

Zbigniew Łepkowski

## Miejsce procesu ozonowania w układach uzdatniania wody

### Rola utleniaczy w uzdatnianiu wody

Usuwanie wielu substancji zawartych w wodzie często wymaga uprzedniego ich utlenienia. Procesy utlenienia w wodach bogatych w tlen przebiegają samoczynnie i wymagają jedynie odpowiednio długiego czasu. W wypadku silnie zanieczyszczonych wód powierzchniowych procesy samooczyszczania przebiegają zbyt wolno, a przy braku dostatecznych ilości tlenu mogą doprowadzić do rozwoju bakterii beztlenowych, czego skutkiem jest zagniwanie wody i związane z tym pojawienie się nieprzyjemnego jej zapachu.

Najprostszym i od dawna stosowanym sposobem przyspieszenia procesu utleniania jest napowietrzanie wody. O ile proces ten jest często efektywny przy utlenianiu związków mineralnych zawartych w wodach podziemnych (żelazo, mangan), o tyle nie zadowala przy uzdatnianiu wód powierzchniowych, zanieczyszczonych związkami organicznymi. W takich przypadkach ten naturalny i nieszkodliwy – lecz powolny – sposób utleniania został zastąpiony wprowadzeniem do wody silniejszych utleniaczy, takich jak chlor, ozon, nadmanganian potasu, dwutlenek chloru czy też woda utleniona.

Utleniacze stosowane w technice wodociągowej zmieniały na przestrzeni lat swoją rolę i miejsce w układach oczyszczania wody. Początkowo chlor został użyty jako środek dezynfekcyjny i jako taki wytrzymał próbę czasu. Ozon, użyty również początkowo w celach dezynfekcyjnych, tj. na końcu procesu uzdatniania, nie zabezpieczał sieci wodociągowej przed wtórnym rozwojem bakterii. W miarę poznawania działania chloru i ozonu następowało przesuwanie punktów dawkowania tych środków do coraz to wcześniejszych etapów procesu oczyszczania wody. W wyniku działania chloru i ozonu osiągnęto wiele bardzo liczących się efektów technologicznych, których uzyskanie na innej drodze było utrudnione. Jako najistotniejsze z nich można uznać:

- natlenienie wody,
- dezaktywację organizmów planktonowych i bakterii,
- utlenienie związków żelaza i manganu,
- utlenienie azotu amonowego,
- obniżenie barwy wody,
- obniżenie zawartości związków organicznych,
- utlenienie mikrozanieczyszczeń,
- polepszenie procesów klarowania i filtracji wody,
- zmniejszenie dawek koagulantu i flokulantu,
- zmniejszenie zapotrzebowania wody na chlor do końcowej dezynfekcji,
- zmniejszenie ilości osadów pokoagulacyjnych,

- wydłużenie czasu pracy filtrów węglowych,
- poprawę parametrów hydraulicznych urządzeń do koagulacji i filtracji.

Te udokumentowane i niezaprzeczalne efekty wstępnego użycia głównych utleniaczy były podstawą do opracowania rozwiązań technicznych, zastosowanych w kilkunastu dużych wodociągach krajowych. Jednakże z chwilą wykrycia i potwierdzenia kancerogennych właściwości trihalometanów, większość wodociągów, które eksploatowały proces wstępnego chlorowania wody o stwierdzonym dużym potencjale tworzenia THM-ów, stanęła przed koniecznością rezygnacji z tego procesu. Z tym większym zapałem realizowano te inwestycje, które przewidywały wstępne ozonowanie wody. Dalszy postęp w badaniach nad szkodliwym wpływem produktów utleniania domieszek wody ozonem (bromiany) na ludzi podał w wątpliwość możliwości użycia również tego środka w przypadku silnie zanieczyszczonych wód. Tym sposobem zostały właściwie wyeliminowane z procesu wstępnego uzdatniania wody dwa potężne środki technologiczne. Podobnego ograniczenia doznał również dwutlenek chloru, którego maksymalna dawka podawana do wody jest ograniczona do  $0,4 \text{ gClO}_2/\text{m}^3$ .

Wszystkie te ograniczenia wymuszają stosowanie zasady, która dopuszcza podawanie środków utleniających do wody, z której usunięto w dużej części prekursorów kancerogenów. Spełnienie wymagań jakościowych wody przy złym surowcu i dużych ograniczeniach technologicznych nastęrcza duże trudności. Stąd występuje nawrót do systemów naturalnych, np. napowietrzania, infiltracji, filtracji przez grunt, filtracji powolnej oraz stosowania wielu stopni koagulacji wody, tj. koagulacji klasycznej, koagulacji z osadem zawieszonym, koagulacji kontaktowej. Efektywność tych zabiegów jest niestety ograniczona i trzeba – szczególnie przy dużym poziomie związków organicznych – wracać do procesów wstępnego utleniania. Należy jednak procesy te stosować z rozwagą, by z jednej strony uzyskać pożądane efekty technologiczne, a z drugiej – zminimalizować efekty szkodliwe. Ponieważ ilość powstałych w wodzie substancji szkodliwych zależy od poziomu ich prekursorów oraz dawki środka utleniającego i czasu kontaktu wody z utleniaczem, dlatego też w badaniach technologicznych należy zoptymalizować poszczególne procesy jednostkowe, mając na względzie możliwe do uzyskania zminimalizowanie powyższych parametrów.

### Zastosowanie ozonu w układach uzdatniania wody

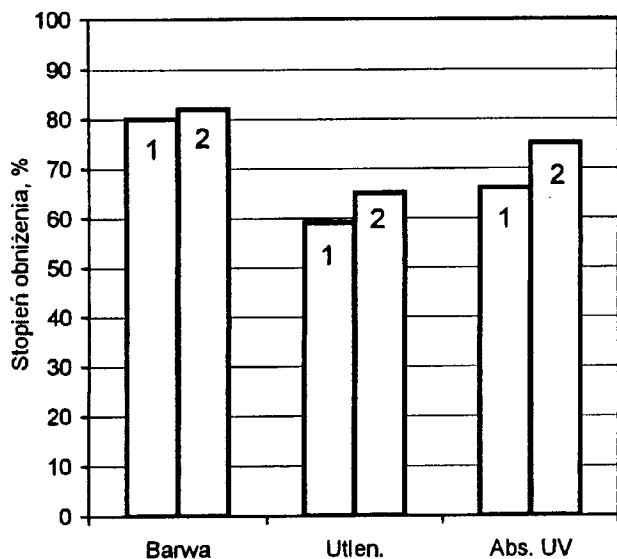
Firma AQUACOMP Sp. z o.o. prowadzi badania technologiczne dla potrzeb modernizacji kilku dużych wodociągów, obejmujące m.in. stosowanie ozonu w różnych miejscach układu oczyszczania wody.

Tabela 1. Wpływ wstępnego ozonowania na jakość wody uzdatnionej

Wskaźnik, jednostka	Układ z ozonowaniem dwustopniowym (wstępne i pośrednie)		Układ z ozonowaniem jednostopniowym (pośrednie)	
	Woda surowa	Ozonowanie wstępne + koagulacja + filtracja pospieszna + ozonowanie pośrednie	Woda surowa	koagulacja + filtracja pospieszna + ozonowanie pośrednie
Barwa, gPt/m <sup>3</sup>	54	2	30	2
Utlenialność, gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	9,0	2,8	6,1	2,7
Absorpcja w UV, 1/m	23,56	4,81	16,63	4,58

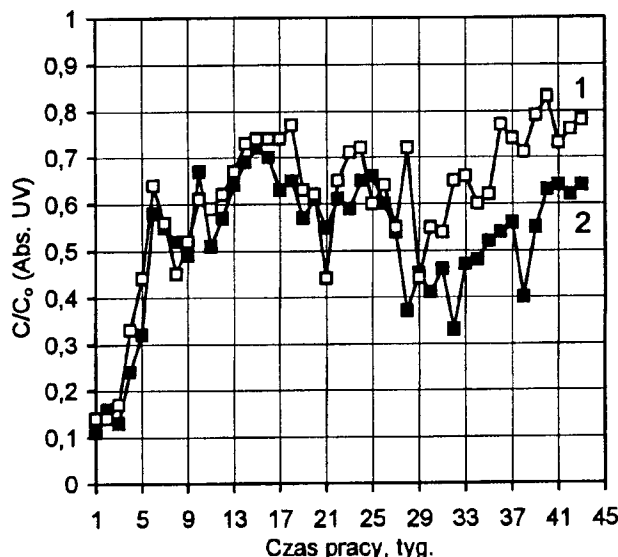
W tabeli 1 zamieszczono wyniki badań technologicznych wody z zastosowaniem ozonowania jednostopniowego (ozonowanie pośrednie) i dwustopniowego (ozonowanie wstępne i pośrednie). Widać wyraźnie korzystny wpływ ozonowania wstępnego wody, które spowodowało, że mimo dużych różnic w jakości ujmowanej wody (dużo gorsza jakość wody ujmowanej przy stosowaniu ozonowania dwustopniowego), woda uzdatniona w obu układach miała zbliżoną – zadowalającą – jakość. W przypadku rezygnacji z wstępnego ozonowania nie można byłoby uzyskać wody spełniającej kryteria jakościowe, mimo że poziom zanieczyszczeń w wodzie surowej nie był najwyższy.

Na rysunku 1 pokazano, jak zmiana punktu dawkowania ozonu (przed czy po procesie koagulacji) wpływa na efektywność uzdatniania wody. Wyniki te wskazują wyraźnie na korzystniejszy rezultat przy ozonowaniu wody po koagulacji, przy jednocześnie niższym poziomie dawek ozonu. W takim przypadku rezygnuje się z efektów, które może dawać ozon w procesie koagulacji.



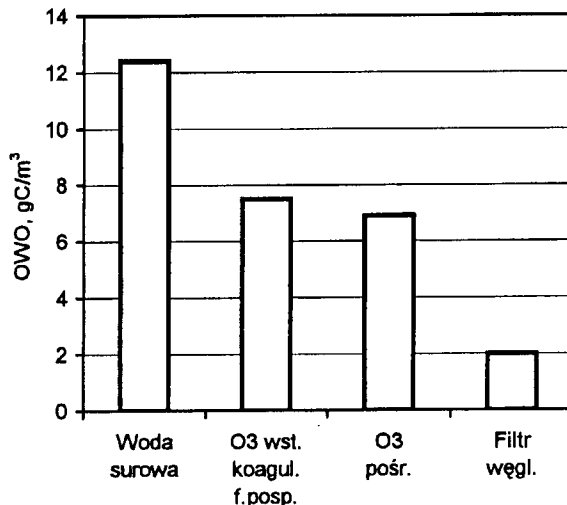
Rys. 1. Wpływ miejsca stosowania wstępnego ozonowania na efektywność uzdatniania wody (układ 1 – ozonowanie wstępne dawką 1+2 gO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>, koagulacja, filtracja pospieszna; układ 2 – koagulacja, ozonowanie wstępne dawką 1+1,5 gO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>, filtracja pospieszna)

Na rysunku 2 przedstawiono wpływ stosowania ozonu na efektywność pracy filtru węglowego. Widać, że ozon wprowadzony do wody przed filtrem węglowym (ozonowanie pośrednie) wpływa na przedłużenie czasu jego pracy. Gdyby w tym przypadku zrezygnować również z ozonowania wstępnego, to efektywny czas pracy filtru uległby dalszemu skróceniu do kilku miesięcy. Kiedy wzrasta obciążenie węgla aktywnego, a czas jego pracy maleje, wówczas względy ekonomiczne mogą przekreślić możliwość jego stosowania.

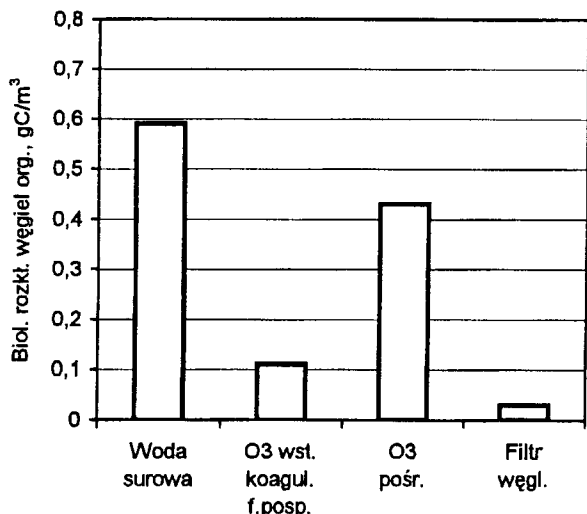


Rys. 2. Wpływ ozonowania wody przed filtrem węglowym na pracę węgla aktywnego Norit ROW 0.8 S (1 – ozonowanie wstępne, 2 – ozonowanie wstępne i pośrednie)

Rolę ozonu i filtrów węglowych można prześledzić analizując rysunki 3 i 4. Na rysunku 3 pokazano jak obniża się stężenie ogólnego węgla organicznego w procesie uzdatniania wody. Znaczne obniżenie ilości węgla organicznego uzyskano w procesie wstępnego uzdatniania wody (ozonowanie wstępne, koagulacja, filtracja pospieszna). Kolejny proces – ozonowanie pośrednie – także zmniejszył zawartość ogólnego węgla organicznego; istotne obniżenie tego parametru uzyskano na filtrze węglowym. Wyjściowa zawartość węgla organicznego w wodzie surowej 12,4 gC/m<sup>3</sup> została ostatecznie obniżona do 1,9 gC/m<sup>3</sup> po filtracji węglowej.



Rys. 3. Zmiany stężeń ogólnego węgla organicznego w procesach uzdatniania wody



Rys. 4. Zmiany stężeń biologicznie rozkładalnego węgla organicznego w procesach uzdatniania wody

Zmiany stężenia biologicznie rozkładalnego węgla organicznego w procesie uzdatniania wody pokazano na rysunku 4. Zawartość związków biodegradowalnych uległa istotnemu obniżeniu w procesie wstępnego uzdatniania wody. Ozonowanie przed filtrem węglowym powodowało zmniejszenie ilości ogólnego węgla organicznego (rys.3), przy jednoczesnym bardzo dużym przyroście ilości węgla organicznego biologicznie rozkładalnego. Ten węgiel organiczny prawie całkowicie był następnie usuwany podczas filtracji węglowej. Zastosowanie procesu ozonowania wody przed filtrem węglowym powodowało, że na filtr węglowy wprowadzana była woda o lepszej jakości (mniejsze stężenie OWO) oraz o zwiększonej zawartości związków biodegradowalnych, które były lepiej usuwane w procesie biologicznego rozkładu, co w konsekwencji wydłużało czas pracy węgla aktywnego. Jak widać na rysunku 2, miało to przede wszystkim znaczenie w momencie wyczerpania podstawowych właściwości sorpcyjnych węgla, gdy większą rolę odgrywały procesy bioregeneracji węgla aktywnego.

### Zasady stosowania ozonu w uzdatnianiu wody

Procesy utleniania muszą być mimo wszystko stosowane przy uzdatnianiu wód silnie zanieczyszczonych. Ozonowanie

wody ma tu niewątpliwie priorytet w stosunku do chlorowania wody. Ozon jest silniejszym środkiem utleniającym i jak dotąd stwierdza się mniejsze zagrożenie wynikające z jego zastosowania.

Pierwszą zasadą przy stosowaniu ozonu w zakładach wodociągowych powinno być wprowadzanie go do wody maksymalnie oczyszczonej. Dlatego też programując wstępny proces uzdatniania wody powinno się w pierwszej kolejności wykorzystać wszystkie inne dostępne metody, a unikać użycia ozonu. Jeżeli jednak okaże się, że użycie ozonu jest niezbędne, to powinno się dążyć do zminimalizowania jego dawki ( $0,5+1,0 \text{ gO}_3/\text{m}^3$ ) i czasu kontaktu (kilka minut). Sytuację łagodzić może fakt występowania małej zawartości bromków w ujmowanej wodzie, jednakże ciągle istnieją obawy wystąpienia innych, nie do końca udowodnionych, szkodliwych efektów ozonowania wody.

Drugą zasadą wykorzystania ozonu w zakładach wodociągowych może być stosowanie dużych dawek ozonu ( $4,0+6,0 \text{ gO}_3/\text{m}^3$ ) podawanego do wody wstępnie oczyszczonej, z jednoczesnym zapewnieniem wydłużonych czasów kontaktu (nawet do 30 min). Taki rozdział i warunki prowadzenia procesu ozonowania powinny dawać pożądane efekty technologiczne i jednocześnie minimalizować mogące występować efekty szkodliwe.

O możliwościach, celowości i warunkach prowadzenia procesu wielostopniowego ozonowania wody można się wypowiedzieć dopiero po przeprowadzeniu badań technologicznych. Stosowanie wielostopniowego ozonowania wody w warunkach krajowych wydaje się być jednak koniecznością. I to głównie nie ze względu na „modę” lub chęć przypodobania się konsumentowi, lecz z powodu uwarunkowań prawnych.

Nowe przepisy sanitarne, których wprowadzenie może szybko nastąpić, ograniczają po raz pierwszy w kraju dopuszczalny poziom substancji organicznych (utleniałość maks.  $4,0 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ ) oraz maksymalną zawartość chloru wolnego na wyjściu wody z zakładu wodociągowego ( $0,4 \text{ gCl}_2/\text{m}^3$ ). Oba te ograniczenia mogą być nie do spełnienia dla tych wodociągów, które ujmują silnie zanieczyszczone wody powierzchniowe i mają jednocześnie zminimalizowany układ uzdatniania. Zmodernizowanie takich zakładów wodociągowych, bez użycia ozonu, wydaje się mało prawdopodobne.

## The Role of Ozone in Water Treatment Processes

*The application of oxidizing agents for the purpose of disinfection is an important part of the water treatment train. It was conventional to use disinfectants (chlorine compounds) as a final step of water treatment. But once the implications of chlorine to human health had been detected, disinfection became part of an earlier stage of the treatment process (prechlorination) and there appeared a tendency to replace chlorine by ozone. Many water treatment plants, especially in France, began to apply pre-ozonation. However, pre-ozonation was also found to have an adverse effect on human health when the water to be treated carried high pollution loads. The objective of the study reported*

*in this paper was to determine the stage of the treatment process at which the application of ozone might be most appropriate. Investigated were a number of large water treatment plants in Poland, and the results of introducing ozone into their treatment trains were analyzed. The application of ozone has two major advantages – ozone enhances the technological process and extends the duration of the filter cycle. The decrease of organic matter content is becoming a problem of prime importance, the more so as the admissible levels of organics in potable water have been lowered by the most recent environmental regulations in Poland.*