

PORÓWNANIE SKUTECZNOŚCI ODMANGANIANIA WODY NA WYBRANYCH ZŁOŻACH POROWATYCH

Agnieszka Kisło¹, Iwona Skoczko¹

¹ Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok, e-mail: agnieszka.kislo@wp.pl

STRESZCZENIE

Zgodnie z Rozporządzeniem Zdrowia z dn. 20 kwietnia 2010 r. stężenie manganu w wodzie nie może przekraczać 0,05 mg/l. Niniejsze uwarunkowanie wymusza uzdatnianie wód podziemnych i uzyskanie wymaganych stężeń. W tym celu stosowane są popularne materiały filtracyjne dostępne na krajowym rynku. Autorki w ramach badań przeprowadziły eksperymenty na dwóch złożach filtracyjnych. Pierwszym z nich była masa katalityczna G-1, drugim natomiast złożo Crystal-Right. Tym samym w niniejszym artykule przedstawiono metodykę badań, charakterystykę badanych złóż oraz wyniki badań wody, w tym zawartość w niej manganu po procesie filtracji.

Słowa kluczowe: uzdatnianie wód podziemnych, mangan, złoża filtracyjne, masa G-1, złożo Crystal- Right

COMPARISON OF MANGANESE REMOVAL EFFICIENCY OF WATER ON SELECTED POROUS FILTER BEDS

ABSTRACT

According to the Health Regulations of 20 April 2010, the concentration of manganese in water must not exceed 0.05 mg/l. This condition enforces the treatment of underground water and achieving the required concentrations. For this purpose, popular filter materials are available on the domestic market. The authors in the study conducted experiments on two filter beds. The first was G-1 catalytic mass, whereas the second was Crystal-Right. Thus, this paper presents the methodology of the study, the characteristics of the studied fields and the results of water tests, including the content of manganese in the process after filtration.

Keywords: groundwater treatment, manganese, filter beds, G-1 mass, Crystal- Right

WPROWADZENIE

Woda jest kluczowym czynnikiem środowiska warunkującym życie ziemskie. Wzrost jej zapotrzebowania obserwuje się na przestrzeni lat wraz z postępem technicznym. Rozwój cywilizacji jest uzależniony od dostępności wody, stąd właściwe gospodarowanie i ochrona jest w interesie ludności Ziemi [Chelmiński 2012].

Mangan spełnia bardzo ważną rolę w organizmach żywych. Pierwiastek ten w śladowych ilościach wchodzi w skład enzymów biorących udział w syntezie białek, kwasów nukleinowych, w metabolizmie cukrów oraz w procesach krzepnięcia krwi. Warunkuje nauczynianie enzymów niezbędnych do prawidłowego działania biotyny, witaminy B1 oraz witaminy C [Pedras 2009]. Żelazo i mangan w śladowych ilościach są niesko-

dliwe dla zdrowia lecz w większych ilościach już wpływają negatywnie. Nadmiar nagromadzonego manganu w organizmie może wywołać zaburzenia w metabolizmie innych pierwiastków takich jak np. żelaza poprzez to przyczynia się do zahamowania powstawania hemoglobiny. Należy także wspomnieć o objawach neurotoksycznych oraz możliwym kancerogennym działaniu tego pierwiastka [Kowal 1977, Kowal 2009]. Podczas nadmiaru manganu w pożywieniu, jest on odkładany w wątrobie, trzustce, nerkach oraz w jelitach, poprzez to uszkadza organy.

Wywołuje także wytrącenie się związków chemicznych na filtrach studziennych oraz w rurach powodując obniżenie sprawności technicznej urządzeń. Zgodnie z Rozporządzeniem Zdrowia z dn. 20 kwietnia 2010 r. stężenie manganu w wodzie nie może przekraczać 0,05 mg/l.

Sole manganu tworzące z substancjami humusowymi kompleksy często są trudne do usunięcia, a w przypadku ich wykorzystywania do celów komunalnych i przemysłowych należy usunąć mangan do wartości określonych rozporządzeniem. Proces odmanganiania wody podziemnej polega na utlenieniu zawartego w wodzie manganu dwuwartościowego do nierozpuszczonego manganu czterowartościowego. Prędkość utlenienia związków manganowych jest uzależniona od pH wody [Chełmicki 2012]. Związki manganu (II) występujące w wodach podziemnych są trwałe i nie ulegają łatwo hydrolizie, nawet przy zawartości manganu $\geq 10 \text{ g Mn/m}^3$. Hydroliza zachodzi wolno, zaś mangan w obecności tlenu oraz przy stężeniu 10^{-5} mola Mn/dm^3 ulega utlenieniu się przy $\text{pH} > 9,5$ [Johnson, Buchanan 1992, Kowal 2009]. Prosty i ekonomiczny rozwiązaniem uzdatniania wód podziemnych jest filtracja w filtrach pospiesznych wykorzystujących złoża oksydacyjne. Cechują się one zdolnością do efektywnego usuwania związków manganu dwuwartościowych, na podstawie utlenienia metodą katalizy heterogenicznej. Głównym katalizatorem procesu odmanganiania ze względu na katalityczne utlenienie w złożach filtracyjnych jest dwutlenek manganu, który zwany jest jako braunsztyn. Podany związek ma swoje zastosowanie jako czynnik utleniający w wielu procesach, a także w technologiach chemicznych [Jeż-Walkowiak 2006].

W technologii uzdatniania wód podziemnych wykorzystuje się bardzo często nieaktywne złoża chemiczne, które podczas eksploatacji filtrów zaczynają się uaktywniać. W trakcie filtracji napowietrzanej wody, posiadającej żelazo i mangan (II) ziarna złoża są pokryte trwałymi powłokami tlenów żelaza oraz manganu. Ziarnem złoża jest najczęściej w tym przypadku piasek kwarcowy i antracyt. Pokrycie tych ziaren trwałymi powłokami stanowi powierzchniową warstwę oksydacyjną [Jeż-Walkowiak 2006].

Obecnie coraz częściej stosowanym złożem nieaktywnych chemicznie jest piasek chalcedonitowy. W porównaniu ze złożem kwarcowym szybciej ulega uaktywnieniu do usuwania manganu. Chalcedonit to złożo filtracyjne, jego właściwości fizyko-chemiczne stwarzają perspektywy szerokiego zastosowania w technologii uzdatniania wody. Chalcedonit jest naturalnym minerałem, który jest wydobywany z kopalni odkrywkowej, poddawany obróbce mechanicznej i termicznej. Celem uzyskania materiału filtracyjnego o odpowiednim uziarnieniu, czystości oraz właściwości

technologicznych. Opisywane złożo posiada również porowatość ziaren, która dochodzi do 30%.

Zeolity posiadają niezwykle krystaliczną strukturę oraz unikalną zdolność wymiany jonów. Duża ilość małych kanalików jest występująca w ich strukturze, dzięki czemu mają one typowe średnice od 0,5 do 0,7 nm, które są troszkę większe od średnicy cząsteczek wody. Opisywane kanaliki nazywane są mikroporowatością, poza nimi istnieją większe pory w strukturze zeolitów (mezopory). Jony naładowane dodatkowo występują w kanałach i wymieniane są na inne jony. Dzięki wymianie jonów zeolity mogą selektywnie absorbować szkodliwe lub niechciane substancje [www.lenntech.pl].

Złoża modyfikowane są droższe od złoża z piasku kwarcowego. Koszty inwestycyjne można zmniejszyć wykorzystując złożo mieszane, składające się z ziaren piasku oraz z ziaren modyfikowanego zeolitu. Aktywne złoża zeolitowe na rynku występują pod wieloma nazwami handlowymi, np. Greensand czy Crystal-Right. Rosnące wymagania w zakresie uzdatniania i ochrony wód wymuszają poszukiwania bardziej efektywnych, ale jednocześnie tanich oraz bezpiecznych ekologicznie rozwiązań. Podczas procesu filtracji piasek kwarcowy zastępowany jest materiałami filtracyjnymi, które również aktywnie oddziałują poprzez reakcje zachodzące na powierzchni złoża. W ubiegłych latach coraz większe zainteresowanie budzą masy utleniające oraz filtrujące, przez które przepuszczana jest woda. Otrzymywane na bazie naturalnych i syntetycznych glaukonitów (uwodnionych glinokrzemianów) o właściwościach molekularno-sitowych, sorpcyjnych i jonowymiennych [Kowalczyk 2006].

Aktualnie na krajowym rynku dostępne są różne masy katalityczne do uzdatniania wód podziemnych. Producenci oferują je jako wypełnienia gotowych filtrów, oraz występują w postaci sypkiej do uformowania złoża filtracyjnego we własnym zakresie. Najczęściej stosowane są masy typu: G1, Piroluzyt, Birm. Każda z wymienionych ma odznacza się różną skutecznością oraz efektywnością oddziaływania na substancje chemiczne zawarte w wodzie. Dobór odpowiedniej masy katalitycznej powinien opierać się na podstawie badań technologicznych przeprowadzonych w skali laboratoryjnej.

W ramach niniejszej pracy dokonano badań dwóch złożów filtracyjnych, tj. Masy Katalitycznej G-1 oraz Crystal-Right w zakresie możliwości ich stosowania do oczyszczania wód podziemnych z manganu.

CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

Metody badań

Badania laboratoryjne próbek wody wykonane zostały w Katedrze Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska. Badania obejmowały badanie wody surowej, specjalnie preparowanej manganem(III) siarczanu $\text{MnSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ -169,02 g/mol firmy „Chempur” oraz bulionem wzbogaconym którego skład podłoża na 1 litr wynosi: wyciąg mięsny 0,4 g; enzymat, hydrolizat kazeiny 5,4 g; hydrolizat drożdży 1,7 g; pepton 4,9 g oraz chlorek sodowy 3,5 g. W tabeli 1 przedstawiono uzyskane stężenia zanieczyszczeń:

Pierwszym badanym złożem była masa katalityczna G-1. Masa aktywna G-1 jest mineralnym kruszywem pochodzenia naturalnego wolnym od zanieczyszczeń. Jest bezpyłowym czarno-brązowym granulatem o nierównomiernej strukturze, jego ziarna mają ostre krawędzie. Złoże G-1 jest minerałem odpornym na ścieranie. Masę aktywną G-1 stosuje się w jednostopniowej oraz dwustopniowej filtracji [www.ecopol.pl]. Złoże G-1 stosowane jest w filtrach otwartych jak również ciśnieniowych do filtrowania wody zawierającej nadmierne ilości żelaza i manganu szczególnie w przypadku występowania ich w postaci organicznej. Masa aktywna G-1 spełnia wszystkie wymogi higieniczne oraz posiada atest PZH dopuszczalny do usuwania wody do spożycia i na potrzeby gospodarcze. Posiada także ocenę higieniczną PZH Nr W/335/91 z dnia 13.08.91 r. – pozytywna pod względem zdrowotnym do stosowania Masy aktywnej G-1 w procesie usuwania żelaza i manganu z wody [www.ecopol.pl]. Na Rysunku 1 przedstawiono złoże G-1.

Parametry technologiczne filtra z masą katalityczną G1:

- wysokość złoża: 20 cm,
- średnica złoża: 7 cm
- prędkość filtracji: 1,17 m/h
- wypełnienie: 439,6 cm³
- powierzchnia: 21,98 cm²
- kolor: czarno-brązowy granulat, widoczne pojedyncze szare i białe ziarna,
- zawartość MnO_2 – ok. 75%,
- wilgotność – < 3% ,
- gęstość – 4,0 t/m³,
- ciężar nasypowy – 2,0 t/m³ ,
- ekspansja – 25% ,
- granulacja – typ 3 – 1,0–3,0 mm.

Drugim badanym złożem było złoże Crystal-Right. Jest to zeolit wytwarzany specjalnie do uzdatniania wody użytkowej i technologicznej z przeznaczeniem do usuwania żelaza, manganu, amoniaku, korekty współczynnika pH i zmiękczenia. Żywica zeolitowa wyprodukowana jest z glinokrzemianu sodowego – uwodnione glinokrzemiany sodu [www.crystal-right.pl]. Złoże Crystal-Right jest produktem całkowicie naturalnym, nie ulega uszkodzeniu lub rozkładowi pod wpływem chloru, usuwa ograniczone ilości amoniaku, chloru i siarkowodoru, zwiększa wartość pH , gwarantuje filtrację cząsteczek stałych i zawiesin zawartych w wodzie. Cechą charakterystyczną krystalicznej struktury Crystal-Right jest sieć dużych wolnych przestrzeni tworzących system otwartych kanalików wchłaniających cząsteczki wody, co umożliwia pobieranie i oddawanie wody bez niszczenia struktury minerału oraz gwarantuje doskonałe właściwości jonowymienne i adsorpcyjne [www.crystal-right.pl]. Złoże Crystal-Right jest kationitem pracującym w cyklu sodowym. Może być łatwo regenerowane poprzez płukanie nasyconym roztworem chlorku

Tabela 1. Stężenie substancji w wodze surowej

Table 1. Concentration of the substance in raw water

Zanieczyszczenie	Stężenie
Mangan [mg/l]	0,50–0,55
pH	5–6
Utlenialność [mg/l]	9,40–10,40
Azot amonowy [mg/l]	2,04–3,10
Barwa [Pt/l]	71–86
Mętność [FAU]	2–9
Twardość ogólna [mval/l]	2,64–4,80
Twardość wapniowa [mval/l]	1,76–3,59



Rys. 1. Złoże G-1

Fig. 1. G-1 filter bed

sodu NaCl, podczas którego następuje odtworzenie właściwości jonowymiennych i oczyszczenie złoża [www.klarsan.pl]. Żywotność zeolitu przy prawidłowej eksploatacji może wynosić nawet do 10 lat jednak wymaga on regeneracji. Podczas regeneracji zużywa się nawet do 30% mniej soli niż w przypadku żywic zmiękczających, osiągając 100% oczyszczenia zeolitu. Na rysunku 2 przedstawiono złożo Crystal-Right.

Filtr ze złożem Crystal Right charakteryzował się następującymi parametrami technologicznymi:

- wysokość złoża: 20 cm,
- średnica złoża: 7 cm
- prędkość filtracji: 0,70 m/h
- wypełnienie: 439,6 cm³
- powierzchnia: 21,98 cm²
- kolor: biały,
- gęstość nasypowa: 0,85 kg/dm³
- ciężar właściwy: 1,29
- wymagany odczyn wody: 5,5–14 pH,
- stopień wzniesienia złoża podczas przepływu: ~50%.

Złoża przed umieszczeniem w kolumnach filtrujących (rys. 3) były odpowiednio przygotowane, a następnie przepuszczano przez nie wodę. Woda filtrowana była w systemie ciągłym przez okres pierwszego cyklu badawczego i drugiego cyklu badawczego. Oznaczenia wykonywano bezpośrednio przed filtracją i po procesie filtracji. Prowadzono dwa cykle badawcze. Pierwszy cykl badawczy był prowadzony do wyczerpania zdolności sorpcyjnej poszczególnych złożów. W celu przywrócenia prawidłowych parametrów pracy dokonano regeneracji filtrów 5% roztworem solanki NaCl. Następnie rozpoczęto kolejny cykl badawczy i próbki pobierano codziennie

Zakres analiz obejmował zbadanie zawartości manganu w wodzie przed i po procesie filtracji. Zasada oznaczania manganu polegała na utlenieniu związków manganu (II) do związków manganu (VII) wobec AgNO₃ (odczynnik rtęciowo-srebrny) jako katalizatora oraz HgSO₄ jako czynnika kompleksującego chlorki. Intensywność powstałego zabarwienia jest proporcjonalna do zawartości manganu w badanej próbce. Oznaczenie wykonano na spektrofotometrze DR/4000V firmy HACH stosując metodę nr 2260. Oznaczenie to polegało na porównaniu intensywności światła przy długości fali 560 nm widma spektroskopowego ze wzorcem- wodą destylowaną [Szczykowska, Siemieniuk 2010].

Oprócz tego głównego parametru monitorowano także: pH, azot amonowy i utlenialność. Zmierzanie odczynu wody wykonano na pehametrze firmy „Elmetron” złożonego z elektrody szklanej. Metoda polegała na zanurzeniu elektrody w badanej próbce wody przed wcześniejszym spłukaniem jej wodą destylowaną oraz po badaniu. Oznaczanie zawartości azotu amonowego mierzono metodą bezpośredniej nessleryzacji, polegała ona na reakcji jonu amonowego z odczynnikiem Nesslera w środowisku alkalicznym. W wyniku tej reakcji powstał trudno rozpuszczalny związek o żółtopomarańczowym zabarwieniu, którego intensywność była proporcjonalna do stężenia oznaczanego jonu w analizowanej próbce.



Rys. 2. Złożo Crystal- Right
Fig. 2. Crystal- Right filter bed



Rys. 3. Kolumny filtracyjne
Fig. 3. Filter columns

Zawartość azotu amonowego mierzono na spektrofotometrze HACH DR/400V, nr metody 1200. Metoda polegała na porównaniu intensywności światła o długości fali $\lambda=425$ nm widma spektroskopowego z wodą destylowaną z odczynnikami jako wzorcową [Szczykowska, Siemieniuk 2010]. Oznaczanie utlenialności w próbce wody zakwaszonej kwasem siarkowym (VI) polegało na utlenianiu manganianem (VII) potasu wody w temperaturze wrzenia w łaźni wodnej przez 30 min, a następnie określeniu, metodą miareczkową, ilości zużytego roztworu KMnO_4 . Za wynik oznaczenia przyjęto ilość manganianu (VII) potasu zużytą na utlenianie próbki w przeliczeniu na tlen [Kierdyńska i in., 2006].

WYNIKI

W tabeli 2 zaprezentowano wyniki usuwania manganu przez złoża katalityczne G-1 i Crystal-Right w I i II cyklu badań filtracyjnych.

Tabela 1 przedstawia stężenie manganu w dwóch cyklach filtracyjnych. Pierwszy cykl filtracyjny obejmował 14 dni a badania były wykonywane co dwa dni cyklu, aby uzyskać stabilizację wyników. Drugi cykl obejmował pięć dni a badania były wykonywane każdego dnia, ze względu na długie działanie złoża. Zauważa się, iż efektywność usuwania manganu w pierwszym cyklu na złożu G-1 waha się w przedziale 0,005–0,212 mg/l, natomiast na Crystal-Right w przedziale 0,001–0,009 mg/l.

W pierwszym cyklu na złożu G-1 podczas pierwszych dwunastu dniach trwania badań za-

wartość manganu w wodzie mieściła się w wartościach normatywnych według Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dn. 20 kwietnia 2010 r. wartości manganu nie powinny przekraczać 0,05 mg/l. Po tym czasie zawartość manganu wzrosła i przekraczała normę.

Filtracja na złożu Crystal-Right spowodowała obniżenie zawartości manganu do wartości pożądaných przez cały czas trwania pierwszego cyklu, tj. podczas czternastu dni.

W przypadku trwania drugiego cyklu podczas filtracji na złożu G-1 nie osiągnięto ani razu poziomu 0,05 mg Mn/l. Natomiast analizując wyniki filtracji na złożu Crystal-Right właściwy poziom manganu uzyskano podczas czterech dni trwania cyklu, w piątym wartość dopuszczalna została przekroczona.

Zarówno w I jak i II cyklu badawczym złożo Crystal-Right okazało się dość skuteczne w usuwaniu związków manganu w początkowym okresie filtracji. Masa katalityczna G-1 skutecznie usuwała mangan tylko podczas pierwszego cyklu.

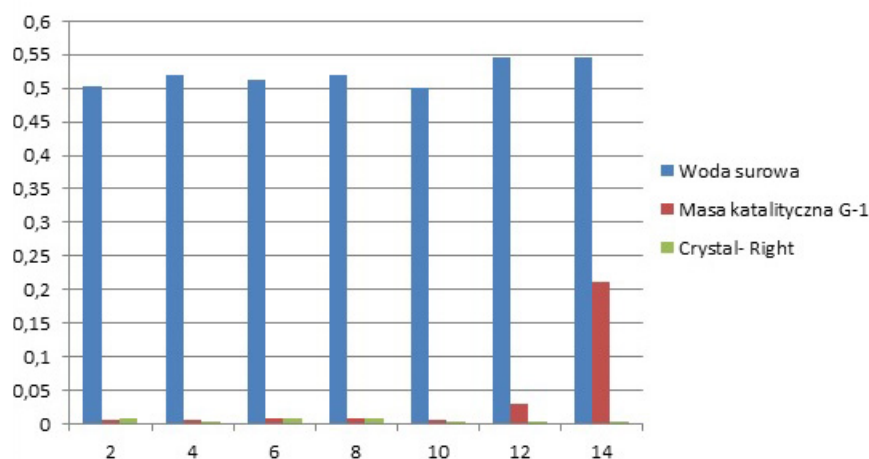
Na wykresach poniżej przedstawiono porównanie usuwania manganu przez oba złoża. Rysunek 4 pokazuje wykres usuwania po I cyklu filtracyjnym, natomiast rysunek 5 pokazuje usuwanie manganu po II cyklu filtracyjnym.

Analizując powyższy wykres, stwierdza się, iż złożo Crystal-Right lepiej usuwało mangan z wody. Pożądana wartość, zgodna z Rozporządzeniem została utrzymana przez cały okres trwania eksperymentu. Efektywność usuwania manganu na G-1 spadła podczas 14 dnia badań, co odnotowano po wyższej zawartości tego pierwiastka w dalszych dniach eksperymentu.

Tabela 2. Zawartość manganu w wodzie przed i po filtracji na złożu G-1 i Crystal-Right

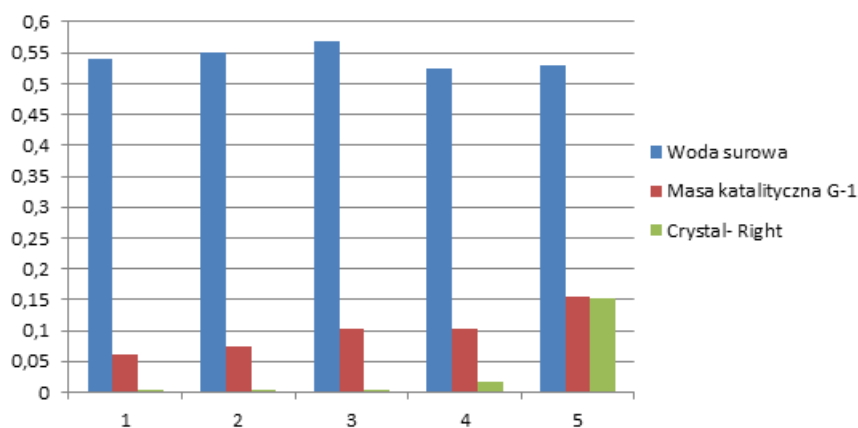
Table 2. Manganese content in water before and after filtration on G-1 and Crystal-Right filter beds

Cykl filtracyjny	Czas pracy złoża [doby]	Woda surowa	Woda po filtracji na G-1	Efektywność usuwania manganu	Woda po filtracji na Crystal-Right	Efektywność usuwania manganu
		[mgMn/l]	[mgMn/l]	[%]	[mgMn/l]	[%]
I cykl filtracyjny	2	0,503	0,006	98,8	0,009	98,2
	4	0,520	0,005	99,0	0,004	99,2
	6	0,512	0,009	98,2	0,007	98,6
	8	0,520	0,007	98,7	0,009	98,3
	10	0,501	0,006	98,8	0,004	99,2
	12	0,546	0,030	94,5	0,001	99,8
	14	0,546	0,212	61,2	0,004	99,3
II cykl filtracyjny	1	0,540	0,060	88,9	0,001	99,8
	2	0,550	0,074	86,5	0,001	99,8
	3	0,568	0,104	81,7	0,001	99,8
	4	0,525	0,103	80,4	0,018	96,6
	5	0,529	0,156	70,5	0,152	71,3



Rys. 4. Usuwanie manganu w wyniku filtracji na obu złożach w I cyklu filtracyjnym

Fig. 4. Removal of manganese by filtration on both beds in the first filtration cycle



Rys. 5. Usuwanie manganu w wyniku filtracji na obu złożach w II cyklu filtracyjnym

Fig. 5. Removal of manganese by filtration on both beds in the second filter cycle.

W drugim cyklu filtracyjnym zaobserwowano, iż Crystal-Right lepiej usuwało mangan z wody. Jego zdolności sorpcyjne wyczerpały się w 5 dobie badań. Analizując usuwanie manganu przez masę G-1 widać, iż po regeneracji złoża nie uzyskano wymaganych wartości manganu przez cały okres trwania cyklu.

DYSKUSJA WYNIKÓW

W ramach eksperymentów przeprowadzono badania skuteczności odmanganiania złożów dostępnych na rynku krajowym. Wykorzystano do tego celu masę katalityczną G1 oraz złożo Crystal-Right. Masa katalityczna G-1 pod koniec pierwszego cyklu wyczerpała się, stąd w 14 dniu stężenie manganu przekroczyło dopuszczalną wartość 0,05 mg/l. Po regeneracji i przeprowadzeniu ko-

lejnego cyklu filtracji, wyniki wskazywały, iż efektywność usuwania manganu była mniejsza i wynosiła w początkowych badaniach około 88% a w końcowych spadła do około 70%. Wnioskuje się, że długość cyklu badawczego wpływa niekorzystnie na efektywność usuwania manganu z wody. Badaniem masy G-1 zajął się także Milka z zespołem [Milka i in. 2014]. Badana woda pochodziła ze studni głębinowej i charakteryzowała się wysoką zawartością manganu. Masa aktywna G-1 uaktywniona była poprzez namoczenie w polichloroku sodu. Sumaryczna wysokość warstwy manganowej wynosiła 0,5 m a prędkość filtracji 8m/h. Stężenie manganu z początkowej wartości zostało zmniejszone do 0,06 mg/l, jednak bardzo szybko wzrastało, gdyż już po godzinie filtracji wynosiło 0,085 mg/l, po 2 godzinach pracy wynosiło 0,105mg/l, po 3 godzinach 0,160 mg/l a po 4 godzinach pracy wyniosło już 0,215 mg/l. Przy

wysokiej zawartości manganu w wodzie surowej, filtr nawet po aktywacji nie daje wody uzdatnionej o zawartościach normatywnych. Autorzy uważają, iż należałoby zastosować znacznie wyższą warstwę masy G-1.

W przypadku drugiego złoża filtracyjnego Crystal-Right zaobserwowano, iż efekt odmanganiania w trakcie trwania pierwszego cyklu utrzymywał się na poziomie około 98–99%. Pozwoliło to na otrzymanie wymaganych stężeń poniżej 0,05 mg/l. Po regeneracji złoża i przeprowadzeniu drugiego cyklu filtracji zaobserwowano w 4 i 5 dobie badań spadek efektywności odmanganiania i w ostatniej dobie przekroczenie dopuszczalnego stężenia manganu. Badania dotyczące złoża Crystal-Right wykonali także [Kaleta i in. 2009], badały one wodę pochodzącą z Chmielnika, która posiadała odczyn oscylujący wokół 7,00 i znaczną twardość na poziomie 290–365 mg CaCO_3/l . Zawierała także ponadnormatywne zawartości manganu wahające się w przedziale 2,04–3 mg Mn/l oraz azotu amonowego w przedziale 1,25–3 mg NH_4^+ . Pobraną ze studni wodę kierowano na filtr o średnicy 0,035 m i wysokości zasypu złoża Crystal Right – 0,8m. Przed pracą złożo regenerowano 5% roztworem solanki NaCl z prędkością 5 m/h. Następnie złożo płukano wodą destylowaną z prędkością 10 m/h do zaniku jonów chlorkowych w wycieku. Prowadzono dwa cykle pierwszy prowadzono do punktu wyczerpania złoża, który określono ze względu na stężenie manganu, następnie złożo zregenerowano i przeprowadzono drugi cykl. Stężenie manganu utrzymywało się poniżej wartości dopuszczalnej normy a więc 0,05 mg Mn/l w pierwszych 123 l filtratu (I cykl badawczy) i w 72 l (II cykl badawczy). Punkty wyczerpania ze względu na mangan uzyskano po przefiltrowaniu 461 l wody surowej- I cykl filtracyjny i 197 l- II cykl filtracyjny [Kaleta i in. 2009]. Im więcej wody przefiltrowano złożo było gorsze w usuwaniu manganu. Podczas analizy uzyskano podobne do badań [Kaleta i in. 2009] wyniki.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone eksperymenty pozwoliły udowodnić, iż złoża G-1 i Crystal-Right skutecznie usuwały mangan w pierwszym cyklu filtracyjnym. Najskuteczniejszym złożem odmanganiającym okazało się złożo Crystal-Right. Przez cały okres trwania pierwszego cyklu filtracji uzyskano na nim obniżenie stężenia do wartości wymaga-

nych dla wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi. Po regeneracji złoża chlorkiem sodu mangan był usuwany z zadowalającą skutecznością. Właściwy poziom manganu uzyskano podczas czterech dni trwania cyklu, w piątym wartość dopuszczalna została przekroczona. Efektywność usuwania manganu wynosiła średnio 98%. Stwierdza się, że Crystal-Right jest interesującym materiałem do dalszych badań.

LITERATURA

1. Chelmiecki W., Woda: Zasoby, degradacja ochrona, PWN Warszawa 2012.
2. Dojlido J. R., Instrumentalne metody badania wody i ścieków, Arkady, Warszawa 2015.
3. Jeż-Walkowiak Joanna, Złoża filtracyjne w uzdatnianiu wody, Wodociągi-Kanalizacja, 2006, nr11(33) s. 50–52.
4. Johson G., Buchanan G., Newkirk D. D., Optimizing filter Press dewatering at the Skinner Filtration Plant, JAWWA, 1992/11, s. 47.
5. Kierdyńska L., Papciak D., Granops M., Chemia sanitarna, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2006
6. Kowal Apolinary L., Maria Świdorska-Bróz, Oczyszczanie wody, PWN Warszawa 2009.
7. Kowal Apolinary L., Technologia wody, Arkady, Warszawa 1977.
8. Kowalczyk Roman, Uzdatnianie wody technologicznej, Przemysł spożywczy, 2006, t. 60, nr 11, s. 12–18.
9. Milka M. Vidović, Ivana S. Trajković, Saša S. Rogan, Vladimir M. Petrović, Sanja Z. Jovanić, Removal of Manganese and Iron from Groundwater in the Presence of Hydrogen Sulfide and Ammonia, Journal of Water Resource and Protection, 6, 19,2014, s. 1781–1792.
10. Pędras M., Właściwości kompleksotwórcze wybranych ligandów organicznych względem jonów manganu(II), Praca Doktorska, Uniwersytet Śląski Instytut Chemii Zakład Chemii Analitycznej, Katowice 2009.
11. Szczypkowska Joanna Ewa, Siemieniuk Anna, Chemia wody i ścieków. Podstawy teoretyczne i praktyczne. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2010.
12. <http://www.lenntech.pl/zeolity.htm>, dostępność dn. 20.04.2013 r.
13. <http://www.ecopol.pl/masa.g1.htm>, dostępność dn. 20.04.2013 r.
14. <http://www.crystal-right.pl/>, dostępność dn. 4.05.2013 r.
15. <http://www.klarsan.pl/zloza,zmiękczajace,crystal-right>, dostępność dn. 4.05.2013 r.