ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1971
Seria: INŻYNIERIA SANITARNA z. 17 Nr kol. 305

Andrzej Grossman

OZONOWANIE WODY WODOCIĄGOWEJ

Podstawowym źródłem zaopatrzenia wodociągów miasta Gliwic były początkowo ujęcia wody gruntowej, a mianowicie studnie wiercone w pobliżu lub na terenie miasta. Wobec niewystarczającej wydajności tych studni, produkcję wodociągów gliwickich uzupełnia się obecnie niemal w połowie wodą pochodzącą z odległego o kilkanaście kilometrów ujęcia głębinowego należącego do Wojewódzkiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji. W sumie wodociągi gliwickie są zasilane dotychczas wodą wyłącznie gruntową, nie zawierającą przeto uciążliwych zanieczyszczeń, której jakość nie budzi zastrzeżeń z wyjątkiem dużej twardości (około 9-12 mval/l) charakterystycznej dla tego rodzaju wód.

Jednak wydajność wszystkich wyżej wymienionych studni nie wystarcza na pokrycie potrzeb miasta. Aby zaradzić temu niedostatkowi wody rozpoczęto układanie rurociągu, którym będzie się doprowadzać do Gliwic wodę z sieci Woj. Przeds. Wod. i Kan. Będzie to jednak woda powierzchniowa, gdyż WPWK czerpie swe zasoby niemal wyłącznie z ujęć na rzekach i zbiornikach zaporowych. Udział wód powierzchniowych w zaopatrzenia Gliwic będzie się odtąd stale zwiększał, ponieważ będzie wzrastać zapotrzebowanie miasta, a miejscowe i okoliczne zasoby wód gruntowych są już całkowicie zagospodarowane. Co więcej, należy się liczyć z tym, że będą się one wyczerpywać, a nawet zanikać w związku z prowadzonymi w tych stronach robotami górniczymi.

Tak więc Gliwice, jakkolwiek położone na samym skraju Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, stają się coraz bardziej uzależnione od ogólnej gospodarki wodnej w tym regionie, a tym samym w całym województwie katowickim. Szczególne trudności, jakie pod względem zaopatrzenia w wodę występują właśnie w tym województwie są powszechnie znane. Wynikają one z wyjątkowo dużego zapotrzebowania wody przez największe w kraju zagęszczenie ludności i wodochłonnych przemysłów, podczas gdy własne zasoby są tu bardzo małe wskutek niefortunnego pod względem hydrologicznym położenia: na wododziale Wisły i Odry w górnym biegu tych rzek. Nieunikniony w tych warunkach deficyt wody obrazuje zestawienie kilku liczb charakteryzujących pod tym względem woj. katowickie: na obszarze wynoszącym w przybliżeniu 3% powierzchni kraju mieszka około 10% ludności i wytwarza się blisko 25% dochodu narodowego. Natomiast zasoby wody stanowią tu zaledwie 1% ogólnych zasobów w Polsce. Sytuacja jest tym trudniejsza, że nawet te niedostateczne ilości wody budzą często poważne zastrzeżenia jakościowe ze względu na zanieczyszczenie ściekami, głównie przemysłowymi. Dotyczy to przede wszyst-

kim wód powierzchniowych, będących - jak to już zaznaczono - podstawą zaopatrzenia wodociągowego w woj. katowickim, jakkolwiek i wody gruntowe bywają też narażone na zanieczyszczenie. Znany jest przypadek jednego z miast w naszym województwie, gdzie część wodociągowych ujęć głębinowych została trwale skażona wodami odciekowymi infilturjącymi z terenu pobliskiego wielkiego zakładu przemysłowego.

Dla pokonania trudności, jakie piętrzą się przed gospodarką wodociągową woj. katowickiego niezbędnym jest równoczesne stosowanie wszystkich dostępnych środków zaradczych i zapobiegawczych: dostarczanie do okręgów przemysłowych wody z dalszych okolic, nawet spoza terenu województwa; ograniczanie jej zużycia do poziomu uzasadnionego gospodarczo i technicznie; troskliwa ochrona zasobów wody przez staranne oczyszczanie ścieków odprowadzanych do odbiorników; wdrażanie nowoczesnych i skutecznych sposobów uzdatniania tak, aby woda wodociągowa w pełni odpowiadała wymaganiom mimo zastrzeżeń, jakie budzi jakość przerabianej wody surowej.

Jednym z takich nowoczesnych sposobów uzdatniania wody jest jej ozonowanie. Zalety ozonu jako środka dezynfekującego były znane od kilkudziesięciu lat. Po raz pierwszy zastosowano ozon w skali technicznej do dezynfekcji wody już w 1890 r. w Joinville koło Paryża, w piętnaście lat później ozonowano wodę z Newy w instalacji doświadczalnej w Petersburgu, zaś pierwszą w świecie dużą (jak na owe czasy) stację ozonowania wody uruchomiono w 1907 r. w Nicei podczas panującej tam wówczas epidemii tyfusu [1a]. Metoda ta nie rozpowszechniła się jednak szerzej z powodu trudności technicznych i wysokich kosztów produkcji ozonu w skali wymaganej dla dużych miast. Znacznie wygodniejszym i tańszym od ozonu okazał się wówczas chlor, nic więc dziwnego, że chlorowanie (w różnych zresztą modyfikacjach) znalazło powszechne zastosowanie w gospodarce wodociągowej. Dopiero stosunkowo niedawno zdołano osiągnąć zasadniczy postęp w budowie i eksploatacji ozonatorów. Od tej pory, mniej więcej od lat pięćdziesiątych, datuje się szybki rozwój tej techniki uzdatniania. Obecnie pracuje w całym świecie około 1000 stacji ozonowania wody. Metoda ta cieszy się szczególnym powodzeniem we Francji, gdzie posługuje się nią ponad 300 stacji wodociągowych, między nimi największe i najbardziej nowoczesne, jak np. stacja w Choisy-le-Roi produkująca około 800 tys. m^3 idealnie czystej wody na dobę. Notuje się również szybki rozwój metody ozonowania w ZSRR, USA, Niemczech, Szwajcarii, Włoszech, Czechosłowacji itd. [1b]. Coraz większe uznanie dla zalet metody ozonowania wiąże się z dość istotną zmianą poglądów na jej przydatność. Podczas gdy początkowo właściwym celem ozonowania była dezynfekcja wody, obecnie kładzie się coraz większy nacisk na fakt, że równocześnie z pełnym odkażeniem uzyskuje się dzięki ozonowania także znakomitą poprawę jakości wody pod względem jej wyglądu i cech organoleptycznych, co ma szczególne znaczenie dla wody do picia. Warto przytoczyć, że projekt nowej sieci wodociągowej na bułgarskim wybrzeżu Morza Czarnego na połud-

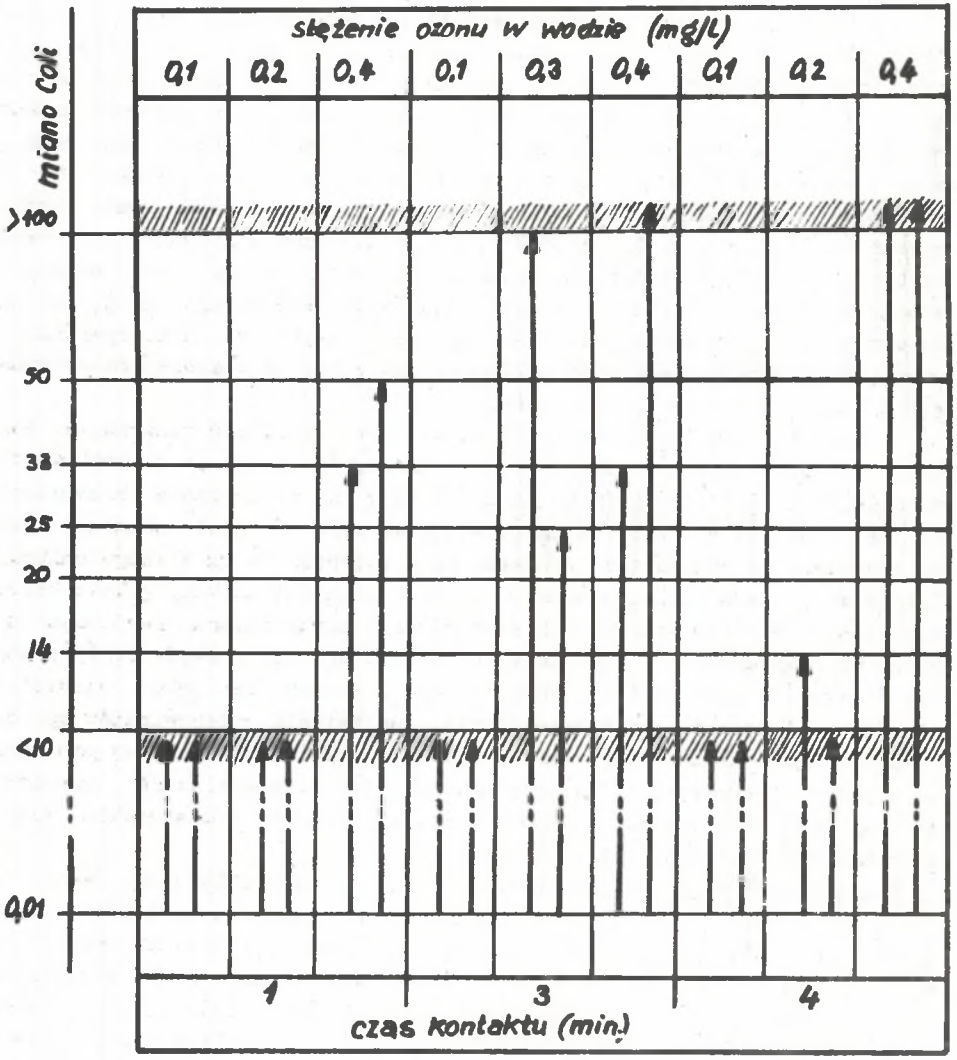
nie od Burgas przewiduje budowę tam stacji ozonatorów. Otóż zasadniczym celem tego zamierzenia jest chęć zapewnienia najwyższej jakości wody, jako jeszcze jednego czynnika sprzyjającego napływowi turystów z zagranicy.

Jednak i pod względem sanitarnym ozon może mieć także przewagę nad chlorem. Badania laboratoryjne wykonane niedawno przy udziale katedry Technologii Wody i Ścieków Politechniki Śląskiej potwierdziły i w pewnym stopniu uściśliły poglądy na skuteczność bakteriobójczego oddziaływania ozonu. Badania te polegały na sztucznym skażaniu wody kontrolowanymi dawkami bakterii Escherichia coli (uważanej powszechnie za wskaźnik sanitarnego stanu wody) i na obserwowaniu ich zaniku pod wpływem ozonowania. Wyniki przedstawione przykładowo na rysunku wskazują, że istnieje pewne progowe stężenie w wodzie (0,3-0,4 mg O_3/l), po przekroczeniu którego ozon działa bakteriobójczo wielokrotnie szybciej niż chlor, który - jak wiadomo - wymaga w tym celu dość długiego czasu kontaktu. Nie wydaje się jednak, aby należało w tym przypadku przeceniać znaczenie szybkości oddziaływania, ponieważ w warunkach pracy wodociągów dysponuje się przeważnie czasem wymaganym dla prawidłowego chlorowania.

Natomiast niewątpliwą zaletą ozonu jest jego zdolność niszczenia bakterii bardziej odpornych na działanie chloru, a także unieszkodliwiania wirusów, w stosunku do których chlor okazuje się praktycznie bezskuteczny. MAC LEAN [2] wykazał, że inaktywacja wirusów żółtaczki zakaźnej następuje dopiero po 30 minutach kontaktu przy stężeniu 15 mg wolnego chloru w litrze wody: taka woda nie nadaje się oczywiście do użytku. Ogólnie biorąc inaktywacja wirusów przez stosunkowo słabsze dawki chloru następuje dopiero po przynajmniej 6 godzinach. Natomiast wg COIN i współpr. [3] wystarcza kilku- lub kilkunastominutowy kontakt z ozonem przy jego niewielkim stężeniu 0,4 mg/l dla całkowitego unieszkodliwienia enterowirusów, np. choroby Heinego-Medina. Występowanie wirusów w wodzie wodociągowej jest wprawdzie sprawą dyskusyjną. Niektórzy autorzy [4] nie przywiązują znaczenia do rozprzestrzeniania się wirusów tą drogą, znane są jednak także doniesienia [5a], wskazujące na taką możliwość.

W każdym jednak razie stosowanie ozonu, mającego silniejsze własności dezynfekcyjne niż chlor, daje większą pewność usunięcia wszelkich - nawet tylko potencjalnych - źródeł infekcji, na co słusznie kładzie się coraz większy nacisk. Pewne wątpliwości może natomiast budzić fakt, że ozon zanika w wodzie znacznie szybciej niż chlor. Już po kilkudziesięciu minutach, a najdłużej po kilku godzinach (co zależy od okoliczności, głównie od pH) nie stwierdza się resztek ozonu pozostałych w uzdatnionej wodzie, która tym samym może się stawać podatna na wtórne skażenie.

Jak z powyższego wynika, ozon posiada pod względem przydatności do celów dezynfekcyjnych pewną przewagę nad chlorem, nie wydaje się jednak, aby tylko ten wzgląd mógł mieć decydujące znaczenie dla wyboru metody. Natomiast przewaga ozonu nad chlorem zaznacza się w sposób bardzo wyraźny i



Rys. 1. Zanikanie bakterii Coli pod wpływem ozonowania

niezaprzeczalny, gdy rozpatruje się wpływ tych odczynników na poprawę jakości wody. Dotyczy to szczególnie wód zawierających w stanie surowym zanieczyszczenia pochodzenia ściekowego, które wpływają szkodliwie na barwę, smak i zapach, a których oddziaływanie nie tylko nie zanika pod wpływem chloru, lecz zwiększa się jeszcze bardziej. Odnosi się to między innymi do produktów przemiany mikroorganizmów wodnych rozwijających się masowo w wodach, do których odprowadza się ścieki przemysłu drzewnego i celulozowo-papierniczego. W tych przypadkach po działaniu nawet bardzo dużymi dawkami chloru nieprzyjemny zapach i posmak wody nasila się [6]. Innym, najbardziej zresztą znanym przykładem tak reagujących zanieczyszczeń są związki fenolowe, przedostające się do wód głównie ze ściekami z chemicznej przeróbki węgla. Ich obecność w wodzie wpływa bardzo ujemnie na jej własności organoleptyczne. Własności te ulegają dalszemu pogorszeniu, gdy pod wpływem chlorowania tworzą się jeszcze bardziej uciążliwe chlorofenole. Ten przebieg zjawisk był powodem, dla którego zaczęto zamiast chloru stosować do dezynfekcji wody dwutlenek chloru. Związek ten istotnie nie tworzy chlorofenoli, ale nie jest czynnikiem niszczącym radykalnie fenole. Jego działanie uzdatniające można uważać za pozorne, ponieważ niektóre z powstających pod jego wpływem produkty pochodne (np. chinony) są toksyczne i z tego względu niepożądane w środowisku wodnym [7]. Zwraca się również uwagę, że reakcje z dwutlenkiem chloru są odwracalne, wobec czego w pewnych okolicznościach może ponownie pojawiać się przykry smak i zapach już uzdatnionej wody [5b, 8].

Zjawiska takie nie zachodzą, jeżeli dezynfekcję i uzdatnianie wody przeprowadza się ozonem. Jest to najsilniejszy środek utleniający, który działa w trojaki sposób na zanieczyszczenia organiczne zawarte w wodzie:

a) bezpośrednio przez uwalniane atomy tlenu "in statu nascendi",
b) przez katalityczne wzmożenie reakcji zachodzących pod wpływem tlenu rozpuszczonego w wodzie,
c) przez przyłączanie się do cząsteczek organicznych z przejściowym wytworzeniem nietrwałych ozonków, które rozpadają się na związki prostsze [5c].

Nawet więc i wówczas, gdy nie dochodzi do całkowitego utlenienia zanieczyszczeń organicznych do CO_2 i H_2O, nie tworzą się uciążliwe produkty pochodne. W rezultacie ozon jest tym środkiem, który najskuteczniej dezynfekuje wodę, a zarazem najlepiej poprawia jej smak, zapach i barwę. Twierdzenie to odnosi się do wszelkich wód, lecz najbardziej do wód powierzchniowych stosunkowo silnie zanieczyszczonych, z jakimi ma się przeważnie do czynienia w regionach uprzemysłowionych.

Z tych wypowiedzi nie należy wyciągać wniosku, że ozonowanie jest metodą zawsze wystarczającą i uniwersalną. Trzeba między innymi brać w rachubę pewną właściwość urządzeń do ozonowania, na którą dotychczas nie zwracano chyba dostatecznej uwagi. Właściwością tą jest mianowicie nie-

wielka możność zmieniania wydajności instalacji, a tym samym elastycznego dopasowywania produkcji ozonu (który, jak wiadomo, nie daje się przechowywać) do zmiennej jakości uzdatnianej wody. Właśnie w regionach uprzemysłowionych często zagraża przejściowe, lecz raptowne pogorszenie się jakości ujmowanej wody powierzchniowej wskutek zrzutu ścieków poprodukcyjnych, spowodowanego awarią lub brakiem dozoru. Nagle zwiększone zapotrzebowanie ozonu może wówczas nie znaleźć pokrycia wskutek ograniczonej zdolności wytwórczej instalacji ozonacyjnej. Ponieważ inwestowanie rezerwy produkcyjnej ozonu uruchamianej tylko w sporadycznych przypadkach nie byłoby ekonomicznie uzasadnione, wydaje się, że wodociągi narażone na takie przypadki powinny dysponować rezerwą w postaci chlorownic, włączanych w razie potrzeby dla doraźnego usunięcia nadwyżki zanieczyszczeń; ostateczne uzdatnienie odbywało by się następnie w ozonatorach.

Nie jest to jedyny przykład celowego wykorzystania dwóch (lub więcej) metod uzdatniania. Nie dawno przedostało się do wody zasilającej jedno z ujęć wodociągowych w tutejszym województwie zanieczyszczenie nadające wodzie odrażający zapach. Okazało się ono zupełnie odporne na utlenianie (a tym samym na działanie ozonu), natomiast dawało się łatwo usuwać przez sorpcję na węglu aktywnym.

Niekiedy kombinowane stosowanie węgla aktywnego i ozonu może się okazać korzystne również z ekonomicznego punktu widzenia. Ciekawe są pod tym względem obliczenia holenderskie [5d], w których założono obniżenie w wodzie zawartości aldryny (jest to jeden ze środków owadobójczych) ze 100 do 1 mg/l. Koszt takiego oczyszczenia 1 m^3 wody wynosi wg cytowanych autorów:

A. Przy użyciu tylko węgla aktywnego		0,02 F
B. " " " ozonu		0,011 F
C. Przy uzdatnianiu w dwóch etapach:		
a) węglem akt, ze 100 do 10 mg/l, a następnie		
b) ozonem z 10 do 1 mg/l	łącznie	0,0074 F
D. Natomiast przy odwrotnej kolejności:		
a) ozonem ze 100 do 10 mg/l		
b) węglem aktywnym z 10 do 1 mg/l	łącznie	0,0117 F

czyli jeszcze nieco drożej, niż samym ozonem.

Mimo znacznego obniżenia kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych osiągniętego w ostatnich latach, ozonowanie jest wciąż zabiegiem kosztowniejszym niż chlorowanie. Według obliczenia projektowego dla pewnego konkretnego przykładu w Polsce [9] jednostkowe nakłady inwestycyjne mają wynieść:

- dla ozonowania 0,317 zł/m^3 wody rocznie
- dla chlorowania 0,177 " " "

zaś jednostkowe koszty eksploatacyjne z amortyzacją włącznie:

- dla ozonowania 0,045 zł/m^3 rocznie
- dla chlorowania 0,034 " "

Warto przy tym zaznaczyć, że koszty eksploatacyjne przy zastosowaniu dwutlenku chloru lub węgla aktywnego były by jeszcze wyższe (odpowiednio 0,132 i 0,169 zł/m^3 wody rocznie).

Trzeba się niestety liczyć z tym, że produkcja wody wodociągowej będzie się stawać zabiegiem coraz kosztowniejszym w miarę pogarszania się jakości wody surowej, wymagającej stosowania bardziej skomplikowanych i zarazem bardziej skutecznych zabiegów uzdatniających. Jednym z takich zabiegów jest niewątpliwie ozonowanie. Zainteresowanie tą metodą jest coraz powszechniejsze również w Polsce. Po pozytywnych doświadczeniach Krakowa i Częstochowy (które część swojej produkcji wody wodociągowej poddają ozonowaniu głównie dla zwalczania skutków zanieczyszczeń fenolami) niebawem Wrocław, mający coraz większe trudności spowodowane systematycznym pogarszaniem się jakości uzdatnianej wody przystąpi do budowy wielkiej instalacji do ozonowania wspomaganej innymi dodatkowymi procesami [6]. Nie ulega chyba wątpliwości, że ozon znajdzie również zastosowanie w gospodarce wodociągowej woj. katowickiego, jako szczególnie narażonego na trudności charakterystyczne dla regionów silnie uprzemysłowionych. Dlatego katedra Technologii Wody i Ścieków w Politechnice Śląskiej uważa ozonowanie wody za jeden z węzłowych tematów swojej działalności badawczej.

LITERATURA

[1] Materiały z konferencji "Chlorowanie i ozonowanie wody" Wrocław (1970)
a) referaty: Z. RUDOLFA str. 12; S. RYBICKIEGO str. 295; R. BRYCHA str. 325; J. PASYNKIEWICZ str. 405,
b) referaty: A. SUKOVITEGO str. 217; S. NAWARY i S. RYBICKIEGO str. 249; S. RYBICKIEGO str. 295: R. BRYCHA str. 326.

[2] MAC LEAN D. - Contamination of water by viruses - J.A.W.W.A. 56, 585 (1964).

[3] COIN L. i współpr. - Inactivation par l' ozone du virus de poliomyélite - La Presse Médicale 72 (1964), 75, 1883 (1967).

[4] Committee reports - Viruses in water - J.A.W.W.A. 61, 491 (1969).

[5] COUTRIS R., GOMELLA C. - Rapport général No. 2. Międz. Kongres I.W.S.A. Wiedeń (1969) a) str. B37-39 b) str. B60 c) str. B62 d) str. B63.

[6] JASIŃSKI B., ZIEBA L. - W sprawie ozonowania wody we Wrocławiu - Gaz, Woda, Techn. Sanit. 45, 25 (1971).

[7] GLABISZ U. - Reakcja dwutlenku chloru ze składnikami ścieków fenolowych. Mat, konf. "Chlorowanie i ozonowanie wody" Wrocław (1970) str. 139.

[8] REISSAUS K., RUMMEL W. - Wasseraufbereitung mit ozon bei der Trinkwasserschonung. Vergleichende Untersuchungen der Schonungswirkung von Ozon und Chlordioxid. Fort. der Wasserschemie 6, 139 (1967).

[9] BADZIAK M., MIKUTA Z. - Zagadnienia techniczno-ekonomiczne uzdatniania wody przy pomocy ozonowania - Mat. konf. "Chlorowanie i ozonowanie wody" Wrocław (1970) str. 261.

S t r e s z c z e n i e

Ponieważ własne zasoby wody gruntowej nie wystarczają na pokrycie zapotrzebowania Gliwic, miasto to będzie w coraz większej mierze zaopatrywane wodociągami zasilanymi przez wody powierzchniowe, dostarczane z dalszej odległości. W referacie omówiono przydatność ozonowania dla dezynfekcji i poprawy jakości wód powierzchniowych szczególnie w regionach przemysłowych, gdzie są one najbardziej narażone na zanieczyszczenie ściekami.

ОЗОНИРОВАНИЕ ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЫ

Р е з ю м е

Собственное ресурсы грунтовой воды не хватают для нужд населения города Гливице, город этот будет в будущем во всё большой мере снабжаться водопроводом при употреблении поверхностных вод.

В реферате представлена пригодность озонирования для дезинфекции и улучшения качества поверхностных вод специально в промышленных районах, в которых особенно выступает возможность влияния сточных вод на поверхностные водозаборы.

TAP WATER OZONIZATION

S u m m a r y

Because the own ground water reserves are insufficient for supply the town Gliwice, it will be more and more supplied with surface water from greater distances. The suitabilness of water ozonization for disinfection and surface water quality improvement, especially in industrialized regions, wher they most endangered to pollution, was discussed.