

Karol Kuś, Florian Piechurski, Dariusz Okoń

Efekty i koszty obniżania agresywności korozyjnej wód powierzchniowych

Wysoka agresywność korozyjna większości wód służących do zaopatrzenia Górnego Śląska wynika z ich jakości, a także zależy od ilości i rodzaju chemikaliów stosowanych w procesach uzdatniania. Dotyczy to zwłaszcza wód ujmowanych w górnym biegu Wisły, które następnie są uzdatniane w stacjach wodociągowych „Goczałkowice” i „Strumień”. Negatywne oddziaływanie tych wód ujawnia się przede wszystkim w przyspieszonej korozji stalowych przewodów sieci wodociągowej oraz w jej zarastaniu osadami. Skraca się przez to żywotność sieci, czemu towarzyszy zwiększona awaryjność, straty wody i ogólne obniżenie niezawodności systemu wodociągowego. Rosną też koszty eksploatacji powodowane ciągłym wzrostem oporności hydraulicznej przewodów. Rozwiązanie tego zagadnienia wymaga lokalnego opracowania skutecznego sposobu obniżania cech korozyjnych wody w procesie jej uzdatniania lub też po jego zakończeniu.

Przeprowadzone badania nad stabilizacją wód przy pomocy różnych środków chemicznych w warunkach nieprzepływowych wykazały ich dobrą skuteczność wyrażoną stopniem obniżenia szybkości korozji stali. Najlepsze efekty uzyskano stosując w kolejności: korektę pH wodorotlenkiem sodu (70 %), szkło wodne sodowe (64 %), preparat VFZ-1 (60 %) i hexametrafosforan sodu (50 %). Przebieg tych badań (pomiaru szybkości korozji stali St-3S wykonywano metodą polaryzacyjną i grawimetryczną) oraz uzyskane wyniki zostały opublikowane w pracy [1].

Wybór rodzaju środka, ze wskazaniem do zastosowania w praktyce, poprzedzono badaniami sprawdzającymi w warunkach przepływowych. Umożliwiły one ocenę rzeczywistej skuteczności reagentów, również na podstawie wizualnej analizy próbek stali. W niniejszej pracy przedstawiono uzyskane efekty łącznie z dodatkowymi kosztami jednostkowymi stabilizacji wody.

Metody badań

Do badań w układzie przepływowym zaprojektowano i wykonano stanowisko składające się z trzech niezależnych ciągów pomiarowych (rys. 1), które zlokalizowano w stacji uzdatniania wody w Strumieniu. Jeden z nich stanowił tzw. ciąg odniesienia, przez który przepływała woda bez stabilizacji. Każdy ciąg był wyposażony w zawory odcinające (8), wodomierz (3), sondy pomiarowe (7) i zawory do poboru próbek wody (9). Dwa ciągi dodatkowo wyposażono w pompy dozujące (5) zasilane ze zbiorników (4) z roztworem środka stabilizującego. Wodomierze (3) umożliwiały pomiar ilości przepływającej wody w trakcie badań. Pośrednio wyniki tych pomiarów wykorzystano przy określaniu średnich

prędkości i natężeń przepływu wody w rurociągach (2). W wyniku symulacji przepływu na stanowisku doświadczalnym uzyskano przybliżone warunki pracy sieci wodociągowej. Średnia prędkość przepływu wody wynosiła 0,6 m/s i nie przekraczała 1,65 m/s.

Pomiary polaryzacyjne i grawimetryczne szybkości korozji stali, wraz z oceną wizualną elektrod pomiarowych po czasie ekspozycji, przeprowadzono w trzech następujących seriach:

seria I – 35 dób dla preparatu VFZ-1 i 79 dób dla szkła wodnego sodowego,

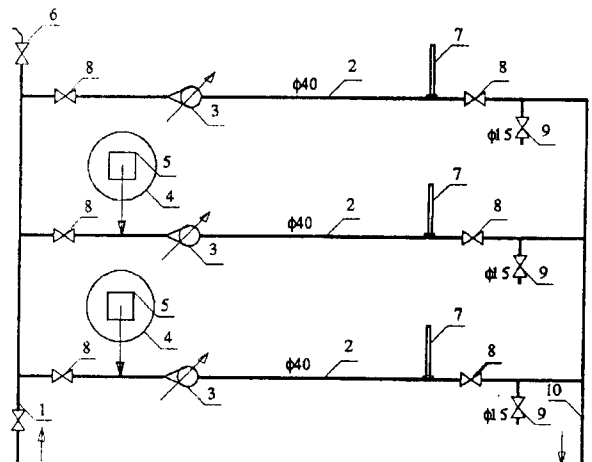
seria II – 69 dób dla szkła wodnego sodowego i 70 dób dla NaOH,

seria III – 78 dób dla heksametafosforanu sodu.

Wielkości dawek poszczególnych środków chemicznych przyjęto na podstawie wyników badań nad stabilizacją wody w warunkach statycznych [1].

Wyniki badań

Uzyskane w warunkach dynamicznych wyniki skuteczności poszczególnych środków chemicznych użytych do badań nad stabilizacją wody pochodzącej z zakładu wodociągowego w Strumieniu zestawiono w tabelach 1 i 2 oraz przedstawiono graficznie na rysunku 2. Tabela 1 zawiera wyniki badań otrzymane metodą polaryzacyjną, zaś tabela 2 wyniki zbiorcze obu przyjętych metod określania agresywności korozyjnej wód, włącznie z wyznaczeniem masy przyrostu osadu po czasie ekspozycji i oceną wizualną próbek stali.



Rys. 1. Schemat stanowiska do badań korozyjności wody w układzie przepływowym (1 – doprowadzenie wody, 2 – niezależne ciągi pomiarowe, 3 – wodomierze ISb40, 4 – zbiorniki z roztworem środka stabilizującego, 5 – pompy dozujące Grünbeck GP-6/10, 6 – zawór odpowietrzający, 7 – sondy pomiarowe, 8 – zawory odcinające, 9 – punkty poboru próbek wody, 10 – odpływ do kanalizacji)

Przeprowadzone badania nad stabilizacją wody w warunkach dynamicznych umożliwiły ocenę efektywności działania środków chemicznych przyjętych na podstawie badań statycznych. Pod względem obniżenia szybkości korozji stali największą skuteczność uzyskano dawkując do wody po procesie uzdatniania: preparat VFZ-1 (69 %), szkło wodne sodowe (51 % i 69 %), zasadę sodową (49 %) i heksametanfosforan sodu (40 %). Efekty te uzyskano metodą polaryzacyjną. Metoda grawimetryczna wykazała natomiast nieco inną kolejność, a mianowicie: preparat VFZ-1 (76 %), zasada sodowa (40 %), szkło wodne sodowe (36 % i 37 %) oraz heksametfosforan sodu (12 %).

Pod względem przyrostu masy osadu kolejność badanych środków chemicznych była następująca (tab.2): preparat VFZ-1 (0,017 kg/m²d), heksametafosforan sodu (0,019 kg/m²d), zasada sodowa (0,022 kg/m²d) i szkło wodne sodowe (0,025 kg/m²d). W wodzie bez stabilizacji przyrost masy osadu wynosił 0,040 kg/m²d, z czego wynika, że przy stosowaniu preparatu VFZ-1 lub heksametafosforanu sodu można uzyskać ponad dwukrotne zmniejszenie masy wytrąconego osadu jako produktu korozji, co z punktu widzenia pracy sieci wodociągowej ma istotne znaczenie.

Równie wartościowych informacji dostarczyła ocena wizualna próbek stali, z której były wykonane elektrody pomiarowe (tab.2). Elektrody poddane działaniu preparatu VFZ-1 odznaczały się bardzo małym obrostem, a wytrącony osad koloru rdzawego był łatwo odpajalny. Stan elektrod potwierdzał również stosunkowo mały przyrost masy osadu. Dobre efekty uzyskano również w przypadku elektrod poddanych działaniu heksametafosforanu sodu. Ilość osadu przylegająca do nich była niewielka. Osad był łatwo odpajalny, miękki, o kolorze rdzawym. Wykazano też związek pomiędzy stanem elektrod a przyrostem masy osadu. Wynik negatywny oceny wizualnej elektrod dotyczył bezpośrednio oddziaływania wody

wodociągowej (bez środków stabilizujących), jak również dawkowania zasady sodowej i szkła wodnego sodowego. Stan elektrod był wymownym potwierdzeniem zachodzącego procesu korozji. Najwięcej osadu powstało pod wpływem korekty odczynu (do pH=7,5). Osad ten był zwarty, twardy, koloru czarnego. Efekt stabilizacji wody szkłem wodnym sodowym był zbliżony do poprzedniego – powstało dużo bardzo twardego osadu koloru rdzawego.

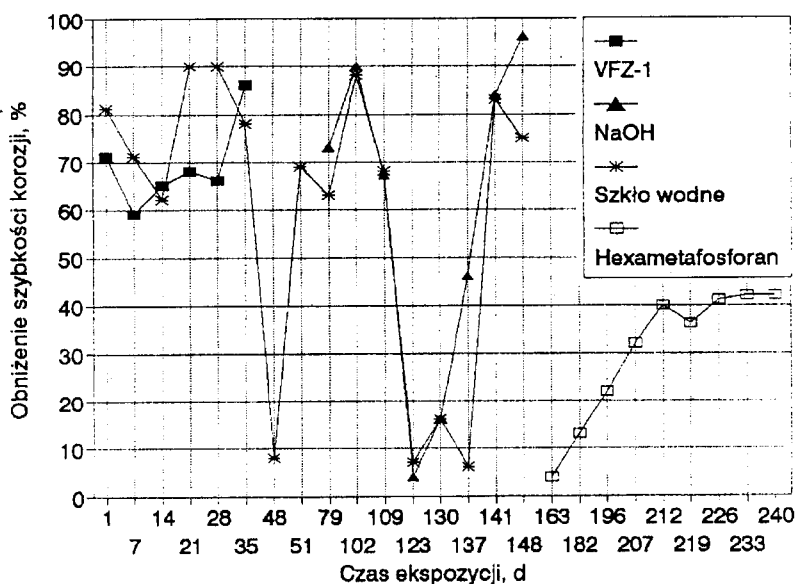
Przy wyborze rodzaju środka stabilizującego wodę należy uwzględnić przede wszystkim skuteczność jego działania, nieszkodliwość dla zdrowia oraz koszty jego zakupu i eksploatacji instalacji dozującej. W tabeli 3 zestawiono jednostkowe koszty stabilizacji wody na podstawie cen przyjętych do badań środków chemicznych oraz ich optymalnych dawek. Najniższy koszt stabilizacji wody można uzyskać stosując heksametafosforan sodu (ok. 44 zł/m³) lub zasadę sodową (ok. 47 zł/m³). Szkło wodne sodowe (ok. 200 zł/m³) i preparat VFZ-1 (ok. 1.200 zł/m³) znacznie podnoszą koszty tego procesu. Podane koszty dotyczą cen chemikaliów, jednak nie uwzględniają kosztów transportu, urządzeń dozujących i ich eksploatacji.

Podsumowanie

W badaniach dynamicznych nad zmniejszeniem agresywności korozyjnej wód, pochodzących z górnego biegu Wisły i uzdatnianych w stacjach „Goczałkowice” i „Strumień”, najlepsze efekty stabilizacji wody środkami chemicznymi uzyskano stosując preparat VFZ-1 lub heksametafosforan sodu. Świadczy o tym zarówno obniżenie szybkości korozji, jak i przyrost masy osadu oraz ocena wizualna poszczególnych próbek. Preparat VFZ-1, pomimo najwyższej skuteczności, nie został do tej pory dopuszczony do stosowania dla wody pitnej przez Państwowy Zakład Higieny. Jest on prepara-

Tabela 1. Wyniki badań nad stabilizacją wody w warunkach dynamicznych, uzyskane metodą polaryzacyjną

Czas eksp. d	Dawka, g/m ³				Szybkość korozji, mm/a					Obniżenie szybkości korozji, %			
	VFZ-1	NaOH	Szko wodne	Hexa-meta-fosforan sodu	Woda	VFZ-1	NaOH	Szko wodne	Hexa-meta-fosforan sodu	VFZ-1	NaOH	Szko wodne	Hexa-meta-fosforan sodu
1	55	-	27	-	0,585	0,168	-	0,111	-	71	-	81	-
7	54	-	28	-	0,435	0,180	-	0,125	-	59	-	71	-
14	59	-	30	-	0,407	0,141	-	0,154	-	65	-	62	-
21	52	-	24	-	1,236	0,399	-	0,127	-	68	-	90	-
28	57	-	23	-	1,036	0,350	-	0,102	-	66	-	90	-
35	65	-	27	-	0,967	0,136	-	0,213	-	86	-	78	-
48	-	-	19	-	0,460	-	-	0,424	-	-	-	8	-
51	-	-	33	-	1,298	-	-	0,399	-	-	-	69	-
79	-	4	23	-	1,001	-	0,270	0,371	-	-	73	63	-
102	-	6	35	-	0,810	-	0,078	0,099	-	-	90	88	-
109	-	5	46	-	0,536	-	0,175	0,169	-	-	67	68	-
123	-	6	34	-	0,929	-	0,888	0,863	-	-	4	7	-
130	-	3	23	-	1,138	-	0,951	0,954	-	-	16	16	-
137	-	4	25	-	1,029	-	0,551	0,971	-	-	46	6	-
141	-	5	43	-	8,776	-	1,407	1,516	-	-	84	83	-
148	-	10	39	-	8,620	-	0,326	2,124	-	-	96	75	-
163	-	-	-	1,7	1,460	-	-	-	1,400	-	-	-	4
182	-	-	-	2,0	1,255	-	-	-	1,093	-	-	-	13
196	-	-	-	1,4	1,096	-	-	-	0,855	-	-	-	22
207	-	-	-	1,1	0,952	-	-	-	0,650	-	-	-	32
212	-	-	-	1,4	0,678	-	-	-	0,409	-	-	-	40
219	-	-	-	1,2	0,966	-	-	-	0,616	-	-	-	36
226	-	-	-	3,6	0,978	-	-	-	0,576	-	-	-	41
233	-	-	-	1,3	0,929	-	-	-	0,540	-	-	-	42
240	-	-	-	1,5	0,945	-	-	-	0,552	-	-	-	42



Rys.2. Efekty obniżania szybkości korozji stali

tem nietoksycznym, powszechnie zalecanym w układach grzewczych i chłodniczych. Ze względu na wysoką cenę spowodowałyby znaczne podniesienie kosztów produkcji wody.

Korzystne rezultaty daje natomiast wdrożenie heksametafosforanu sodu jako środka do stabilizacji wody. Środek ten, pomimo nie najwyższego stopnia obniżania szybkości korozji, zapobiega procesom powstawania osadów jako produktów korozji, zmniejszając o ponad 50 % przyrost ich masy w stosunku do wody nie poddanej stabilizacji.

Z punktu widzenia pracy sieci wodociągowej, samo zjawisko korozji nie stanowi tak dużego zagrożenia dla jej żywotności i przepływności, jak właśnie produkty tego procesu, którymi są osady. Ograniczenie zatem ich masy ponad dwukrotnie poprzez dawkowanie niedużych ilości heksametafosforanu sodu (2 g/m^3), przyczyni się do znacznego wydłużenia sprawności hydraulicznej sieci wodociągowej, przy stosunkowo niskich kosztach całego przedsięwzięcia. Powstający w obecności tego reagentu osad jest miękki i

łatwo odpajalny. Wytworzona z czasem cienka warstewka ochronna na powierzchni metalu chroni go przed postępującym procesem korozji. Jego dodatkową zaletą jest również to, że nie trzeba podnosić pH wody w stosunku do jego obecnej wartości, bowiem w środowiskach bardziej zasadowych istnieje niebezpieczeństwo korozji wżerowej. Jest to czynnik korzystny również z uwagi na koszty stabilizacji wody.

Próba obniżenia agresywności korozyjnej wody poprzez korektę jej odczynu przy pomocy NaOH do $\text{pH}=7,5$ nie dała pożądanego efektów. Wprawdzie nastąpiło obniżenie szybkości korozji o około 40 %, lecz produkty korozji wystąpiły z bardzo dużym nasileniem w formie osadu koloru czarnego o stosunkowo twardej i zwartej strukturze.

Ponadto samo NaOH nie posiada zdolności ochronnych. Również negatywny wynik uzyskano w przypadku szkła wodnego sodowego. Pomimo dobrych efektów obniżenia szybkości korozji,

Tabela 2. Zbiornicze wyniki badań nad stabilizacją wód w warunkach dynamicznych

Rodzaj środka chemicznego użytego do stabilizacji	Średnia dawka g/m^3	Średnia szybkość korozji mm/a		Obniżenie szybkości korozji, %		Przyrost masy osadu $\text{kg/m}^2\text{d}$	Ocena wizualna próbek stali St-3S
		metoda polaryz.	metoda grawimetr.	metoda polaryz.	metoda grawimetr.		
NaOH (korekta odczynu)	5	$\frac{3,120}{0,581}$	$\frac{2,511}{1,494}$	49	40	$\frac{0,040}{0,022}$	powstało najwięcej osadu koloru czarnego stosunkowo twardego
Szkło wodne sodowe	I seria	$\frac{0,825}{0,225}$	$\frac{0,932}{0,591}$	69	37	$\frac{0,040}{0,025}$	powstało dużo bardzo twardego osadu koloru rdzawego
	II seria	$\frac{3,120}{0,957}$	$\frac{2,511}{1,596}$	51	36		
VZF-1	57	$\frac{0,778}{0,229}$	$\frac{0,932}{0,220}$	69	76	$\frac{0,040}{0,017}$	powstało bardzo mało łatwo odpajalnego osadu koloru rdzawego
Hexametrafosforan sodu	1,7	$\frac{1,029}{0,743}$	$\frac{1,715}{1,596}$	40	12	$\frac{0,040}{0,019}$	powstało mało łatwo odpajalnego i miękkiego osadu koloru rdzawego

W rubrykach szybkość korozji i przyrost masy osadu w liczniku przedstawiono wartości dotyczące wody bez stabilizacji, a w mianowniku wartości dla wody stabilizowanej

Tabela 3. Koszty stabilizacji wody

Rodzaj środka stabilizującego	Cena, zł/kg X 1993 r. (z VAT-em)	Dawka g/m ³	Koszt stabilizacji wody
NaOH (techniczny)	9.450	5	47,25
Szkło wodne (140)	5.612	35	196,42
Preparat VFZ-1	19.840	60	1.190,40
Hexametfosforan sodu (Polifos)	21.838	2	43,67

środek ten sprzyja powstawaniu dużej ilości bardzo twardych osadów koloru rdzawego.

LITERATURA

1. K. KUŚ, F. PIECHURSKI, D. OKOŃ: Badania nad obniżaniem agresywności korozyjnej wód. *Ochrona Środowiska*, 1993, nr 4(51), ss. 19-21.

EFFECTS AND COSTS OF ABATING THE CORROSIVE AGGRESSIVENESS OF SURFACE WATER

The objective of the study was the abatement of the corrosive aggressiveness in surface waters after treatment at the waterworks of Goczkówice and Strumień (Upper Silesia). The investigations were carried out under static conditions, by the polarization and gravimetric methods. Water corrosion rate was noticeably decreased by the application of the following chemicals: NaOH for pH adjustment (70 %), VFZ-1 (60 %), sodium water glass (60 %), and sodium hexametaphosphate (50 %). The efficiency of each chemical

was assessed under dynamic conditions, at an extended time of observation, and unit costs of water stabilization were calculated. Thus, sodium hexametaphosphate was found to be the most efficient stabilizing agent. With a dose of 2 g/m³, the mass of the forming scale was decreased by over 50 % and, in addition, was made easy to remove. Of the chemicals examined, sodium hexametaphosphate also accounted for the smallest increase in the unit costs of drinking water production.