

Bożenna Toczyłowska, Andrzej Rutkiewicz

Zastosowanie licznika cząstek do oceny wtórnego zanieczyszczenia wody produktami korozji przewodów wodociągowych

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 4 września 2000 r., dotyczące warunków, jakim powinna odpowiadać woda przeznaczona do picia i na potrzeby gospodarcze, praktycznie dostosowuje przepisy krajowe do zaleceń dyrektywy Unii Europejskiej nr 98/83/EC [1–3]. Dla przedsiębiorstw wodociągowych zasadnicze znaczenie ma ustalenie, że określone w rozporządzeniu [1] wymagania powinna spełniać woda w punktach poboru u odbiorców, a nie tylko woda uzdatniona, tj. tłoczona z zakładu wodociągowego do systemu dystrybucji. Jakość wody u odbiorców zależy zarówno od składu wody uzdatnionej, wprowadzanej do systemu dystrybucji, jak również od procesów zachodzących w sieci wodociągowej i instalacjach wewnętrznych, które często przyczyniają się do pogorszenia jakości wody. Dostawca wody zwolniony jest od odpowiedzialności za pogorszenie jej jakości u odbiorcy tylko wtedy, gdy spowodowane jest ono niewłaściwym stanem technicznym lub warunkami eksploatacji instalacji.

Zapobieganie pogarszaniu się jakości wody w systemie dystrybucji jest zadaniem bardzo trudnym, gdyż procesy odpowiedzialne za te zjawiska są złożone i zależą od wielu czynników [4–9]. Punktem wyjścia wszelkich działań powinno być zatem określenie źródeł i przyczyn wtórnego zanieczyszczenia wody wodociągowej. Mogą być one związane ze zjawiskami zachodzącymi w samej sieci lub mogą być zewnętrzne, tj. nie związane bezpośrednio z systemem dystrybucji wody. W wypadku sieci wodociągowych do przyczyn zewnętrznych należy zaliczyć niedostateczne uzdatnienie wody, awarie w stacjach uzdatniania, czy też wprowadzanie zmian w technologii uzdatniania wody.

Wydaje się, że w przedsiębiorstwach wodociągowych panuje już powszechna świadomość, że wyeliminowanie zjawisk powodujących pogarszanie się jakości wody w systemie dystrybucji jest jednym z najtrudniejszych problemów technicznych, jakie w ciągu najbliższych lat będą musiały być rozwiązane, aby dostosować jakość wody wodociągowej dostarczanej odbiorcom do wymagań [1]. Zadanie to będzie tym trudniejsze, że od kilku lat obserwuje się nasilenie zjawisk prowadzących do wtórnego zanieczyszczenia wody wodociągowej. Panuje pogląd, że przyczyną tego zjawiska jest przede wszystkim niewłaściwy stan techniczny sieci oraz znaczne zmniejszenie zapotrzebowania na wodę (nawet o 40%). Spadek zużycia wody spowodował, że zmniejszyła się prędkość przepływu wody (nawet poniżej 0,1 m/s) oraz wydłużył się czas przebywania wody w przewodach, a są to czynniki mające decydujący wpływ na jakość wody w systemie dystrybucji.

Zapewnienie wymaganej jakości wody wodociągowej

Pierwszym krokiem w kierunku zapewnienia odbiorcom wymaganej jakości wody wodociągowej powinno być przeprowadzenie kompleksowej analizy problemu, uwzględniającej wszystkie źródła i przyczyny pogorszenia jakości wody. Analiza taka powinna zawierać ocenę jakości wody surowej, procesów uzdatniania, warunków hydraulicznych i sposobu eksploatacji sieci pod kątem wpływu na procesy wtórnego zanieczyszczenia wody wodociągowej.

Podstawą działań mających na celu zapewnienie odpowiedniej jakości wody wodociągowej powinna być właściwie prowadzona kontrola jakości wody w systemie dystrybucji. Brak jest sprawdzonych metod kontroli, na podstawie których można by było uzyskać informacje nie tylko o zachodzących zmianach jakości wody, ale także wnioskować o przyczynach tych zmian. Podstawowym wskaźnikiem stosowanym do monitorowania zmian jakości wody wodociągowej jest mętność. Jest to wskaźnik, który określa przede wszystkim zbiór cząstek mniejszych od 1 μm , natomiast nie odzwierciedla dostatecznie miarodajnie zawartości w wodzie cząstek o większych rozmiarach.

W ostatnich latach bardzo wzrosło zainteresowanie zarówno oceną ilościową jak i morfologią cząstek stałych obecnych w wodzie wodociągowej. Szczególną uwagę zwraca się zwłaszcza na cząstki większe od 5 μm , z uwagi na konieczność kontrolowania skażenia wody pasożytami *Cryptosporidium parvum* oraz *Giardia lamblia*. Badania mikrobiologiczne na obecność tych pasożytów są bardzo pracochłonne, uciążliwe i długotrwałe. Poszukiwane są więc metody pośrednie, na podstawie których będzie można wnosić o prawdopodobieństwie występowania pasożytów w wodzie tłoczonoj do sieci wodociągowej. Do tego celu szczególnie przydatny może być pomiar liczebności pojedynczych cząstek stałych za pomocą licznika cząstek. Wynikiem takiego pomiaru jest określenie liczby cząstek stałych obecnych w wodzie oraz ich rozmiarów, a więc stwierdzenie nie tylko jak duży jest zbiór cząstek, ale także jaka jest jego morfologia.

W badaniach nad skutecznością uzdatniania wody pod względem usuwania pasożytów *Cryptosporidium parvum* oraz *Giardia lamblia* stwierdzono, że zachodzi istotna korelacja między mętnością wody i zawartością cząstek stałych oraz liczebnością tych pasożytów w wodzie. Ponadto stwierdzono, że pomiar liczby cząstek w wodzie uzdatnionej większych od 5 μm jest lepszym wskaźnikiem do oceny jakości wody i skuteczności procesu filtracji niż mętność, z uwagi na bardzo dużą wrażliwość pomiaru na wszelkie zakłócenia, jakie mogą mieć miejsce w całym układzie uzdatniania wody.

Ustalono, że woda jest dostatecznie pozbawiona cząstek stałych, aby mogła być uważana za wolną od pasożytów *Cryptosporidium parvum* i *Giardia lamblia* tylko wówczas, gdy liczba cząstek większych od 5 μm nie jest większa niż 50÷100 w 1 cm^3 wody [10]. W doniesieniach dotyczących działań naprawczych po epidemii kryptosporidiozy w Milwaukee w 1993 roku podano, że zalecono do kontroli skuteczności procesu filtracji pomiar liczebności cząstek stałych większych od 5 μm , ustalając jako kryterium odpowiedniej jakości wody wprowadzanej do sieci liczbę cząstek 5 μm nie większą niż 50÷100 w 1 cm^3 [11]. W podobnych badaniach ustalono, że wodę można uznać na wolną od pasożytów wówczas, gdy jej mętność nie jest większa od 0,1 NTU, a liczba cząstek większych od 2 μm nie jest większa od 250÷280 w 1 cm^3 [12]. Do tej pory jeszcze nigdzie na świecie nie wprowadzono formalnych wymagań określających dopuszczalną zawartość w wodzie wodociągowej cząstek stałych większych od 2 μm , choć takie próby są podejmowane [13].

Wtórne zanieczyszczenie wody produktami korozji

Korozja wewnętrzna rur stalowych i żeliwnych w sieciach wodociągowych jest procesem elektrochemicznym, zależnym od składu wody. Zawartość składników przyspieszających i inhibujących procesy korozyjne decyduje o agresywności korozyjnej wody, przy czym skład wody ma wpływ zarówno na rodzaj korozji (wzrówna czy równomierna), jej szybkość oraz charakterystykę powstających produktów korozji. Właśnie ilość oraz rodzaj i struktura powstających produktów korozji są podstawowymi czynnikami, które decydują o wpływie procesów korozyjnych na wtórne zanieczyszczenie wody w sieciach wodociągowych. W zależności od składu wody powstają produkty korozji w różnym stopniu chroniące powierzchnię metalu.

Z osadów o słabych właściwościach ochronnych do przepływającej wody przenikają znaczne ilości jonów żelaza (II), które po utlenieniu i wytrąceniu w postaci amorficznego i drobnoziarnistego wodorotlenku żelaza (III) nadają wodzie typowe rude zabarwienie.

Powstawaniu niestabilnych produktów korozji sprzyja przede wszystkim niska zasadowość wody oraz zawartość jonów chlorkowych i siarczanowych. Intensywna korozja powodująca uwalnianie do wody znacznych ilości związków żelaza może mieć miejsce po włączeniu do ruchu nowych przewodów bez powłok ochronnych, jak również w starych systemach po zastosowaniu czyszczenia hydromechanicznego przewodów i zbyt dokładnym usunięciu z powierzchni wewnętrznych nagromadzonych osadów, które do momentu czyszczenia stanowiły warstwę ochronną. W takim systemie problemy z podwyższoną barwą wody mogą trwać przez wiele miesięcy, aż do momentu ponownego wytworzenia się warstwy ochronnej [14]. Zanieczyszczenie wody jest tym większe, im mniejsza jest prędkość przepływu wody i dłuższy czas przetrzymywania wody w sieci.

Produkty korozji tworzące stabilne warstwy ochronne, najczęściej z uwodnionego tlenku żelaza (III) ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), powstają przede wszystkim w przewodach, w których woda transportowana jest z dużą prędkością i nie występują gwałtowne zmiany warunków hydraulicznych. Pogorszenie jakości wody występuje tylko wtedy, gdy produkty korozji zostaną w sposób mechaniczny oderwane z powierzchni rur, np. w wyniku zmiany warunków hydraulicznych lub w momencie

uruchomienia przepływu wody po przerwie w jej dostawie. Stabilne, twarde i szczelnie związane z podłożem warstwy osadów występują nie tylko w systemach zasilanych wodą niekorozyjną, ale również w sieciach, w których woda wodociągowa wykazuje pewną agresywność korozyjną, lecz warunki hydrauliczne panujące w nich są korzystne.

Zanieczyszczenie wody produktami korozji zawsze powoduje zmianę barwy i mętności oraz wzrost zawartości związków żelaza. Oznaczenie tych wskaźników pozwala na określenie wyłącznie skutków, ale nie przyczyn tych zmian. Można natomiast oczekiwać, że określenie dodatkowo wtórnego zanieczyszczenia wody produktami korozji przez pomiar liczby cząstek stałych i ich rozmiarów, powinno stanowić cenną informację umożliwiającą określenie zarówno stopnia zanieczyszczenia wody, jak i charakteru procesów powodujących pogorszenie jej jakości.

Zakres badań

W niniejszej pracy określono przydatność metody liczenia pojedynczych cząstek stałych (metoda SPC – *single particle counting*) do oceny jakości wody wodociągowej, skuteczności procesów jej uzdatniania oraz do monitorowania procesu wtórnego zanieczyszczenia wody w systemach dystrybucji, zwłaszcza pod kątem zawartości produktów korozji. Ponadto określono korelację (zastępowalność) pomiędzy wskaźnikiem określającym liczbę i rozmiar cząstek obecnych w wodzie i innymi wskaźnikami stosowanymi do oceny jakości wody oraz jej właściwości, w tym do oceny stopnia jej korozyjności [15]. W tym celu przeprowadzono badania w skali laboratoryjnej, w których zastosowano licznik cząstek do oceny stopnia wtórnego zanieczyszczania wody spowodowanego korozją równomierną powierzchni płytek stalowych, pozbawionych wstępnie warstwy ochronnej, oraz do oceny procesu spowodowanego uwalnianiem się produktów korozji z warstwy osadów korozyjnych pokrywających powierzchnię wewnętrzną skorodowanego przewodu stalowego.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono w warunkach przepływowych w instalacji doświadczalnej stanowiącej obieg zamknięty, zbudowanej z rur szklanych o średnicy 50 mm, z wmontowanym w obieg szklanym zbiornikiem. W zbiorniku umieszczano elementy, z powierzchni których uwalniały się do wody obiegowej produkty korozji. Instalację wyposażono w pompę obiegową, zapewniającą stały przepływ wody, podgrzewacz oraz urządzenia kontrolno-pomiarowe do automatycznego sterowania pracą całego układu. Pojemność wodna układu wynosiła około 20 dm^3 . Przeprowadzono dwa cykle badań.

W pierwszym cyklu badano proces zanieczyszczania wody związkami żelaza, przechodzącymi do wody obiegowej w wyniku korozji powierzchni stalowych, pozbawionych warstw ochronnych. W badaniach zastosowano płytki stalowe przeznaczone do określenia korozyjności wody metodą gravimetryczną. W pierwszej serii tego cyklu instalację badawczą, w której umieszczono 8 oczyszczonych wstępnie płytek ze stali St 3S o wymiarach 30×60×1,5 mm, napełniono wodą zmiękczoną, korozyjną w stosunku do stali zwykłej, charakteryzującą się wartością współczynnika Larsona $S_1=1,5$ i indeksem Langeliera $I=-1,35$. W instalacji badawczej utrzymywano

przepływ wody o temperaturze 75 °C z prędkością 0,1 m/s przez 12 godzin w ciągu doby, a przez następne 12 godzin instalacja pozostawała w spoczynku. W celach porównawczych przeprowadzono drugą serię badań z takimi samymi płytkami stalowymi w identycznych warunkach, lecz instalację napełniono wodą z dodatkiem inhibitora fosforanowo-molibdenianowego o symbolu MBF w ilości 1,3 g/m³ [16]. Każda seria badań trwała po 528 godzin. Z instalacji pobrano próbki wody do analiz w odstępach co 1÷3 doby i w miarę potrzeby uzupełniano stężenie inhibitora do założonego poziomu.

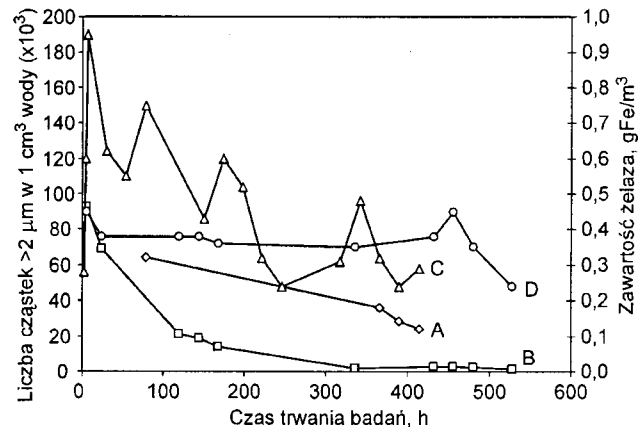
W drugim cyklu badano proces wtórnego zanieczyszczenia wody produktami korozji wymywanymi z powierzchni wewnętrznej skorodowanego przewodu stalowego oraz wpływ obróbki wody wodociągowej polifosforanami na uwalnianie osadów do przepływającej wody. W tym celu w obieg wody w instalacji badawczej wmontowano wycinek przewodu stalowego o średnicy 32 mm i długości 50 cm, którego powierzchnia wewnętrzna pokryta była warstwą produktów korozji w postaci narośli o wysokości do 8 mm. Wycinek pochodził z instalacji wody zimnej zasilanej z Wodociągu Centralnego w Warszawie. Przeprowadzono cztery serie badań. W I serii instalację badawczą napełniono wodą wodociągową zasilającą przewód, z którego pobrano wycinek. Utrzymywano stały przepływ wody o temperaturze 55 °C z prędkością 0,36 m/s. Dwa razy na dobę pobrano próbki wody do badań w celu określenia wartości wskaźników procesu wtórnego zanieczyszczenia wody. Po zakończeniu pierwszej serii instalację opróżniono, wypłukano i napełniono świeżą wodą, do której dodano inhibitor fosforanowy Clarofos 124 [17] w ilości 6,0 gP₂O₅/m³. Dwie kolejne serie (II i III) badań przeprowadzono w takich samych warunkach jak poprzednio, przy czym w II serii utrzymywano stężenie inhibitora na poziomie 5,0 gP₂O₅/m³, a w III serii – 1,5 gP₂O₅/m³. Stężenie inhibitora uzupełniano raz na dobę. Próbki wody do analiz pobrano dwa razy w ciągu doby, tj. bezpośrednio przed korektą stężenia inhibitora oraz cztery godziny po dodaniu inhibitora. Po zakończeniu dwóch serii badań z inhibitorem fosforanowym przeprowadzono czwartą serię, w której kontynuowano przepływ wody wodociągowej bez dodatku inhibitora. Badania w kolejnych czterech seriach przeprowadzono w takich samych warunkach, po 144 godziny każda.

Wtórne zanieczyszczenie wody produktami korozji we wszystkich cyklach pomiarowych oceniono na podstawie zawartości związków żelaza oraz na podstawie zawartości cząstek stałych oznaczonych za pomocą licznika cząstek typu PAMAS-SBSS-C-1-6 z sensorem HCB-LB-25/25-CS, przeznaczonego do pomiaru cząstek w szesnastu kanałach pomiarowych w zakresie rozmiarów od 1 µm do 25 µm. Wiarygodność pomiarów metodą SPC została potwierdzona w badaniach międzylaboratoryjnych [15]. Wyniki pomiarów przedstawiono jako liczbę cząstek o rozmiarach >2 µm, >5 µm, >10 µm i >15 µm w 1 cm³ wody. Obecności cząstek większych od 20 µm licznik w przeprowadzonych próbkach nie zarejestrował.

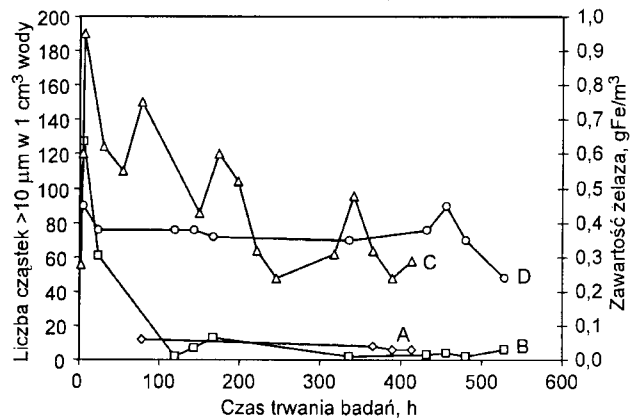
W pierwszym cyklu badań, w którym oceniono proces zanieczyszczenia wody produktami korozji w wyniku korodowania płytek stalowych, szybkość korozji stali określono dodatkowo metodą grawimetryczną, na podstawie strat mas płytek zamontowanych w instalacji doświadczalnej (w g/m²h). We wszystkich badaniach przeprowadzonych z dodatkiem inhibitorów korozji określono stężenie inhibitorów w wodzie i uzupełniono do wartości założonych. Oznaczenia zawartości związków żelaza, polifosforanów i molibdenianów wykonano przy użyciu spektrofotometru typu Hach 2000.

Dyskusja wyników

Wyniki uzyskane w pierwszym cyklu badań, obrazujące przebieg procesu zanieczyszczenia wody w wyniku korozji elementów w stalowych za pomocą zawartości związków żelaza i zawartości cząstek stałych o rozmiarach >2 µm i >10 µm w 1 cm³ wody, przedstawiono na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Porównanie stopnia zanieczyszczenia wody produktami korozji (A – zawartość cząstek >2 µm w próbkach bez inhibitora, B – zawartość cząstek >2 µm w próbkach z inhibitorem MBF, C – zawartość żelaza w próbkach bez inhibitora, D – zawartość żelaza w próbkach z inhibitorem MBF)



Rys. 2. Porównanie stopnia zanieczyszczenia wody produktami korozji (A – zawartość cząstek >10 µm w próbkach bez inhibitora, B – zawartość cząstek >10 µm w próbkach z inhibitorem MBF, C – zawartość żelaza w próbkach bez inhibitora, D – zawartość żelaza w próbkach z inhibitorem MBF)

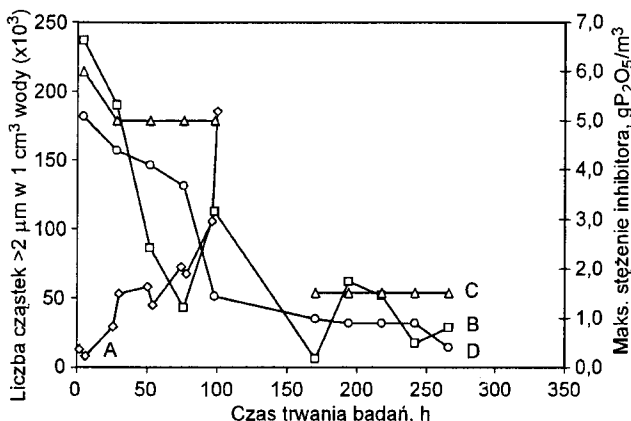
Analizując krzywe obrazujące zmiany jakości wody w obu seriach badań z wodą bez dodatku inhibitora korozji, jak i w serii z dodatkiem inhibitora fosforanowo-molibdenianowego MBF, można wyróżnić początkowy krótki okres znacznego zanieczyszczenia wody produktami korozji, co znalazło odbicie zarówno we wzroście liczby cząstek, jak i zawartości żelaza, a następnie w obu seriach po około 14 dobach – okres ustabilizowania się procesu, o czym świadczyło utrzymywanie się liczby cząstek w wodzie na stałym poziomie. Zakładając, że liczba cząstek jest miarą intensywności procesu korozji, obliczono średnie zawartości cząstek w 1 cm³ w warunkach równowagi w wodzie bez dodatku inhibitora korozji i w wodzie z ochroną inhibitorową, a następnie obliczono stopień obniżenia szybkości korozji na podstawie zmniejszenia liczby cząstek stałych w wodzie. Obliczone wartości dla cząstek >2 µm i >5 µm porównano z wynikami badań grawimetrycznych, na podstawie których określono intensywność korozji w oparciu o ubytek mas elementów korodujących (tab.1). Uzyskano zbliżone wartości (ok. 95%) stopnia obniżenia szybkości korozji zarówno dla metody grawimetrycznej, jak i metody pomiaru cząstek >2 µm.

Tabela 1. Zawartość produktów korozji stali w wodzie z dodatkiem inhibitora fosforanowo-molibdenianowego (MBF) oraz bez inhibitora

Rodzaj wody	Średnia zawartość cząstek w 1 cm ³ wody po 14 dobach badań		Maksymalna zawartość żelaza w serii gFe/m ³	Ubytek masy ×10 ⁻⁴ g/m ² h
	>2 μm	>5 μm		
Woda zmiękczona zasilająca instalację	550	140	0,00	–
Woda obiegowa bez inhibitora	29500	1050	0,95	143
Woda obiegowa z dodatkiem inhibitora 1,3 g/m ³	2300	200	0,45	7
Stopień usuwania w wyniku zastosowania inhibitora	94%	93%	53%	95%

Miarą zanieczyszczenia wody produktami korozji jest również zawartość związków żelaza. Gdyby jako kryterium intensywności korozji przyjąć maksymalną zawartość żelaza na początku cyklu badań dla obu serii, to stopień obniżenia szybkości korozji uzyskany w wyniku zastosowania inhibitora korozji wyniósłby około 53% (tab.1). Wartość ta różniła się istotnie od stopnia obniżenia szybkości procesu korozji wyznaczonego na podstawie pomiarów metodą SPC i metodą grawimetryczną. Analizując kinetykę zmian zawartości związków żelaza w czasie prowadzenia badań można zauważyć znaczne wahania stężenia żelaza w próbkach wody bez ochrony inhibitorowej (rys.1), podczas gdy stężenie żelaza w wodzie z inhibitorem było względnie stałe. Wahania zawartości związków żelaza w próbkach wody z instalacji nie miały odbicia w zmianie zawartości cząstek stałych w mierzonym zakresie 2÷25 μm. Można sądzić, że wzrost zawartości żelaza spowodowany był obecnością w wodzie dużych cząstek, które odrywały się od powierzchni płytek stalowych i były tak duże, że nie mieściły się w zakresie pomiarowym licznika, tzn. były większe niż 25÷30 μm. Wydaje się, że w przeprowadzonych badaniach wskaźnik zawartości żelaza należy traktować raczej jako miarę stabilności i przyczepności wytworzonych warstw ochronnych, a nie intensywności procesu korozji, natomiast pomiar liczby cząstek może być wykorzystany zarówno jako kryterium korozyjności wody, jak i stabilności tworzących się warstw osadów, przy czym do monitorowania przebiegu procesów korozji korzystne byłoby zastosowanie licznika cząstek o zakresie pomiarowym 2÷100 μm.

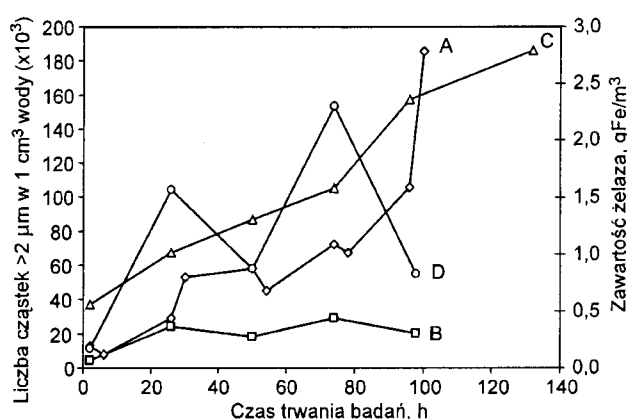
Wyniki uzyskane w drugim cyklu badań, w którym oceniono wpływ inhibitora fosforanowego Clarofos 124 na proces wmywania zanieczyszczeń z warstwy osadów korozyjnych, zestawiono w tabeli 2. Kinetykę procesu badanego w I serii, w której nie zastosowano inhibitora oraz kolejno w seriach II i III, w których do wody obiegowej dodano inhibitor, zobrazowano na rysunku 3.



Rys. 3. Porównanie stopnia zanieczyszczenia wody produktami korozji (A – zawartość cząstek >2 μm w próbkach przed obróbką inhibitorem, B – zawartość cząstek >2 μm w próbkach z inhibitorem Clarofos 124, C – maksymalne stężenie inhibitora w ciągu doby, D – zawartość żelaza w próbkach z inhibitorem Clarofos 124)

Podana liczba cząstek, charakteryzująca wodę w badaniach z inhibitorem, była maksymalną zawartością cząstek w ciągu doby, oznaczoną w 4 godziny po uzupełnieniu obiegu fosforanami. Zobrazowano również zużycie inhibitora w ciągu doby. Stwierdzono, że w I serii (bez inhibitora) nastąpił stały wzrost liczby cząstek, co było efektem skumulowania się w wodzie obiegowej zanieczyszczeń wmywanych z warstwy osadów korozyjnych. Zastosowanie inhibitora fosforanowego spowodowało początkowo kilkakrotny wzrost liczby cząstek, w wyniku uwolnienia produktów korozji do wody, w stosunku do wartości wyjściowej, po czym w miarę upływu czasu intensywność procesu zanieczyszczania wody systematycznie malała. Stwierdzono również systematyczne zmniejszanie się zużycia inhibitora dodawanego do wody z 5,1 gP₂O₅/m³ do 0,4 gP₂O₅/m³ w ciągu doby. Przebieg krzywej obrazującej zmniejszanie się liczby cząstek stałych w wodzie, jak również malejące zużycie inhibitora wykazały, że miał miejsce stały proces oczyszczania powierzchni skorodowanego wycinka przewodu z nagromadzonych osadów. Uwolnione osady w postaci rudawego nalotu osadzały się na powierzchni elementów szklanych równomiernie w całym obiegu i zostały usunięte strumieniem wody po zakończeniu badań.

Skuteczność procesu wmywania zanieczyszczeń z powierzchni skorodowanego wycinka przewodu przez dodanie do wody inhibitora Clarofos 124 sprawdzono w IV serii badań. Na rysunku 4 porównano liczbę cząstek w wodzie przed obróbką fosforanami (I seria) oraz po zakończeniu tego procesu (IV seria). W wodzie po obróbce chemicznej zawartość cząstek o rozmiarach 2÷10 μm utrzymywała się na stałym i bardzo niskim poziomie, w porównaniu z wodą przed obróbką, co świadczyło o zahamowaniu procesu uwalniania produktów korozji z warstwy osadów. Jednak oznaczone zawartości żelaza w wodzie po obróbce inhibitorem były nieproporcjonalnie wysokie do liczby cząstek.

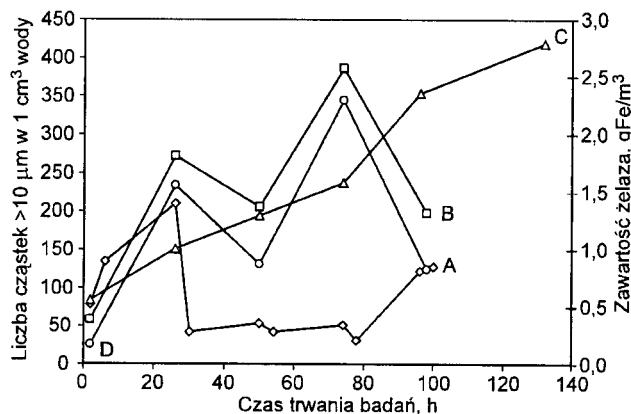


Rys. 4. Porównanie stanu zanieczyszczenia wody produktami korozji (A – zawartość cząstek >2 μm w próbkach przed obróbką inhibitorem, B – zawartość cząstek >2 μm w próbkach po obróbce inhibitorem Clarofos 124, C – zawartość żelaza w próbkach przed obróbką inhibitorem, D – zawartość żelaza w próbkach po obróbce inhibitorem Clarofos 124)

Tabela 2. Zanieczyszczenie wody produktami korozji wymywanymi z warstwy osadu na powierzchni wewnętrznej przewodu

Rodzaj wody	Czas trwania badań godz.	Zawartość cząstek stałych w 1 cm ³ wody			Maksymalne stężenia inhibitora gP ₂ O ₅ /m ³	Zużycie inhibitora w ciągu doby gP ₂ O ₅ /m ³	Zawartość żelaza gFe/m ³
		>2 μm	>5 μm	>10 μm			
I seria woda bez inhibitora	2	12940	3386	78	–	–	0,56
	6	8172	2813	134	–	–	–
	26	29333	6734	210	–	–	1,01
	30	52870	9760	42	–	–	–
	50	58159	9583	54	–	–	1,30
	54	45100	6911	43	–	–	–
	74	72230	10049	52	–	–	1,58
	78	67671	8725	31	–	–	–
	96	105575	17266	122	–	–	2,36
	100	185413	38648	128	–	–	–
132	78495	23427	323	–	–	2,79	
II seria woda z inhibitorem Clarofos 124	4	236851	34346	51	6,0	–	–
	28	190073	32561	25	5,0	5,1	–
	52	86283	7509	10	5,0	4,4	–
	76	43060	3371	8	5,0	4,1	–
	98	112301	10528	32	5,0	3,7	–
III seria woda z inhibitorem Clarofos 124	170	6558	1442	11	1,5	1,4	–
	194	61953	12661	57	1,5	1,0	–
	218	51703	16334	102	1,5	0,9	–
	242	17310	5505	30	1,5	0,9	–
	266	28519	8753	40	1,5	0,9	–
	292	–	–	–	–	0,4	–
IV seria woda bez inhibitora	2	4332	1652	58	–	–	0,17
	26	24120	10212	272	–	–	1,56
	50	18262	8476	206	–	–	0,87
	74	29419	12862	386	–	–	2,30
	98	20480	8738	198	–	–	0,83

Rozbieżność tę można wyjaśnić śledząc podane na rysunku 5 krzywe obrazujące zawartości żelaza i zmianę liczebności dużych cząstek, tj. >10 μm, których przebieg w czasie był identyczny.



Rys. 5. Porównanie stopnia zanieczyszczenia wody produktami korozji (A – zawartość cząstek >10 μm w próbkach przed obróbką inhibitorem, B – zawartość cząstek >10 μm w próbkach po obróbce inhibitorem Clarofos 124, C – zawartość żelaza w próbkach przed obróbką inhibitorem, D – zawartość żelaza w próbkach po obróbce inhibitorem Clarofos 124)

Powyższe dane wskazują, że przyczyną zanieczyszczenia wody po obróbce fosforanami było odrywanie się dużych cząstek produktów korozji w wyniku rozluźnienia struktury warstwy osadów na powierzchni przewodów. Potwierdza tę tezę obserwacja, że woda po obróbce fosforanami charakteryzowała się bardzo niską barwą i mętnością, mimo oznaczonej analitycznie znacznej zawartości związków żelaza.

Wnioski

♦ Metoda SPC pozwala na precyzyjny pomiar liczby i rozmiarów cząstek stałych zawartych w wodzie. Pomiar ten charakteryzuje się bardzo wysokim progiem czułości na zmiany spowodowane nieznacznymi wahaniami warunków, które wpływają na zawartość cząstek stałych w wodzie. Z uwagi na prostotę i łatwość wykonania pomiarów, metoda ta jest szczególnie przydatna do monitorowania przebiegu procesów uzdatniania wody oraz zmian jakości wody w wyniku wtórnego jej zanieczyszczenia w systemach wodociągowych.

♦ Stwierdzono istotną korelację między zmianami liczebności cząstek przechodzących do wody w wyniku procesu korozji i ubytkiem masy korodującego metalu, oznaczonym metodą grawimetryczną. Oznaczanie liczby cząstek stałych w wodzie może być w praktyce wykorzystane do badania procesów korozyjnych przebiegających w przewodach wodociągowych.

♦ Wyniki pomiarów uzyskane metodą SPC pozwalają wnioskować nie tylko o liczebności zbioru cząstek stałych obecnych w wodzie, ale także o morfologii tego zbioru. Dzięki zastosowaniu metody SPC uzyskać można dodatkowe informacje, które nie tylko określają jakość wody za pomocą wskaźnika ilościowego, ale również – w połączeniu z wynikami analizy fizykochemicznej wody – umożliwiają wnioskowanie o przyczynach zachodzących procesów, co może okazać się szczególnie przydatne przy podejmowaniu działań mających na celu polepszenie jakości wody w systemach wodociągowych.

Badania przeprowadzono w ramach projektu badawczego nr 7 T07 G 003 16, sfinansowanego przez KBN.

LITERATURA

1. Rozporządzenia Ministra Zdrowia z 4 września 2000 r. w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, woda w kąpieliskach oraz zasad sprawowania kontroli jakości wody przez organy Inspekcji Sanitarnej. Dz. U. nr 82, poz. 937.
2. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Official Journal of the European Communities, 1998, No. L 330/32.
3. B. WICHROWSKA: Jakość wody przeznaczonej do konsumpcji. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, PZITS Poznań, Kraków 2000, ss. 127–141.
4. B. TOCZYŁOWSKA: Źródła i przyczyny wtórnych zanieczyszczeń wody w systemach wodociągowych. Mechanizmy zmienności parametrów fizyko-chemicznych wody. Mat. sem. „Utrzymanie jakości wody w sieci wodociągowej w trakcie jej przesyłu do konsumenta”, Gdańska Fundacja Wody, Gdańsk 2000.
5. K. OLAŃCZUK-NEYMAN: Wpływ mikroorganizmów na jakość wody w sieci wodociągowej. Mat. sem. „Utrzymanie jakości wody w sieci wodociągowej w trakcie jej przesyłu do konsumenta”, Gdańska Fundacja Wody, Gdańsk 2000.
6. M. KULBIK: Skuteczność zastosowania metody wymuszenia ukierunkowanego przepływu wody w przewymiarowanych sieciach wodociągowych. Informacja INSTAL, 1998, nr 11, ss. 12–15.
7. B. KASTERKA, B. KASTERKA: Some aspects of recontamination of potable water distribution systems. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”, PZITS, tom I, Poznań 1996.
8. B. WICHROWSKA: Zanieczyszczenia wody do picia w przewodach wodociągowych w zależności od ich rodzaju. Informacja INSTAL, 1994, nr 4, ss. 7–11.
9. W. BALCERZAK, K. KNAPIK, M. KUBALA: Modelowanie zjawiska zanieczyszczenia wody w sieci wodociągowej. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1999, nr 6, ss. 201–206.
10. M. W. Le CHEVALLIER, W. D. NORTON: Examining relationships between particle counts and *Giardia*, *Cryptosporidium*, and turbidity. Journal AWWA, 1992, No. 10, pp. 54–60.
11. D. BEHM: The Milwaukee Outbreak and Its Implications for the Future of Drinking Water Treatment. Convention Paper 20th Annual Convention & Exhibition, Phoenix 1994.
12. S. NDIONGUE, R. DESJARDINS, M. PRÉVOST: Relationships between total particle count, aerobic spore-forming bacteria and turbidity in direct filtration. Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA, No. 49.2, 2000, pp. 75–87.
13. A. M. van GELDER, Z. K. CHOWDHURY, D. F. LAWLER: Conscientious particle counting. Journal AWWA, 1999, Vol. 91, No. 12, pp. 64–76.
14. W. PIĄSTKA: Czyszczenie hydromechaniczne jako efektywna metoda usuwania miękkich i twardych osadów z rurowodów przesyłowych, wodociągowych, na przykładzie zdobytych doświadczeń eksploatacyjnych w Łodzi. Mat. kont. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, PZITS Poznań, Kraków 2000, ss. 721–734.
15. B. TOCZYŁOWSKA i in.: Badania nad zastosowaniem metody liczenia pojedynczych cząstek stałych do oceny jakości wody przeznaczonej do konsumpcji przez ludzi. Raport nr 7 T07 G 003 16, COBRTI INSTAL, Warszawa 2001 (praca nie publikowana).
16. A. RUTKIEWICZ: Opracowanie składu nowego inhibitora korozji do instalacji ogrzewania wraz z badaniami jego skuteczności w skali laboratoryjnej. Raport nr NMT/965/99, COBRTI INSTAL, Warszawa 1999 (praca nie publikowana).
17. Materiały firmy IXO NEUBER sp. z o.o.

The Use of Particle Counters for the Assessment of Water Recontamination with the Products of Water Pipe Corrosion

Providing information about the number and size of the particles that are present in the water, particle counters can be of help in analyzing the recontamination of potable water in the distribution system. For particle size larger than 2 μm , the particle counter method is more sensitive than the one involving a turbidimeter, which is conventionally used in water quality monitoring. The objective of the study was to establish if there is a correlation between the number or size of the particles and the aggressiveness of the water. The results show that particle counts can be regarded as reliable indicators when assessing the probability of steel corrosion. Since the use of phosphate-based chemicals in the treatment of potable water is becoming

increasingly frequent, experiments were carried out in order to examine the relationship between the efficiency of incrustation removal from the pipeline with Clarofos 124 (a combination of poly- and monophosphates) and the total particle count in the water. Monitoring of quality variations when the water was treated with phosphate-based chemicals revealed that the particle count provided more information about water quality variations than did iron content. The investigations also showed that the total particle count is not only a useful parameter in assessing the performance of the water distribution system, but a reliable indicator of potential failure as well.