

Sławomir Biłozor

BADANIA NAD OBNIŻANIEM ZAWARTOŚCI TRÓJHALOMETANÓW W WODZIE DO PICIA

Związki chloroorganiczne, tworzące się w wodzie w wyniku jej chlorowania stanowią poważny problem z punktu widzenia zagrożenia zdrowia człowieka, powodując konieczność dokonywania zmian w procesach uzdatniania dla obniżenia ich stężenia w wodzie, dostarczanej konsumentom. Najczęściej wykrywaniem produktami chlorowania naturalnych wód barwnych są trójhalemetany (THM), a wśród nich chloroform, bromodwuchlorometan, dwubromochlorometan, bromoform oraz związki nie należące do grupy THM: kwas tróchlorooctowy, dwuacetonitryl i 1,1,1-tróchloroaceton [1]. Z uwagi na różnorodność związków, powstających w wyniku chlorowania często proponuje się, aby w miejsce oznaczania poszczególnych indywidualów chemicznych stosować oznaczanie całkowitego chloru organicznego. Inny sposób określania zagrożenia związkami chloroorganicznymi opiera się na stwierdzonej korelacji między zawartością chloru organicznego i trójhalemetanów [1]. W warunkach krajowych bardziej racjonalne wydaje się użycie trójhalemetanów jako wskaźnika zagrożenia związkami chloroorganicznymi. Przemawia za tym z jednej strony trudność w pozyskaniu aparatury do precyzyjnego oznaczania niskich stężeń chloru organicznego, a z drugiej strony rozpowszechnienie metody oznaczania THM, z zastosowaniem techniki chromatografii gazowej [2].

Zmniejszenie zawartości THM w uzdatnionej wodzie można osiągnąć przez:

- obniżenie stężenia ich prekursorów przed chlorowaniem wody,
- zastosowanie innej niż chlorowanie metody dezynfekcji, lub wstępnego utleniania wody,
- usuwanie z wody już utworzonych THM.

Jak wynika z obszernej literatury przedmiotu oraz z badań własnych [3, 4], prekursorami THM w wodach naturalnych są substancje humusowe, przede wszystkim kwasy huminowe i fulwowe. Najaktywniejsze w tworzeniu THM są frakcje tych kwasów o ciężarach cząsteczkowych od 1000 do 5000 oraz powyżej 10 000 [5]. Dla celów praktycznych skuteczność procesów uzdatniania, w odniesieniu do prekursorów THM określa się porównując potencjał tworzenia THM w wodzie surowej i w wodzie po różnych etapach uzdatniania. Potencjał tworzenia trójhalemetanów (PTTHM) de-

finiuje się jako ilość THM, tworzących się w wyniku chlorowania wody w określonych warunkach temperatury, czasu reakcji, dawki chloru i pH. Obniżenie PTTHM można osiągnąć w niektórych konwencjonalnych metodach uzdatniania wody, jak koagulacja i sorpcja.

Alternatywą chloru do wstępnego utleniania lub dezynfekcji mogą być: chloramina, ozon, dwutlenek chloru, chlorek bromu, promieniowanie UV i ultradźwięki. Chloraminy pomimo trwałości zapewniającej dłuższy czas oddziaływania są niestety słabszym biocydem niż chlor. Ozon z kolei jest nietrwały, a ubocznym efektem jego działania może być wzrost aktywności biologicznej w sieci wodociągowej. Najlepszym substytutem chloru jest dwutlenek chloru, wyjaśnienia jednak wymaga sprawa ewentualnego szkodliwego oddziaływania jonów ClO_2^- . Chlorek bromu nie może stanowić alternatywy chloru, gdyż powoduje powstawanie większych ilości THM niż chlor. Dezynfekcja za pomocą UV czy ultradźwięków nie znalazła jeszcze uznanych rozwiązań na skalę techniczną.

Usuwanie z wody już utworzonych THM może być realizowane dwoma metodami:

- napowietrzaniem, którego efektywność może osiągnąć 50%,
- sorpcją na węglu aktywnym, który jednak charakteryzuje się stosunkowo niską pojemnością na te związki.

Przedmiot badań

W latach 1982—1983 przeprowadzono rozpoznanie zagrożenia obecnością THM w wodzie do picia największych miast i aglomeracji w Polsce [8]. Badaniem objęto 36 miast i aglomeracji miejskich, zaopatrywanych przez 63 zakłady produkcji wody. W Polsce nie ma przepisów, ustalających dopuszczalne stężenie THM w wodzie do picia i dlatego do interpretacji wyników przyjęto normę obowiązującą w USA [6] (suma $\text{THM} \leq 100 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) oraz zalecenie WHO [7] (zawartość chloroformu $\leq 30 \mu\text{g}/\text{dm}^3$). W rezultacie przeprowadzonych badań ustalono, że zagrożenie obecnością chloroformu w stężeniu ponad $30 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ wystąpiło w 9 miastach i aglomeracjach, zanotowano również pojedyncze przypadki przekroczenia sumy stężeń THM $100 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Przyczyną tworzenia się nadmiernych ilości THM było w 6 na 9 przypadków stosowanie wstępnego chlorowania wody, a w pozostałych przypadkach niedostateczne usuwanie prekursorów THM w procesie uzdatniania. Źró-

dłem zaopatrzenia tych miast były z reguły wody powierzchniowe. W niniejszym artykule prezentowane są wyniki badań, jakie przeprowadzono na zagrożonych wodociągach w latach 1983—1985, a których celem było ustalenie wstępnych wytycznych dla korekty procesu uzdatniania, umożliwiającej obniżenie ilości THM w wodzie uzdatnionej [9].

Metodyka badań

Testy technologiczne, mające na celu ustalenie dawek chloru, dwutlenku chloru i nadmanganianu potasu, przeprowadzono w skali laboratoryjnej. Ustalanie optymalnej dawki koagulantu oraz próby z zastosowaniem koagulacji realizowano typową techniką testu naczyniowego (jar-test). Eksperymenty z zastosowaniem ozonu wykonano w skali ułamkowo-technicznej z wykorzystaniem stacji modelowej typu Labo 70 produkcji francuskiej firmy Trailigaz. Szczegółowy opis wymienionych technik znajduje się w raporcie z przeprowadzonych badań [9]. Eksperymenty wykonywano w warunkach maksymalnie zbliżonych do warunków narzuconych jakością wody surowej i stosowaną technologią uzdatniania. Regułą było wykonywanie badań w miejscu ujmowania i uzdatniania wody.

W próbkach wody poddanej uprzednio określonym zabiegom uzdatniającym określono PTHM. Reakcję chloru z prekursorami THM prowadzono w danych seriach eksperymentów w warunkach standardowych, a przerywano dodaniem 4‰ wodnego roztworu kwasu askorbinowego. Próbkę wody do analiz na zawartość THM pobierano techniką beztlenową do butelek szklanych z korkiem szlifowanym o pojemności 50 cm³ i przechowywano do czasu wykonania analizy w temperaturze 277 K. Oznaczenia THM dokonywano zgodnie z obowiązującą Polską Normą [2]. Izolowanie THM realizowane jest w tej metodzie drogą ekstrakcji pentanem z następującą potem analizą techniką chromatografii gazowej w układzie ciecz-ciepło stałe, z zastosowaniem detektora wychwyty elektronów.

Wyniki badań i dyskusja

Zmiana techniki wstępnego chlorowania

Eksperymenty nad zmianą techniki wstępnego chlorowania realizowano w zakładach produkcji wody, w których stosuje się stale lub okresowo wstępne utlenianie chlorem. Wypróbowano dwa warianty:

- doświadczenia nad zmianą dawkowania chloru,
- doświadczenia nad zmniejszeniem dawki chloru i czasu kontaktu wody z chlorem.

Typowe wyniki zastosowania pierwszego z wymienionych wariantów przedstawiono w tabeli 1, ilustrującej rezultaty testów wykonanych na wodociągu w Dębicy.

Jak widać, zmiana miejsca dawkowania chloru do wstępnego utleniania pozostawała bez

Tabela 1
WYNIKI TESTU IMITUJĄCEGO ZMIANĘ PUNKTU DAWKOWANIA CHLORU

Wodociąg w Dębicy. Dawka chloru: 4 mg Cl₂/dm³. Czas kontaktu wody z chlorem: 180 minut. Dawka koagulantu: 25 mg Al₂(SO₄)₃ · 18 H₂O/dm³. Czas trwania koagulacji i flokulacji: 20 minut. Temperatura: 290K pH=7,7

Sposób uzdatniania wody	Stężenie THM µg/dm ³			
	CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHClBr ₂	ΣTHM
Woda surowa niechlorowana	n.w.	n.w.	n.w.	0
Woda surowa chlorowana	26,8	2,2	n.w.	29,0
Początek koagulacji 60 min. po dodaniu chloru	26,8	1,9	n.w.	28,7
Początek koagulacji 40 min. po dodaniu chloru	26,8	1,9	n.w.	28,7
Początek koagulacji 20 min. po dodaniu chloru	29,6	2,0	n.w.	31,6
Początek koagulacji jednocześnie z dodaniem chloru	23,1	1,6	n.w.	24,7
Chlor dodano w ostatniej minucie flokulacji	25,0	1,9	n.w.	26,9

wplywu na ilość tworzących się THM nawet wtedy, kiedy chlor dodawany był w trakcie lub po zakończeniu koagulacji. Oznacza to, że prekursorzy THM są równie reaktywne z chlorem w formie naturalnej, jak i zaadsorbowane lub pozostające w inny sposób powiązane z produktami hydrolizy siarczanu glinu. Podobne wyniki uzyskano na wodociągu w Toruniu i we Wrocławiu. Dopiero oddzielenie fazy stałej tworzącej się w wyniku koagulacji daje efekt mierzonego obniżeniem PTHM, co ilustrują wyniki uzyskane na wodociągu w Kozłowej Górze, przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2
WPLYW RODZAJU I DAWKI KOAGULANTU ORAZ pH KOAGULACJI NA OBNIŻENIE POTENCJAŁU TWORZENIA THM*)
Wodociąg Kozłowa Góra (GOP)

Dawka koagulantu	Obniżenie PTHM C/Co		
	pH=5,5	pH=7,5	pH=8,0
mg Al/dm ³			
1	0,85	0,95	0,80
2	0,85	0,85	0,80
3	0,80	0,80	0,75
4	0,85	0,70	0,80
5	0,80	0,70	0,85
mg Fe/dm ³			
1	1,0	1,0	0,75
2	0,80	0,75	0,70
3	0,80	0,73	0,70
4	0,70	0,70	0,70
5	0,70	0,70	0,65

*) PTHM oznacza tutaj sumę THM tworzących się w wyniku chlorowania dawką pozwalającą na utrzymanie zawartości chloru pozostałego na poziomie 2,0 mg Cl₂/dm³, prowadzonego przy pH=8,0 w ciągu 4 godzin, w temperaturze 291 K.

Zmniejszenie dawki chloru do wielkości równej zapotrzebowaniu na chlor wody surowej oraz skrócenie czasu kontaktu z chlorem do 20 minut przez dechlorację tiosiarczanem sodu, dało poważne obniżenie ilości tworzących się THM. Ilustruje to tabela 3, w której przedstawiono wyniki uzyskane na wodociągu Zawada w Zielonej Górze.

Tabela 3
WPLYW OZONOWANIA I OGRANICZENIA DAWKI CHLORU
ORAZ CZASU KONTAKTU Z CHLOREM NA PTTHM

Wodociąg Zawada w Zielonej Górze. Dawka chloru do wstępnego chlorowania, $\text{kg Cl}_2/\text{dm}^3$ — w skali technicznej 6—10,5, w badaniach technologicznych*) 1—2. Dawka chloru do chlorowania końcowego $\text{mg Cl}_2/\text{dm}^3$ — w skali technicznej 0,5 — 1, w badaniach technologicznych*) 0,5—1. Łączny czas kontaktu z chlorem: 180 min. Dawka koagulantu: 37,5—62,5 $\text{mg Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}/\text{dm}^3$. Dawka ozonu (sumaryczna) 1,1—6,6 $\text{mg O}_3/\text{dm}^3$. Temperatura: 278—294 K (zima, wiosna, lato, jesień) $\text{pH}=7,0 \div 7,2$.

Sposób uzdatniania wody	Zawartość THM $\mu\text{g}/\text{dm}^3$			
	CHCl_3	CHCl_2Br	CHClBr_2 CHBr_3	ΣTHM
Ozonowanie—koagulacja—filtracja pospieszna—ozonowanie—filtracja przez granulowany węgiel aktywny**—chlorowanie	n.w.—4,5	n.w.	n.w.	0—4,5
Chlorowanie—dechloracja (po 20) —ozonowanie—koagulacja—filtracja pospieszna—ozonowanie—filtracja przez granulowany węgiel aktywny**—chlorowanie	n.w.—3,0	n.w.	n.w.	0—3,0
Skala techniczna: chlorowanie—koagulacja—filtracja pospieszna—chlorowanie	16,6—27,7	2,5—5,0	n.w.	19,1—32,5

*) Dawka chloru w badaniach technologicznych równa była zapotrzebowaniu wody na chlor przy 30 minutach kontaktu.

**) Masa chłonna A prod. Hajnowskich Zakładów Suchej Destylacji.

Koagulacja

Koagulacja domieszek wody na wodociągu w Kozłowej Górze pozwoliła na obniżenie PTTHM do 35‰ (tab. 2). Przedstawione wyniki pozwalają ponadto stwierdzić efektywniejsze oddziaływanie koagulantu żelazowego, co wskazuje na celowość wypróbowania w każdym przypadku wszystkich pozostających do dyspozycji koagulantów. Tab. 4 przedstawia wyniki testów z zastosowaniem koagulacji dwustopniowej, uzyskane na wodociągu Zwiężczyca II w Rzeszowie. Technika ta nie dała żadnych efektów mierzonych zmniejszeniem PTTHM.

Zastosowanie alternatywnych utleniaczy i sorpcji

Dane w tabeli 4, przedstawiające wyniki testów wykonanych na wodociągu Zwiężczyca II w Rzeszowie wskazują, że dawkowanie KMnO_4 nie miało wpływu na obniżenie PTTHM. Wyniki uzyskane na wodociągu Zawada w Zielonej Górze (tab. 3) wskazują, że ozonowanie z następującą potem sorpcją na węglu aktywnym obniżało stężenie THM (tworzących się w wyniku chlorowania końcowego) do wartości niewykrywalnych. Wstępne chlorowanie dawką równą zapotrzebowaniu wody na chlor z następującą po 20 minutach dechloracją, ozonowaniem, koagulacją i sorpcją na węglu aktywnym również poważnie obniżyło ilość tworzących się THM (tab. 3). Sposób prowadzenia eksperymentu nie pozwalał na stwierdzenie, który z procesów jednostkowych (ozonowanie czy sorpcja) miał decydujący wpływ na obni-

Tabela 4
WPLYW WSTĘPNEGO UTLENIANIA, DWUSTOPNIOWEJ KOAGULACJI
I RODZAJU DEZYNFEKTANTA NA PTTHM

Wodociąg Zwiężczyca II w Rzeszowie. Dawka KMnO_4 : 1,6 mg/dm^3 . Dawka koagulantu: I stopień: 50 $\text{mg Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}/\text{dm}^3$. II stopień: 25 $\text{mg Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}/\text{dm}^3$. Dawka chloru: 10 $\text{mg Cl}_2/\text{dm}^3$. Dawka dwutlenku chloru: 10 $\text{mg ClO}_2/\text{dm}^3$. Czas kontaktu z chlorem: 24 h. Temperatura: 284 K. $\text{pH}=8,0$.

Sposób uzdatniania wody	Zawartość THM $\mu\text{g}/\text{dm}^3$			
	CHCl_3	CHCl_2Br	CHClBr_2 CHBr_3	ΣTHM
Woda surowa+chlor	40,0	4,5	n.w.	44,5
Woda surowa+ ClO_2	n.w.	n.w.	n.w.	0
Koagulacja—chlorowanie	25,0	3,5	n.w.	28,5
Koagulacja—dawkowanie ClO_2	n.w.	n.w.	n.w.	0
Utlenianie KMnO_4 —koagulacja—chlorowanie	25,0	3,7	n.w.	28,7
Utlenianie KMnO_4 —koagulacja dawkowanie ClO_2	n.w.	n.w.	n.w.	0
Koagulacja dwustopniowa—chlorowanie	25,0	3,7	n.w.	28,7
Koagulacja dwustopniowa—dawkowanie ClO_2	n.w.	n.w.	n.w.	0
Utlenianie KMnO_4 —koagulacja dwustopniowa—chlorowanie	24,0	3,5	n.w.	27,5
Utlenianie KMnO_4 —koagulacja dwustopniowa—dawkowanie ClO_2	n.w.	n.w.	n.w.	0

żenie PTTHM. Z przedstawionych danych wynika jednak, że chlorowanie wstępne niskimi dawkami chloru z następującą potem dechloracją pozwala na poważne obniżenie ilości tworzących się THM.

W tabeli 5 przedstawiono wyniki uzyskane na Wodociągu Centralnym w Warszawie. Wskazują one na brak skuteczności pylistego węgla aktywnego Carbolpol w obniżaniu PTTHM. Z tabeli 5 widać ponadto tworzenie się znacznych ilości bromowanych THM, głównie bro-

Tabela 5
WPLYW KOAGULACJI, SORPCJI I RODZAJU UTLENIAICZA
NA PTTHM

Wodociąg Centralny w Warszawie. Dawka chloru: 4 $\text{mg Cl}_2/\text{dm}^3$. Dawka dwutlenku chloru: 2 $\text{mg ClO}_2/\text{dm}^3$. Czas kontaktu: 5 dób. Dawka koagulantu: 50 $\text{mg Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}/\text{dm}^3$. Dawka pylistego węgla aktywnego Carbolpol: 30 mg/dm^3 . Temperatura: 284 K. $\text{pH}=7,0$.

Sposób uzdatniania wody	Zawartość THM $\mu\text{g}/\text{dm}^3$				
	ΣTHM	CHCl_3	CHCl_2Br	CHClBr_2	CHBr_3
Woda surowa+chlor	41,8	17,0	5,8	1,5	17,5
Woda surowa+ ClO_2	0				
Chlorowanie—koagulacja po 60 min.	41,5	19,5	4,5	1,5	16,0
Dawkowanie węgla akt.—chlorowanie po 30 min.—koagulacja po 30 min.	44,9	21,3	7,5	1,0	15,0
Woda uzdatniona na Wodociągu Centralnym*)					
ciąg I	33,2	12,0	4,0	1,5	15,7
ciąg II	38,9	16,0	5,8	0,6	16,5
Woda uzdatniona na Wodociągu Praskim**)	30,8	11,0	3,5	1,0	15,3

*) Dawka chloru 5,0 $\text{mg Cl}_2/\text{dm}^3$; dawka koagulantu, czas kontaktu z chlorem, temperatura i pH jak w badaniach technologicznych.

**) Dawka chloru 4,2 $\text{mg Cl}_2/\text{dm}^3$.

moformu, co tłumaczyć należy okresowym występowaniem jonu bromkowego w stężeniu do 1,4 mg Br/dm³.

Na wodociągu Zwiężyca II w Rzeszowie stwierdzono, że dawkowanie dwutlenku chloru nie powodowało tworzenia się wykrywalnych ilości THM zarówno w wodzie surowej, jak i uzdatnionej (tab. 4). Testy z zastosowaniem ClO₂ wykonano również w Warszawie (tab. 5), gdzie nie stwierdzono powstania THM oraz w Bydgoszczy (maksymalne stężenie sumy THM 4,5 µg/dm³ w porównaniu z 16,1 — 16,6 µg/dm³ w wyniku chlorowania) i w Łodzi (THM nie wykryto). Przytoczone wyżej wyniki wskazują na celowość stosowania ClO₂ jako alternatywnego utleniacza lub czynnika dezynfekującego.

Wnioski

1. Koagulacja za pomocą nieorganicznych koagulantów hydrolizujących pozwalała obniżyć PTTHM maksymalnie o 37,5%. Koagulacja dwustopniowa, przy zwiększonej łącznej dawce koagulantu nie polepszała rezultatów usuwania prekursorów THM. Nieznacznie lepszą skuteczność wykazał koagulant żelazowy.
2. Zmiana punktu dawkowania chloru przy wstępnym utlenianiu pozostawała bez wpływu na ilość tworzących się THM, również wtedy, kiedy chlor dodawano do wody w trakcie lub po zakończeniu flokulacji.
3. Prekursory THM zaadsorbowane lub w inny sposób powiązane z produktami hydrolizy koagulantu były w równym stopniu reaktywne z chlorem, jak prekursory obecne w wodzie surowej. Dla obniżenia PTTHM konieczne jest usuwanie z wody fazy stałej tworzącej się w wyniku koagulacji.
4. Wstępne utlenianie nadmanganianem potasu pozostało bez wpływu na PTTHM.
5. W przypadku konieczności stosowania wstępnego chlorowania wody poważne obniżenie ilości tworzących się THM można osiągnąć przyjmując dawki równe zapotrzebowaniu wody na chlor i stosując dechlorację po krótkim czasie kontaktu.
6. Stwierdzona niska reaktywność dwutlenku chloru z prekursorami THM wskazuje na ce-

lowość jego szerszego stosowania. W związku z tym istnieje pilna potrzeba ostatecznego rozstrzygnięcia, czy jon chlorynowy (którego obecność w wodzie poddawanej działaniu ClO₂ jest wysoce prawdopodobna) w oczekiwanych stężeniach stanowiłby mniejsze zagrożenie dla zdrowia człowieka, niż produkty reakcji chloru z organicznymi domieszkami wody. Należy przy podejmowaniu decyzji w tej sprawie wziąć pod uwagę dwa dodatkowe czynniki, a mianowicie:

- wieloletnią praktykę wodociągów szcześcińskich w stosowaniu ClO₂ na skalę techniczną,
- fakt, że chloryn sodowy o wymaganej czystości jest obecnie importowany z II obszaru płatniczego, co wskazuje na celowość uruchomienia jego produkcji w kraju.

LITERATURA

1. D. A. RECKHOW, P. C. SINGER: The Removal of Organic Halide Precursors by Preozonation and Alum Coagulation. Jour. AWWA 1984, 4, p. 151—157.
2. **PN-81/C-04549.01. Woda i ścieki.** Badanie zawartości chlorowcowych pochodnych węglowodorów. Oznaczanie chloroformu, chlorodwubromometanu, bromodwuchlorometanu i bromoformu w wodzie metodą chromatografii gazowej.
3. S. BIŁOZOR: Studies on haloform formation in certain ground and surface waters in Poland. Envir. Prot. Engng. 1980, 1.
4. S. BIŁOZOR: Investigations on the Contact Coagulation in the Multilayer Filter Bed. Final Report. Maszynopis, Poznań 1981.
5. W. S. JOYCE, F. DIGLIANO, P. C. UDEN: THM Precursors in Environment. Jour. AWWA 1984, 6, p. 102—106.
6. **Interim Primary Drinking Water Regulations:** Control of Organic Contaminants in Drinking Water. Fed. Register 43:5756, 1978.
7. G. H. GROCHEV, G. OZOLINS: WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. International Water Supply Congress 6—10 Sept., Zurich.
8. S. BIŁOZOR, P. WIŚNIEWSKI: Występowanie związków chloroorganicznych w wodzie do picia w największych aglomeracjach polskich oraz sposoby ograniczania ich ilości. Raport z II etapu badań w zadaniu 03.08.01.01. Maszynopis, Poznań 1983.
9. S. BIŁOZOR, P. WIŚNIEWSKI: Występowanie związków chloroorganicznych w wodzie do picia w największych aglomeracjach polskich oraz sposoby ograniczania ich ilości. Raport z III etapu badań w zadaniu 03.08.01.01. Maszynopis, Poznań 1985.

S. Biłozor

The abatement of trihalomethanes in potable water

The investigation of drinking water for some of the towns and agglomerations in Poland has revealed that the concentrations of trihalomethanes present in it call for an urgent modification of the treatment technology. Analysis of the results obtained leads to the following findings: (1) There no need to change the point at which chlorine doses are applied during

pre-chlorination, because the precursors of trihalomethanes become coagulated and not removed, so they continue to react in the presence of chlorine. (2) Pre-oxidation involving potassium permanganate and sorption on pulverized activated carbon of Carbol type are insufficient to remove trihalomethane precursors, whereas coagulation combined with filtration brings about an at most 37.5% removal. (3) Using ozone or chlorine dioxide instead of chlorine, markedly inhibits the formation of trihalomethane precursors. (4) Wherever pre-chlorination is a necessity, the formation of precursors may be inhibited by applying low chlorine doses and dechlorination.