

Klaudia RAKOCZ¹ i Agata ROSIŃSKA¹

WPLYW UTLENIANIA CHEMICZNEGO NA ZMIANY ZAWARTOŚCI SUBSTANCJI ORGANICZNYCH W WODZIE

EFFECT OF CHEMICAL OXIDATION ON CHANGES THE CONTENT OF ORGANIC SUBSTANCES IN WATER

Abstrakt: Głównym celem zakładów produkujących wodę jest takie jej przygotowanie dla odbiorców, aby spełniała ona wymagania pod względem bezpieczeństwa i jakości. Jakość wody przeznaczonej do spożycia przez konsumentów zależy od jej składu w miejscu ujęcia, sposobu uzdatniania, magazynowania i stanu sieci wodociągowej. Zawartość materii organicznej w wodzie odgrywa ważną rolę w jej jakości i może być źródłem węgla oraz energii dla wzrostu i rozwoju w niej bakterii, co przyczynia się do powstawania i rozwoju biofilmu w sieci dystrybucyjnej. Dezynfektanty stosowane w celu zniszczenia bakterii lub zapobiegania ich rozwojowi oddziałują zarówno na mikroorganizmy, jak i na substancje chemiczne występujące w wodzie, co zwiększa ich biodegradowalność. Prowadzi to do rozwoju biofilmu, obniża jakość wody i oddziałuje negatywnie na stan sieci wodociągowej. W pracy przedstawiono zmiany zawartości węgla organicznego w wodzie podczas procesu dezynfekcji zarówno ozonem, jak i podchlorynem sodu. Woda poddana badaniom ujmowana jest ze źródeł głębinowych. Uzyskane wyniki pokazały, że proces dezynfekcji miał duży wpływ na jakość wody, szczególnie na zawartość węgla organicznego. Wielkości zmian parametrów jakości były znacząco różne dla dezynfekcji ozonem i podchlorynem sodu. We wszystkich badanych próbkach wykazano zmniejszenie zawartości ogólnego węgla organicznego (OWO) w wodzie zarówno w procesie jej dystrybucji, jak i po procesie dezynfekcji. Wartości pozostałych parametrów, tj.: rozpuszczalnego węgla organicznego (RWO), nierozpuszczalnego węgla organicznego (NRWO), biodegradowalnego rozpuszczalnego węgla organicznego (BRWO) oraz niebiodegradowalnego rozpuszczalnego węgla organicznego (NBRWO) zmieniły się zarówno po procesie dystrybucji, jak i dezynfekcji, ale nie wykazano regularności tych zmian.

Słowa kluczowe: biodegradowalny rozpuszczalny węgiel organiczny, dezynfekcja wód podziemnych, materia organiczna w wodzie, utlenianie chemiczne

Wprowadzenie

W ciągu ostatnich 30 lat w Polsce nastąpiły zmiany w poborze wody do sieci wodociągowych. Udział pobieranych wód powierzchniowych w ogólnej ilości eksploatowanych zasobów zmalał z 67% w 1980 roku do 29,6% w 2012 roku, co stanowi 601,4 hm³, zaś wzrósł pobór wód podziemnych z 33% w 1980 roku do 70,4% w 2012 roku, co stanowi 1429,5 hm³ [1].

W związku z coraz większym udziałem wód podziemnych używanych na cele eksploatacji sieci wodociągowej należało rozważyć problem zmian jakościowych wód podziemnych w Polsce w procesie ich uzdatniania. Jest to niezbędne, gdyż woda z jednej strony jest niezbędna do życia, a z drugiej może być nośnikiem mikroorganizmów chorobotwórczych i substancji toksycznych.

Jednym z głównych problemów związanych z systemami uzdatniania i dystrybucji wody jest występowanie wtórnego jej zanieczyszczenia. Zadaniem zakładów uzdatniania wody jest ujmowanie wody ze źródeł naturalnych i takie jej przygotowanie, aby nie

¹ Katedra Chemii, Technologii Wody i Ścieków, Wydział Infrastruktury i Środowiska, Politechnika Częstochowska, ul. J.H. Dąbrowskiego 69, 42-201 Częstochowa, tel. 34 325 52 11, email: klaudiarakocz@o2.pl
Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole' 16, Zakopane, 5-8.10.2016

zagrozała zdrowiu i życiu konsumentów oraz spełniała wymagania norm prawnych [2]. Obecnie regulowane są dopuszczalne wartości kilkudziesięciu parametrów wody, a to oznacza, że woda jest najlepiej kontrolowanym produktem spożywczym. Prawo normuje jakość wody pod względem chemicznym i mikrobiologicznym. Jakość wody wodociągowej zależy od składu wody w miejscu ujęcia, sposobu jej uzdatniania i magazynowania oraz od stanu sieci, przyłączy i instalacji wodociągowych. Wybór procesu technologicznego uzdatniania wody zależy głównie od jakości wody surowej. Jakość wody u odbiorców jest często inna niż jakość wody wprowadzanej do sieci wodociągowej, ponieważ ulega ona złożonym procesom fizycznym, chemicznym i biologicznym w trakcie jej dystrybucji. Procesy te są przyczyną wtórnego zanieczyszczenia w systemie dystrybucji [3, 4]. Wskaźnikami, które obrazują podatność wody na wtórne zanieczyszczenia, są stężenia przyswajalnych form węgla. Szczególną uwagę zwraca się na zawartości biodegradowalnego rozpuszczonego węgla organicznego (BRWO) oraz asymilowanego węgla organicznego (PWO). Parametry te decydują o tzw. biostabilności wody. Stabilność biologiczną wody [5] charakteryzuje się jako brak skłonności do stymulowania wtórnego rozwoju mikroorganizmów w wodzie wodociągowej. Skutkiem braku biostabilności wody są przede wszystkim powstawanie i rozwój biofilmu, zwiększone zużycie środków dezynfekcyjnych, intensyfikacja korozji elektrochemicznej metali i rozpuszczanie jej produktów, współdecydujące o wtórnym zanieczyszczeniu wody. Woda jest stabilna biologicznie wówczas, gdy nie podtrzymuje wzrostu mikroorganizmów, a więc jest pozbawiona nieorganicznych i organicznych substratów pokarmowych [6, 7].

Badania prowadzone przez Bonalama i in. oraz Chandy i Angelsa wykazały, że największy wpływ na rozwój biofilmu tworzącego się w sieci wodociągowej ma węgiel organiczny [8, 9]. Według autorów źródeł literaturowych, warunkiem biostabilności jest zawartość biodegradowalnego rozpuszczalnego węgla organicznego na poziomie $150\text{--}200\text{ mg C/m}^3$ [9], natomiast według Volka i in. zawartość BRWO nie większa niż $0,15\text{ mg/dm}^3$ w 20°C i $0,30\text{ mg/dm}^3$ w 15°C jest warunkiem biostabilności wody [10].

Według Volka i LeChevalliera, mikroorganizmy mogą wzrastać w wodzie zawierającej śladowe ilości substancji odżywczych [11].

Zakłady uzdatniania wody w celu jej dezynfekcji najczęściej stosują ozon lub/i różnego rodzaju związki chloru. Utleniacze te reagują z substancjami obecnymi w wodzie, powodując głównie rozpad struktur wielkocząsteczkowych na produkty o mniejszych ciężarach cząsteczkowych [6, 12-15]. Wyniki badań wykazały bowiem, że szczególnie chlor wolny szybko reaguje z substancjami organicznymi [11].

Reakcji z utleniaczami najłatwiej ulegają substancje o największych masach cząsteczkowych, przede wszystkim związki aromatyczne, co prowadzi do powstania produktów o niższych masach cząsteczkowych (m.in. kwasów organicznych, tj. kwasów mrówkowego, octowego i szczawiowego), które podczas procesu biodegradacji mogą być niemal całkowicie przyswajane przez bakterie [5, 7, 12, 13, 16, 17].

Celem omawianych badań było określenie wpływu utleniania chemicznego podchlorynem sodu i ozonu na zawartości substancji organicznych w wodzie. Zbadano również wybrane parametry jakości wody. Badania wykazały, że zawartości OWO oraz BRWO na każdym etapie procesu oczyszczania i dystrybucji badanej wody były inne. Przeanalizowano również utlenienie niektórych substancji nieorganicznych w wodzie oraz stabilność biologiczną wody.

Metodyka badań

Próbki wody do badań pobierano rano, około godziny 8 (po okresie nocnej stagnacji, w czasie wysokiego rozbioru wody). Próbki były pobierane i badane zgodnie z zaleceniami **Polskiego Komitetu Normalizacyjnego**. Pobrane próbki wody poddano analizie fizyczno-chemicznej. Oznaczano następujące wskaźniki: mętność, barwę, zapach, pH, amonowy jon, chlorki, żelazo ogólne, ozon resztkowy, chlor wolny oraz ogólny węgiel organiczny i rozpuszczalny węgiel organiczny. OWO i RWO oznaczono na analizatorze ogólnego węgla organicznego TOC analyzer Multi N/C 2100. W celu uzyskania frakcji rozpuszczalnej węgla organicznego próbki wody przefiltrowywano przez membranę o średnicy 25 mm o średnicy oczek 0,45 μm . Frakcje nierozpuszczalnego węgla organicznego (NRWO), biodegradowalnego rozpuszczalnego węgla organicznego (BRWO) i niebiodegradowalnego rozpuszczalnego węgla organicznego (NBRWO) uzyskano metodami obliczeniowymi.

Woda poddana badaniom była wodą podziemną. Woda pobierana z pierwszego ujęcia była wodą ozonowaną, natomiast z drugiego ujęcia wodą traktowaną podchlorynem sodu.

BRWO oznaczono za pomocą metody Joreta, która polega na obserwacji ubytku zawartości RWO w wodzie z florą bakteryjną charakterystyczną dla danej wody. Biodegradowalny węgiel organiczny wyznaczony tym sposobem określa ilość związków organicznych, które mogą potencjalnie służyć jako źródło węgla i energii, wspomagając wzrost i rozwój bakterii w sieci. Pomiar BWO przeprowadzono w ciągu pięciu dni, dlatego też parametr ten dobrze charakteryzuje potencjalne zagrożenie dla biostabilności wody.

Zmiany składu fizyczno-chemicznego wody wodociągowej w systemie dystrybucji określono, porównując wartości wskaźników jakości próbek wody pobranych z zaworów czerpalnych u konsumentów z jakością wody wprowadzanej do sieci oraz z jakością wody surowej.

Wyniki badań i ich dyskusja

Pierwszą badaną wodą była woda pobrana ze źródła i ze studni. Woda ta poddawana była ozonowaniu w stacji uzdatniania wody, a następnie pompowana do sieci dystrybucyjnej.

W tabeli 1 przedstawiono wartości wybranych parametrów fizykochemicznych oraz zawartości poszczególnych frakcji węgla organicznego. Analizy zmian fizykochemicznych wskaźników jakościowych wody pobranej z ujęcia pierwszego wykazały, że parametrem, którego wartość uległa zmianie w procesie uzdatniania jest zapach (z zapachu bardzo słabo roślinnego na zapach specyficzny ozonu w stopniu 3), nastąpił także wzrost wartości zawartości chlorków o 3,87%. Natomiast wartość pH spadła o 0,65%, zawartość OWO o 7,39%. Obniżeniu uległy również wartości RWO i NBRWO - RWO o 17,2% oraz NBRWO o 26,1%, natomiast wartości NRWO oraz BRWO wzrosły odpowiednio: o 45,5% oraz o 325%. Wartości pozostałych wskaźników nie uległy zmianom podczas procesu uzdatniania wody. W wodzie pobranej ze stacji pomp wykazano obecność ozonu resztkowego.

W procesie dystrybucji wody wartości zbadanych wskaźników jakościowych wody nie uległy znacznym zmianom. Wartości mętności i zawartości chlorków wzrosły

odpowiednio: mętności o 13,3%, a chlorków o 4,07%. Wartości zawartości OWO oraz ozonu uległy obniżeniu - zawartość OWO o 8,51%, a ozonu o 76,67%. Zmienił się również zapach (z zapachu specyficznego ozonu w stopniu 3 na zapach bardzo słabo roślinny). Analizując zmiany zawartości poszczególnych frakcji węgla organicznego po procesie dystrybucji wody, można zauważyć, że wartości zawartości OWO, NRWO oraz NBRWO spadły (OWO o 4,12%, NRWO o 68,75%, NBRWO o 20,35%), natomiast wartości RWO i BRWO wzrosły (RWO o 27,7%, BRWO o 347%). Wartości pozostałych wskaźników fizykochemicznych nie zmieniły się.

Tabela 1

Charakterystyka zmian jakości wody po dezynfekcji ozonem

Table 1

Characteristics of changes to water quality after ozone disinfection

	Jednostka	Źródło	Studnia	Woda surowa	Stacja pomp	Konsument
Mętność	[NTU]	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,30	0,34
Barwa	[mg/Pt]	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Zapach	[-]	z1R	z1R	z1R	z3S(O ₃)	z1R
Odczyn pH	[-]	7,7	7,8	7,75	7,7	7,7
Jon amoniowy	[mg/dm ³]	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Chlorki	[mg/dm ³]	29,5	27,3	28,4	29,5	30,7
Żelazo ogólne	[µg/dm ³]	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40
Ozon resztkowy	[mg/dm ³]	-	-	-	0,030	< 0,007
OWO	[mg/dm ³]	2,25	1,78	2,01	1,94	1,86
RWO	[mg/dm ³]	1,94	1,21	1,57	1,30	1,66
NRWO	[mg/dm ³]	0,31	0,57	0,44	0,64	0,20
NBRWO	[mg/dm ³]	1,86	1,20	1,53	1,13	0,90
BRWO	[mg/dm ³]	0,08	0,01	0,04	0,17	0,76

Tabela 2

Charakterystyka zmian jakości wody po dezynfekcji podchlorynem sodu

Table 2

Characteristics of changes to water quality after sodium hypochlorite disinfection

	Jednostka	Studnia	Stacja pomp	Konsument
Mętność	[NTU]	< 0,30	< 0,30	1,5
Barwa	[mg/Pt]	< 5	< 5	< 5
Zapach	[-]	z1R	z3S(Cl ₂)	z1R
Odczyn pH	[-]	7,7	7,7	7,9
Jon amoniowy	[mg/dm ³]	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Chlorki	[mg/dm ³]	25,0	23,3	21,3
Żelazo ogólne	[µg/dm ³]	< 40	< 40	106
Chlor wolny	[mg/dm ³]	-	0,13	< 0,02
OWO	[mg/dm ³]	2,78	2,17	2,08
RWO	[mg/dm ³]	1,94	2,08	1,56
NRWO	[mg/dm ³]	0,84	0,09	0,52
NBRWO	[mg/dm ³]	0,89	2,02	0,54
BRWO	[mg/dm ³]	1,05	0,06	1,02

Drugą badaną wodą była woda poddana chlorowaniu w stacji uzdatniania, a następnie pompowana do sieci wodociągowej.

W tabeli 2 zestawiono wartości wybranych parametrów fizykochemicznych oraz zawartości poszczególnych frakcji węgla organicznego. Analizy zmian fizykochemicznych wskaźników jakościowych wody pobranej z ujęcia drugiego wykazały, że parametrem, którego wartości uległy największej zmianie w procesie uzdatniania, jest zapach (z zapachu bardzo słabo roślinnego na zapach specyficzny chloru w stopniu 3). Wartości zawartości chlorków, OWO uległy obniżeniu - wartość zawartości chlorków o 6,8%, a OWO o 21,94%. Analizując zmiany zawartości poszczególnych frakcji węgla organicznego po procesie dezynfekcji wody, można zauważyć, że wartości zawartości RWO i NBRWO wzrosły odpowiednio o 7,22 i 126,97%, natomiast zawartości frakcji NRWO i BRWO obniżyły się o 89,29 i 94,29%.

Wartości pozostałych wskaźników nie uległy zmianom podczas procesu uzdatniania wody.

Analizy zmian fizykochemicznych wskaźników jakościowych wody pobranej z ujęcia drugiego wykazały, że parametrami, których wartość uległa największej zmianie w procesie dystrybucji, są mętność i zawartość żelaza ogólnego. Wartość mętności wzrosła o 400%, natomiast zawartość żelaza ogólnego wzrosła z < 40 do $106 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, czyli o 165%. Wzrosła wartość pH o 2,6%, natomiast wartości zawartości chlorków i OWO uległy obniżeniu, zawartości chlorków o 8,58%, zawartość OWO o 4,15%, zawartość chloru wolnego spadła poniżej granicy oznaczalności. Wartości pozostałych wskaźników nie uległy zmianie. Analizując zmiany zawartości poszczególnych frakcji węgla organicznego po procesie dystrybucji wody, można zauważyć, że wartości zawartości RWO i NBRWO spadły o 25 i 73,27%, natomiast NRWO i BRWO wzrosły o 477,78 i 1600%.

Porównując wody surowe oraz ze stacji pomp, można zauważyć następujące podobieństwa:

- ✓ Dla wody ozonowanej na linii woda surowa - stacja pomp nastąpił wzrost zawartości chlorków, NRWO, BRWO oraz spadek pH, OWO, RWO, NBRWO.
- ✓ Dla wody chlorowanej na linii woda surowa - stacja pomp nastąpił spadek zawartości chlorków, OWO, NRWO i BRWO, oraz wzrost RWO i NBRWO.

Porównując wyniki badań dla próbek wody pobranej ze stacji pomp oraz od konsumenta, można zauważyć następujące podobieństwa:

- ✓ Dla wody ozonowanej na linii stacja pomp - konsument zaobserwowano spadek zawartości OWO, NRWO, NBRWO oraz ozonu. Nastąpił wzrost mętności, zawartości chlorków, RWO, i BRWO.
- ✓ Dla wody chlorowanej na linii stacja pomp - konsument zaobserwowano spadek zawartości chlorków, OWO, RWO, NBRWO oraz chloru wolnego. Nastąpił wzrost wartości mętności, pH, żelaza ogólnego i NRWO i BRWO.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, iż wzrost wartości parametrów jakościowych wód ozonowanych, tj. mętności, zawartości chlorków na linii stacja pomp - konsument, może być spowodowany zachodzącymi reakcjami chemicznymi pomiędzy substancjami występującymi w wodzie, podczas jej dystrybucji oraz tzw. wtórnym zanieczyszczeniem wody, co potwierdzają również badania [14].

W procesie dystrybucji wody chlorowanej nastąpił wzrost zawartości żelaza ogólnego, co sprzyja podwyższeniu mętności wody. Taką samą zależność opisują Świdarska-Bróż i Wolska [15], uzależniając wzrost mętności wody od dużej zawartości jonów żelaza.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że dla badanych próbek wody na linii woda surowa - stacja pomp w przypadku wody ozonowanej zawartość chlorków wzrosła, natomiast dla wody chlorowanej wartość ta spadła. Podobny problem opisują autorzy prac [4, 6, 8, 13, 18-20], podając za przyczynę fakt, iż ozonowanie wody prowadzi do większej ilości tzw. ubocznych produktów dezynfekcji wody, w tym chlorków. Największa ilość UPD tworzy się wskutek ozonowania, mniejsza zaś w przypadku stosowania ditlenku chloru, a najmniejsza na skutek chlorowania Cl_2 [5, 13]. Charakteryzując badaną wodę chlorowaną, można stwierdzić, iż spadek zawartości chlorków na linii woda surowa - stacja pomp może świadczyć o zachodzących reakcjach chemicznych pomiędzy podchlorynem sodu, stosowanym jako dezynfektant, a substancjami występującymi w wodzie surowej. Spadek zawartości chloru wolnego na linii stacja pomp - konsument spowodowany jest zużyciem chloru w reakcjach utleniania i chlorowania zachodzących w czasie dystrybucji wody w rurociągach oraz w reakcjach na powierzchni rurociągów [21].

We wszystkich badanych wodach zawartość OWO spadła, zarówno po procesie dezynfekcji, jak i dystrybucji. Zmniejszenie zawartości OWO podczas procesu utleniania chlorem w wodzie potwierdzają również dane przedstawione w [22]. Dane potwierdzające zmniejszenie ilości OWO podczas procesów uzdatniania potwierdzają również wyniki badań [23].

Świdarska-Bróz [14] podaje, że w przypadku wód podziemnych zawartość OWO spada w wodzie po chlorowaniu do 12,1% w stosunku do wody surowej. Spadek zawartości OWO w systemie dystrybucji wody może być spowodowany wytrącaniem się i osiadaniami organicznych substancji chemicznych w porach ścian wewnętrznych przewodów sieci wodociągowej, o czym piszą autorzy [5, 14]. Świetlik i in. [13] podkreślają, że utleniacze stosowane w oczyszczaniu wody są bardzo reaktywne i w związku z tym silnie przekształcają substancje organiczne zawarte w wodzie. Kolejną przyczyną spadku zawartości OWO jest wykorzystanie tych substancji jako źródła węgla i energii dla rozwoju i wzrostu mikroorganizmów w wodzie, co potwierdzają prace [9, 10, 13, 21, 24-26].

Wzrost zawartości frakcji RWO po procesie chlorowania może być spowodowany przekształceniem form nierozpuszczalnych w rozpuszczalne, co wynika z utleniania trudno rozpuszczalnych związków węglowych do prostszych form, które mogą być łatwo przyswojone przez mikroorganizmy. Wzrost udziału RWO w OWO po procesie dezynfekcji może być spowodowany transformacją nierozpuszczalnych związków do form rozpuszczalnych, co potwierdza literatura [7].

Zawartość BRWO wzrosła po procesie ozonowania. Zależność tę potwierdzili też autorzy [10, 13, 24-26], wykazując, że w wyniku zarówno ozonowania, jak i stosowania chloru i ditlenku chloru następuje wzrost biodegradowalności rozpuszczonych substancji organicznych. Jednakże w otrzymanych wynikach po procesie chlorowania zawartość BRWO spadła. Podobne badania przeprowadzał Kowal [2]. Zauważył on, że wzrost frakcji biodegradowalnej następował po procesie dezynfekcji, co nie pokrywa się z otrzymanymi wynikami. Jednakże Raczyk-Stanisławiak i in. podają [5], że biodegradowalność po procesie chlorowania może być niższa niż w wodzie surowej, co spowodowane jest tworzeniem się związków chloru o niskiej biodegradalności. Otrzymane powyżej wyniki potwierdzają, iż utlenienie środkami chemicznymi najbardziej wpływa na zawartość

substancji organicznych obecnych w wodzie w porównaniu z zawartością substancji organicznych obecnych w wodzie surowej [5, 6].

Wzrost ilości BRWO w procesach oczyszczania został potwierdzony w literaturze [19, 27]. Znacząca zmiana zawartość BRWO podczas procesu dystrybucji wody - wzrost o 347% (z 0.17 do 0.76 mg/dm³) w przypadku wody ozonowanej i o 1600% (z 0,06 do 1,02 mg/dm³) w przypadku wody chlorowanej może świadczyć o dużej zmienności warunków panujących w sieci wodociągowej oraz o złożoności procesów i zjawisk zachodzących w ciągu systemu wodociągowego. Autorzy [5, 7] podają, że system dystrybucji wody to złożonym reaktor, w którym mogą zachodzić procesy fizyczne, chemiczne i biologiczne, zmieniające skład fizyczno-chemiczny i bakteriologiczny wody. Przyczyn zmian składu i jakości wody jest wiele. Największy wpływ na stan wody mają: zmiany stabilności chemicznej oraz biologicznej wody wprowadzanej do sieci wodociągowej, ilość podawanego dezynfektanta do wody oraz jego zawartość w całym systemie dystrybucji, zmienne warunki hydrauliczne panujące podczas transportu wody do odbiorców oraz właściwości materiałów instalacyjnych, stan techniczny i sanitarny wszystkich elementów systemu dystrybucji. Z uwagi na złożoność tego problemu trudno jest jednoznacznie określić rolę poszczególnych czynników oddziałujących na wodę podczas procesu jej uzdatniania i dystrybucji [5, 7].

Wnioski

- Naturalne substancje organiczne, bez względu na ich ilość oraz pochodzenie, charakteryzują się pewnym potencjałem tworzenia BRWO.
- Porównanie wyników badań próbek wody surowej, ozonowanej i chlorowanej wykazało, że pomimo podobnej zawartości OWO udział poszczególnych frakcji węgla organicznego jest inny.
- Proces uzdatniania wody poprzez utlenianie środkami dezynfekującymi materii organicznej występującej w wodzie prowadzi do powstania produktów organicznych, które są przyswajane przez bakterie.
- Stosowane dezynfektanty zużywane były głównie na transformacje i utlenianie substancji organicznych.
- Zmiany zawartości poszczególnych frakcji węgla organicznego w badanej wodzie w znacznym stopniu zależą od sposobu dezynfekcji oraz od właściwości wody surowej.
- Prognozowanie i monitoring zawartości poszczególnych frakcji węgla w wodzie wodociągowej podczas procesu dezynfekcji wody są ważne i pozwalają zminimalizować niekorzystny wpływ obecności substancji organicznych w wodzie wodociągowej na jej jakość oraz stan sieci wodociągowej.

Uzyskanie biostabilności wody w procesach uzdatniania wody jest warunkiem niezbędnym do utrzymania stabilności składu wody w sieci wodociągowej i u konsumenta. Nie są normowane prawnie dopuszczalne stężenia poszczególnych frakcji węgla. Zmiany BRWO w sieci wodociągowej powinny być analizowane rutynowo, ponieważ wskazują prawdopodobieństwo wzrostu bakterii w sieci. Zaleca się również szczegółową analizę sieci wodociągowej, ewentualnie uzupełnienie o model jej eksploatacji.

Literatura

- [1] Ochrona Środowiska. Informacje i opracowania GUS. Warszawa: Zakład Wydawnictw Statystycznych; 2012.
- [2] Kowal A. Przyczyny i zapobieganie zmianom jakości wody w systemach wodociągowych. *Ochr Środ.* 2003;25(4):3-6. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/2003/Kowal_4-2003.pdf.
- [3] Pawlaczyk-Szpilowa M. Jakość zdrowotna wody przeznaczonej do picia. *Ochr Środ.* 1993;3(50):11-15. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/1993/Pawlaczyk-Szpilowa_3-1993.pdf.
- [4] Wąsowski J, Grabińska-Łoniewska A. Wtórne zanieczyszczenia wody warszawskiej sieci wodociągowej. *Ochr Środ.* 1995;3(58):59-62. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/1995/Wasowski_3-1995.pdf.
- [5] Raczyk-Stanisławiak U, Świetlik J, Nawrocki J. Badanie wpływu chloru, dwutlenku chloru i ozonu na stabilność biologiczną wody. *Ochr Środ.* 2005;27(3):33-39. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/2005/Raczyk_3-2005.pdf.
- [6] Raczyk-Stanisławiak U, Ciemniecka E, Świetlik J, Nawrocki J. Usuwanie prekursorów biodegradowalnych substancji organicznych w procesie biofiltracji. *Ochr Środ.* 2007;29(3):59-64. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/2007/Raczyk-Stanisławiak_3-2007.pdf.
- [7] Świdarska-Bróz M, Wolska M. Zmiany zawartości substancji organicznych w wodzie w procesie utleniania chemicznego. *Inż Ochr Środ.* 2011;14(2):111-120. http://www.is.pcz.czest.pl/inzynieria/pdf/2011/zeszyt2/2011_2_02-%C5%9Awidarska.pdf.
- [8] Bonalam M, Mathieu L, Fass S, Cavard J, Gatel D. Relationship between coliform culturability and organic matter in low nutritive waters. *Water Res.* 2002;36:2618-2626. DOI: 10.1016/S0043-1354(01)00460-2.
- [9] Chandy J, Angles M. Determination of nutrients limiting biofilm formation and the subsequent impact on disinfectant decay. *Water Res.* 2001;35:2677-2682. DOI: 10.1016/S0043-1354(00)00572-8.
- [10] Volk C, Renner C, Roche P, Paillard H, Joret JC. Effects of ozone on the production of Biodegradable Organic Carbon (BDOC) during water treatment. *Ozone-Sci Eng.* 1994;15:389-404. DOI: 10.1080/01919512.1993.10555731.
- [11] Volk ChJ, LeChevallier M. Impacts of the reducing of nutrient levels on bacterial water quality in distribution system. *Appl Environ Microb.* 1999;11:4957-4966.
- [12] Świetlik J, Raczyk-Stanisławiak U, Nawrocki J. The influence of disinfection on aquatic biodegradable organic carbon formation. *Water Res.* 2009;43(2):463-473. DOI: 10.1016/j.watres.2008.10.021.
- [13] Świetlik J, Dąbrowska A, Raczyk-Stanisławiak U, Nawrocki J. Reactivity of natural organic matter fraction with chlorine dioxide and ozone. *Water Res.* 2004;38(7):547-558. DOI: 10.1016/j.watres.2003.10.034.
- [14] Świdarska-Bróz M. Wybrane problemy w oczyszczaniu wody do picia i na potrzeby gospodarce. *Ochr Środ.* 1999;3(74):7-12. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/1999/Swidarska_3-1999.pdf.
- [15] Świdarska-Bróz M, Wolska M. Przyczyny zużycia chloru wolnego w systemie dystrybucji wody. *Ochr Środ.* 2007;29(3):19-24. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/2007/Swidarska-Broz_3-2007.pdf.
- [16] Volk ChJ, LeChevallier MW. Effects of conventional treatment on AOC and BDOC levels. *J AWWA.* 2002;36(3):112-123. <http://www.awwa.org/publications/journal-awwa/abstract/articleid/14604.aspx>.
- [17] Charnock C, Kjonno O. Assimilable organic carbon and biodegradable dissolved organic carbon in Norwegian raw and drinking water. *Water Res.* 2000;34(10):2629-2642. DOI: 10.1016/S0043-1354(00)00007-5.
- [18] Huang W-J, Fang G-Ch, Wang Ch-Ch. The determination and fate of disinfection by-products from ozonation of polluted raw water. *Sci Total Environ.* 2005;345:261-272. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.10.019.
- [19] Escobar CI, Randall A, Taylor A. Bacterial growth in distribution systems: Effect of assimilable organic carbon and biodegradable dissolved organic carbon. *Environ Sci Technol.* 2001;35(17):3442-3447. DOI: 10.1021/es0106669.
- [20] Jyoti KK, Pandit AB. Ozone and cavitation for water disinfection. *Biochem Eng J.* 2004;18:9-19. DOI: 10.1016/S1369-703X(03)00116-5.
- [21] Grabowski Z, Rzerzycha B, Grabowska H, Wybór M, Cyran J, Solnica J. Wstępne utlenianie domieszek wody dwutlenkiem chloru i usuwanie produktów ubocznych utleniania na przykładzie wodociągu Sulejów - Łódź. *Ochr Środ.* 2001;3(82):45-48. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/2001/Grabowski_3-2001.pdf.
- [22] Świdarska-Bróz M, Wolska M. Ocena wtórnego zanieczyszczenia niestabilnej chemicznie wody w systemie dystrybucji. *Ochr Środ.* 2005;27(4):35-38. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/2005/Swidarska_4-2005.pdf.

- [23] Świdarska-Bróz M. Czynniki współdecydujące o potencjale powstawania i rozwoju biofilmu w systemach dystrybucji wody. *Ochr Środ.* 2010;2(3):7-13. http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/2010/Swidarska_3-2010.pdf.
- [24] Nawrocki J, Świetlik J, Rajczyk-Stanisławiak U, Biłozor S, Ilecki W. Influence of ozonation conditions on aldehyde and carboxylic acid formation. *Ozone-Sci Eng.* 2003;25:53-62. DOI: 10.1080/713610650.
- [25] Raczyk-Stanisławiak U, Świetlik J, Dąbrowska A, Nawrocki J. Biodegradability of organic by-products after natural organic matter oxidation with ClO_2 - case study. *Water Res.* 2004;38(4):1044-1054. DOI: 10.1016/j.watres.2003.10.032.
- [26] Świetlik J, Raczyk-Stanisławiak U, Biłozor S, Ilecki W, Nawrocki J. Adsorption of natural organic matter oxidized with ClO_2 on granular activated carbon. *Water Res.* 2002;36(9):2328-2336. DOI: 10.1016/S0043-1354(01)00451-1.
- [27] Yavich A, Lee K, Chen K, Pape L, Masten S. Evaluation of biodegradability of NOM after ozonation. *Water Res.* 2004;38:2839-2846. DOI: 10.1016/j.watres.2004.03.040.

EFFECT OF CHEMICAL OXIDATION ON CHANGES THE CONTENT OF ORGANIC SUBSTANCES IN WATER

Department of Chemistry, Water and Sewage Technology, Faculty of Infrastructure and Environment
Czestochowa University of Technology

Abstract: The main goal of water treatment plants is prepare water in terms of safety and quality for consumers. The quality of water from water pipes depends on: its initial composition, the way of treatment, storage and the condition of water system network. Organic matter content in water plays a significant role in water quality and may be the source of carbon and energy for the growth and development of bacteria, which causes the emergence and growth of biofouling in a water distribution system. Disinfectants applied in order to destroy bacteria or prevent their development affect both microorganisms as well as chemical substances present in water, which increases their biodegradability. This leads to biofouling development in a water distribution system and degrades water quality and condition of the water distribution system. In this paper, the value changes of organic carbon content in water have been presented during both ozone and sodium hypochlorite disinfection. Water samples were collected from underground water intakes. The results showed that disinfection processes significantly affected water quality, especially in terms of organic matter content. The extent of changes to the water quality parameters was apparently different in the case of both ozone and sodium hypochlorite disinfection processes. All examined water samples showed a decrease in total organic carbon (TOC) content in water in the distribution process as well as after disinfection process. Changes of other parameters like dissolved organic carbon (DOC), non-dissolved organic carbon (NDOC), biodegradable dissolved organic carbon (BDOC) and non-biodegradable dissolved organic carbon (NBDOC) were different after disinfection process as well as during distribution process.

Keywords: biodegradable dissolved organic carbon, disinfection of underground water, organic matter in water, chemical oxidation