% rocznie

W analizowanych warunkach zdecydowaną przewagę miała wersja, w której ozon wytwarzany był z tlenu i taki wariant został wybrany do realizacji. Dzięki decyzji o wyborze znacznie mniejszych urządzeń do produkcji ozonu z tlenu, można było zaniechać budowy nowego obiektu ozonowni. Urządzenia te, wraz z rozdzielnią elektryczną i sterownią, zmieściły się w istniejącej kubaturze zaplecza technicznego pompowni I^o. Pomieszczenia te zostały odnowione i przystosowane do nowej

funkcji. Uniknięto także wymiany stacji transformatorów, aby zabezpieczyć odpowiednią moc dla generatora opartego o powietrze jako gaz nośny.

Przy wyborze stacji magazynowania i odparowania ciekłego tlenu kierowano się kilkoma zasadami. Zbiornik tlenu powinien zapewnić rezerwę na dwa tygodnie pracy instalacji pod pełnym obciążeniem, wydajność stacji odparowania musi uwzględniać okres zimy i spadek wydajności odparowania w czasie pracy. W analizowanym wypadku zastosowano dwie parownice pracujące na zmianę co cztery godziny. Istotną jest również jakość oferowanego tlenu, a w szczególności możliwie minimalna zawartość węglowodorów oraz by zawartość azotu odpowiadała wymaganiom wytwornicy.

Instalacje ozonowe oparte o tlen, jako gaz nośny, obok wielu zalet, wynikających z wysokiej zawartości ozonu, następczą też podstawowy problem, jakim jest dyfuzja ozonu do wody. W wypadku stężenia ozonu 12% wag. ilość gazu wprowadzanego do wody jest 4-krotnie mniejsza, niż ilość 3% mieszaniny powietrzno-ozonowej. Dlatego zarówno przy wyborze systemu dyfuzji, jak i samej konstrukcji komór kontaktowych, należy zwrócić szczególną uwagę na proces mieszania mieszaniny wodno-gazowej, likwidację „skróków” przepływającej wody i aglomeracji pęcherzyków gazu, zmniejszającej powierzchnię kontaktu faz. Dodatkowo wody Wisłoka, po opadach w Bieszczadach, mogą mieć mętność na poziomie 5000 NTU i więcej. Biorąc pod uwagę wszystkie te uwarunkowania oraz usytuowanie komór kontaktowych przed pompownią, a więc brak rezerwy wysokości hydraulicznej i zrozumiałą niechęć – przy zmiennej produkcji wody – do instalowania kolejnej pompowni przetwarzającej całą wodę przez iniektory, wyeliminowaniu uległy wszystkie tradycyjne metody dyfuzji ozonu. Jako najlepsze rozwiązanie wybrano system zaproponowany przez jednego z dostawców instalacji: część wody po komorach kontaktowych (50 m³/h) napędza iniektor wytwarzający tzw. wodę ozonową, która następnie wyrzucana jest z prędkością 6,5 m/s przez tzw. dyfuzor radialny złożony z dwóch dysków, pomiędzy którymi ustalono szczelinę 2,5 mm. Dyfuzor umieszczony jest centralnie w studni o średnicy 1800 mm, przez którą przepływa główny strumień wody (rys.1).



Rys. 1. System dyfuzji ozonu do wody

Zarówno przy negocjacjach technicznych z dostawcą, jak też przy projektowaniu i wykonawstwie, szczególną uwagę poświęcono bezpieczeństwu przyszłej eksploatacji. Zdecydowano się między innymi na zastosowanie pneumatycznych napędów do zaworów odcinających, umieszczonych na instalacji, aby w razie awarii energetycznej instalacja samoczynnie zamknęła wszelkie przewody technologiczne. Napędy te uruchamiane są automatycznie, także w wypadku awaryjnych wyłączeń stacji ozonowania w przypadkach wykrycia przez detektory wycieku ozonu do otoczenia, zbyt niskiego ciśnienia tlenu w instalacji, zbyt wysokiej temperatury wody po chłodzeniu wytwornicy, braku przepływu wody chłodzącej, zbyt niskiego przepływu wody przez iniektory lub zbyt niskiego ciśnienia, cofnięciu wody z iniektorów do przewodu ozonu,

awarii destruktora lub jego zasilania, awarii jednostki zasilającej, awarii szafy automatyki, zbyt niskiego poziomu wody w komorach kontaktowych lub też jakiegokolwiek poważnej awarii pozostałych instalacji technologicznych, zasygnalizowanej przez system sterowania. Dodatkowo na terenie całego obiektu umieszczono w niewrażliwych punktach ręczne wyłączniki awaryjne. Po wyłączeniu awaryjnym instalacja nie pozwoli się uruchomić, aż do momentu usunięcia przyczyny wyłączenia. Monitorowana jest też zawartość ozonu resztkowego w wodzie po komorach kontaktowych, aby nie doprowadzić do uwalniania ozonu w trakcie kolejnych procesów technologicznych, umiejscowionych w obiektach nie przystosowanych do kontaktu z silnymi utleniaczami.

Zastosowany generator wysokiej częstotliwości (825 Hz) zawiera dielektryki ceramiczne nowej generacji. Aby utrzymać optymalne parametry pracy generatora, sterowanie produkcją oparte jest na założeniu stałego stężenia – optymalnie 12% wag. ozonu w tlenie i zmianie przepływu gazu nośnego w zależności od zapotrzebowania na ozon. Współczesne technologie, niezależnie od rodzaju i przeznaczenia, do wykorzystania w pełni swoich możliwości wymagają wysokosprawnych systemów kontroli i sterowania. Wykonana instalacja może pracować zarówno w trybie ręcznym jak i w pełni automatycznym. System sterowania wyposażony został w wiele opcji umożliwiających pracę zespołu ozonowanie – ZUW I – ZUW II, w różnych konfiguracjach i dostosowanie jej do zmieniających się okoliczności. Opisujący obiekt zawiera kilka obwodów regulacji i układów sterowań binarnych oraz pomiarów technologicznych realizowanych przez sterownik programowalny S7-300 firmy Siemens. Do celów zobrazowania danych i obsługi operatorskiej zastosowano panel OP-25. Sterownik ten pełni funkcje nadrzędnego w stosunku do sterowników firmy ABB, kontrolujących proces wytwarzania i rozdziału ozonu w instalacji firmy Ozonia. Sterowniki ABB instalacji ozonowania wyposażone zostały w panele dotykowe z logicznym i czytelnym układem plansz opisanych w języku polskim.

Usuwanie osadów odbywa się cyklicznie podczas pracy komór według ustawionych czasów: przerwa w pompowaniu z komory kontaktowej, usuwanie osadów z komory kontaktowej, przerwa w pompowaniu z komory czerpnej, usuwanie osadów z komory czerpnej. Sterownik otwiera i zamyka przepustnice oraz włącza i wyłącza pompę osadową wg wprowadzonego algorytmu.

Wszystkie zastosowane rozwiązania, zarówno w dziedzinie technologii jak i zasilania oraz sterowania procesem, pozwoliły na zrealizowanie instalacji nie tylko wysoce sprawnej technicznie, ale też przyjaznej w obsłudze.

Efekty technologiczne

Uzdatnianie wody w obu stacjach opierało się dotychczas na identycznej technologii, tj. koagulacji siarczanem glinu, sedymentacji w osadnikach poziomych, filtracji pospiesznej na złożach piaskowych oraz dezynfekcji chlorem gazowym. Obecnie system ten poszerzony jest o wspólne, wstępne utlenianie wody ozonem. Prezentowane wyniki badań obejmują cały rok hydrologiczny (od 01-06-1998 do 30-04-1999). Okres badań był typowy z uwagi na jakość wody poddawanej uzdatnianiu i uwzględniał znaczny zakres zmian jakości wody powierzchniowej. Zapotrzebowanie wody surowej na ozon wynosiło do 2,5 gO₃/m³, w porze wyższych temperatur wody dochodzących do 25 °C na przełomie lipca i sierpnia i większego zanieczyszczenia wody (barwa, utlenialność, zakwity planktonu) oraz 0,5÷1,0 gO₃/m³ w porze niskich temperatur. Uśrednione wyniki badań fizyczno-chemicznych, uzyskane po poszczególnych etapach technologicznych dla obu zakładów ujęto w tabelach 3 i 4 oraz na rysunkach 2–4.

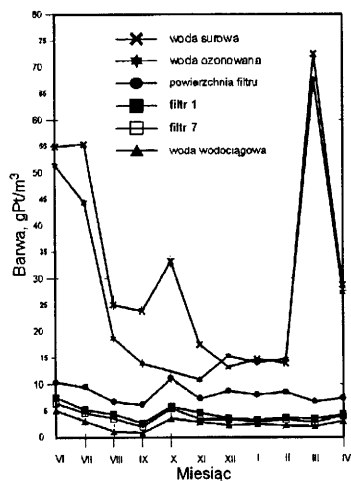
Analizy uzyskanych wyników po wprowadzeniu ozonowania wstępnego, jako jednego z etapów technologicznych uzdatniania wody, wskazują na jego niezwykle skuteczną. Jest to proces, podczas którego utleniane są związki powodujące barwę, smak, zapach oraz prekursorzy THM. Podwyższa on

Tabela 3. Średnie wartości wyników badań wstępnego ozonowania w okresie VI 1998 – IV 1999 w ZUW „Zwińczyca I”

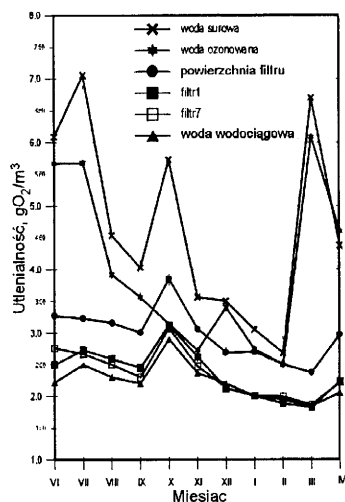
Parametr, jednostka	Woda surowa	Ozonowanie wstępne	Powierzchnia filtru	Filtr 1	Filtr 4	Filtr 6	Filtr 8	Woda wodoc.
Mętność, g/m ³	19,70	21,97	3,44	0,48	0,38	0,27	0,30	0,43
Barwa, gPt/m ³	29,63	24,35	8,19	4,36	3,90	3,88	3,60	2,41
Utlenialność, gO ₂ /m ³	4,53	3,89	2,98	2,36	2,27	2,34	2,28	2,26
OWO, gC/m ³	4,62	4,66	4,06	3,58	3,52	3,59	3,42	3,48
Glin, gAl/m ³	–	–	0,28	–	–	–	–	0,02
Chlor wolny, gCl ₂ /m ³	–	–	–	–	–	–	–	0,29
Chloroform, mg/m ³	–	–	–	–	–	–	–	1,38
Miano coli,–	III kl.	I kl.	–	–	–	–	–	–

Tabela 4. Średnie wartości wyników badań ozonowania wstępnego w okresie VI 1998 – IV 1999 w ZUW „Zwińczyca II”

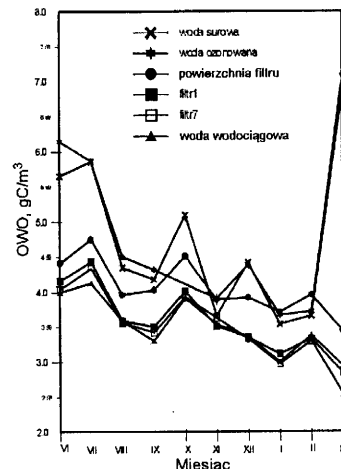
Parametr, jednostka	Woda surowa	Ozonowanie wstępne	Pow. filtru lewa	Pow. filtru prawa	Filtr 2	Filtr 4	Filtr 5	Filtr 7	Woda wodoc.
Mętność, g/m ³	23,04	27,81	3,79	5,05	0,42	0,35	0,33	0,49	0,46
Barwa, gPt/m ³	31,65	27,71	9,34	9,79	4,11	3,98	3,97	4,10	2,43
Utlenialność, gO ₂ /m ³	4,62	4,12	3,06	3,09	2,31	2,22	2,23	2,30	2,19
OWO, gC/m ³	4,50	4,54	4,53	4,21	3,50	3,43	3,50	3,52	3,53
Glin, gAl/m ³	–	–	0,26	0,29	–	–	–	–	0,02
Chlor wolny, gCl ₂ /m ³	–	–	–	–	–	–	–	–	0,31
Chloroform, mg/m ³	–	–	–	–	–	–	–	–	1,82
Miano coli,–	III kl.	I kl.	–	–	–	–	–	–	–



Rys. 2. Barwa wody po różnych etapach uzdatniania (VI98-IV99 – ZUW I)



Rys. 3. Utlenialność wody po różnych etapach uzdatniania (VI98-IV99 – ZUW I) także klasę czystości wody surowej pod względem bakteriologicznym. Proces ten spowodował znaczne zwiększenie efektywności kolejnych etapów technologicznych uzdatniania wody, czego wynikiem jest uzyskanie lepszych parametrów wody dopływającej na powierzchnię filtrów. Podstawowe wskaźniki zanieczyszczeń tej wody po wprowadzeniu ozonowania są porównywalne z parametrami wody wodociągowej z okresu przed modernizacją układu technologicznego. Zwraca uwagę praktycznie zerowa mętność, niska barwa, niska utlenialność. Te dwa wskaźniki, a także bardzo małe zapotrzebowanie wody na chlor wody po filtrach pospiesznych wskazują na dobre oczyszczenie wody z substancji organicznych, a w konsekwencji na jej wysoką stabilność biologiczną i niski potencjał tworzenia niebezpiecznych dla zdrowia trihalometanów. Na skutek ograniczenia ilości chloru użytego do dezynfekcji – przed wprowadzeniem ozonowania wstępnego



Rys. 4. OWO w wodzie po różnych etapach uzdatniania (VI98-IV99 – ZUW I)

0,8 gCl₂/m³, obecnie 0,3÷0,5 gCl₂/m³ – w sieci wodociągowej zniknął zapach chloru oraz znacznie spadła zawartość THM (o 30÷70%).

Wnioski

◆ Wszelkie rozwiązania techniczne każdorazowo powinny być dokładnie analizowane i dostosowane do warunków miejscowych. W wypadku ZUW „Zwięczyca” najważniejsze okazało się zastosowanie tlenu do produkcji ozonu.

◆ Jakość wody podawanej do sieci wodociągowej Rzeszowa uległa zdecydowanej poprawie. Uzyskane rezultaty wskazują na wysoką skuteczność ozonowania wstępnego dla potrzeb uzdatniania wody ujmowanej z Wisłoka. Poprawa jakości wody wyraża się przede wszystkim zmniejszeniem zużycia chloru do dezynfekcji końcowej, spadkiem o 30÷70% zawartości THM oraz wyeliminowaniem chlorowego zapachu wody.

◆ Ostateczną i najważniejszą dla wszystkich uczestników procesu inwestycyjnego oceną przydatności ozonowania wstępnego wody surowej jest sygnalizowana przez konsumentów zauważalna poprawa wskaźników organoleptycznych wody.

LITERATURA

1. W. MOŻARYN i in.: Sposób uzdatniania wody z Wisłoka na potrzeby miasta Rzeszowa – Wyniki badań pilotowych. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”, PZITS, Poznań 1998, tom 3, ss. 143–149.
2. W. MOŻARYN, E. LATAWIEC, L. DYDYCZ, J. PASEWICZ, B. CHMIELARZ, S. FILIP: Koncepcja modernizacji i rozbudowy Zakładu Uzdatniania Wody „Zwięczyca” w Rzeszowie na podstawie badań pilotowych. Ochrona Środowiska, 1997, nr 4(67), ss. 25–26.

A Concept of Ozone Generation and the Efficiency of Preozonation: A One-Year Case Study

Preozonation of raw water was included into the treatment train of the Zwięczyca Waterworks, Rzeszów in May 1998. The concept of producing ozone from oxygen was first implemented in Poland on that date. The implementation procedure was preceded by thorough economic considerations, based on comparisons with ozone production from atmospheric air. In the

present paper, the concept of, and the device for, ozone generation from oxygen was described in detail. Consideration was also given to the problem of how preozonation affected the course of the other unit processes included in the treatment train and how it upgraded the quality of the treated water.