



Usuwanie związków żelaza i manganu w procesie filtracji wspomaganej polem magnetycznym na piasku i aktywnym tlenku glinu

*Iwona Skoczko, Ewa Szatyłowicz
Politechnika Białostocka*

1. Wstęp

Przekroczenie norm stężenia związków żelaza i manganu w wodzie to jeden z częstszych problemów wśród użytkowników ujęć studziennych bądź eksploatorów stacji uzdatniania wód podziemnych. Według Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. 2017 poz. 2294) ograniczenie stężenia jonów żelaza w wodzie do picia wynosi do $200 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, a manganu do $50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Wymagania dla wody przemysłowej są jeszcze bardziej restrykcyjne. Stąd ciągle poszukiwania efektywnych i tanich metod usuwania z wody wymienionych związków. W literaturze dostępne są liczne prace prezentujące badania nad procesem odmanganiania i odżelaziania wody na różnych złożach filtracyjnych dostępnych na rynku polskim i europejskim (Anielak i Arendacz 2007, Wang i Peng 2010, Skoczko i in. 2015a, Skoczko i in. 2015b, Jeż-Walkowiak i in. 2015, Kaleta i in. 2009, Nowak 2013, Jeż-Walkowiak i in. 2011, Piekarski i in. 2014). Niestety niewiele jest prac naukowych dotyczących skuteczności usuwania związków żelaza i manganu na aktywnym tlenku glinu, który jest zalecany przez EPA do usuwania związków m.in. arsenu z wody. Aktywny tlenek glinu może stać się sorbentem częściej używanym ze względu na coraz częstsze występowanie arsenu obok żelaza i manganu w ujęciach wód podziemnych (Postawa i in. 2011, Szatyłowicz i Skoczko 2016). Obecnie przy rozpatrywaniu zasto-

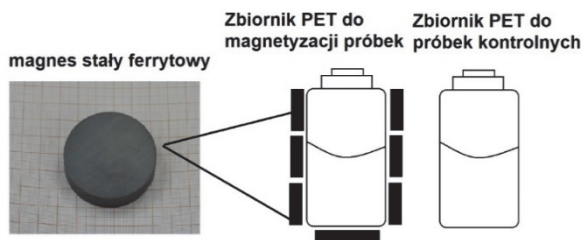
sowanych technologii w uzdatnianiu wody panuje tendencja zastępowania procesów wymagających reaktorów i kontrolowanych reakcji chemicznych na rzecz procesów fizycznych i mechanicznych (Skoczko i in. 2015a, Jeż-Walkowiak i in. 2017). Jednym z takich procesów jest magnetyzacja wody. Z ostatnich badań przeprowadzonych przez Szcześ i współpracowników (Szcześ i in. 2011) wynika, że zastosowanie stałego pola magnetycznego powoduje m.in. zmiany przewodności właściwej wody i roztworów wodnych oraz wzrost szybkości jej parowania. Udowodniono, iż magnetyzm można z powodzeniem stosować do oddzielania różnych substancji od siebie wykorzystując ich właściwości fizyczne (Ali Zade i in. 2008), co może przyczynić się do wzrostu efektywności usuwania z wody metali ciężkich bądź innych niepożądanych składników. Właściwości magnetyczne to unikalne cechy fizyczne, które można wykorzystać w oczyszczaniu wody, gdyż działają niezależnie od procesu technologicznego na fizyczne właściwości zanieczyszczeń obecnych w wodzie. Nowatorski aspekt realizowanych badań polegał na zastosowaniu pola magnetycznego jako czynnika powodującego zmiany w strukturze wody i wodnych roztworów.

Biorąc powyższe pod uwagę przeprowadzono badania nad analizą i oceną efektywności filtracji na aktywnym tlenku glinu i piasku kwarcowym wspomaganą polem magnetycznym. Porównano skuteczność odmanganiania i odżelaziania wody na złożu piaskowym i aktywnym tlenku glinu pod wpływem pola magnetycznego jako procesu wspomagającego.

2. Materiały i metody

Badania zostały przeprowadzone w laboratorium Katedry Technologii i Systemów Inżynierii Środowiska Politechniki Białostockiej. Stanowisko badawcze składało się z czterech rozdzielaczy. Objętość rozdzielaczy wynosiła 1 dm^3 , wysokość – 24 cm, średnica – 12 cm. Dwa z nich były wypełnione piaskiem kwarcowym o granulacji 0,4-0,8 mm, dwa pozostałe były wypełnione aktywnym tlenkiem glinu. Dwa rozdzielacze (jeden z piaskiem jeden z Al_2O_3 były przeznaczone do próbek kontrolnych, zaś dwa pozostałe do próbek magnetyzowanych). Zastosowany tlenek glinu był w postaci granul. Masa piasku kwarcowego w rozdzielaczu kontrolnym i do próbek magnetyzowanych wynosiła po 750 g/dm^3 , zaś masa aktywnego tlenku glinu po 450 g/dm^3 .

Badania prowadzono dla jednoskładnikowych roztworów modelowych żelaza i manganu. Do przygotowania roztworów zastosowano wodę destylowaną, co pozwoliło wyeliminować wpływ innych czynników podczas testowania wpływu PM na skuteczność usuwania żelaza i manganu. Próby przygotowano poprzez dodanie do wody destylowanej odpowiedniej ilości stężonego roztworu wzorcowego żelaza TraceCERT®, 1000 mg/l Fe oraz stężonego roztworu wzorcowego manganu TraceCERT®, 1000 mg/l Mn firmy Sigma-Aldrich. Przygotowano serię roztworów Fe o stężeniach: 1; 2; 5; 7,5; 10 mg/dm³ oraz serię roztworów Mn o stężeniach: 0,1; 0,2; 0,5; 0,75; 1 mg/dm³. Tak przygotowane próby poddano działaniu pola magnetycznego. Do procesu magnetyzacji użyto magnesów stałych ferrytowych o wielkości indukcji magnetycznej równej $B = 118$ mT. Otoczono nimi zbiornik z wodą wykonany z materiału PET przewodzącego fale PM. Pomiar indukcji magnetycznej wykonano za pomocą teslomierza HGS-10A. Na rysunku 1 przedstawiono schemat magnetyzacji próbek. Magnetyczna indukcja mierzona przez ściankę butelki wyniosła 57 mT, zaś czas magnetyzowania – 10 minut (ustalony na podstawie badań Higashitani i Oshitani (1997)). Próby kontrolne nie były poddawane działaniu pola magnetycznego. Zabieg ten miał na celu wyeliminowanie możliwego wpływu adsorpcji badanego składnika wody na ściany naczynia. Następnie roztwory filtrowano przez złoża wypełnione aktywowanym tlenkiem glinu i piaskiem z prędkością przepływu równą 6 l/h. Przyjęta prędkość przepływu uzależniona była od wydatku zastosowanej pompy i właściwości materiałów filtracyjnych.



Rys. 1. Schemat magnetyzacji próbek
Fig. 1. Scheme of samples magnetization

Stężenie żelaza i manganu w próbach kontrolnych i magnetyzowanych przed procesem filtracji i po procesie oznaczono za pomocą spektrometru absorpcji atomowej Thermo Scientific iCE3300 stosując metodę atomizacji w płomieniu.

Na podstawie otrzymanych wyników policzono skuteczność procesu usuwania żelaza i manganu podczas filtracji wspomaganej i niewspomaganej PM według wzoru 1.

$$E = \frac{c_o - c_k}{c_o} * 100\% \quad (1)$$

gdzie:

c_o – stężenie początkowe, mg/dm³,

c_k – stężenie końcowe po procesie filtracji, mg/dm³.

Efektem realizowanych badań były również obliczenia adsorpcji właściwej tlenku glinu i piasku kwarcowego w stosunku do roztworów poddanych działaniu pola magnetycznego i roztworów kontrolnych poszczególnych pierwiastków według wzoru 2.

$$A = V * \frac{c_o - c_k}{m} \quad (2)$$

gdzie:

A – zdolność sorpcyjna badanego materiału filtracyjnego do wiązania pierwiastków, µg/g,

V – objętość roztworu, która przepłynęła przez rozdzielacz, dm³,

c_o – stężenie początkowe, µg/dm³,

c_k – stężenie końcowe (równowagowe), µg/dm³,

m – masa Al₂O₃ lub piasku kwarcowego użytych do procesu filtracji, g.

Wyliczone wartości adsorpcji właściwej posłużyły do sporządzenia wykresów izoterm sorpcji $a = f(c_k)$ (rysunek 2 i rysunek 3).

3. Analiza wyników badań

W ramach realizowanego tematu przeprowadzono badania dotyczące wpływu pola magnetycznego na skuteczność usuwania żelaza i manganu z modelowych roztworów wymienionych metali. Pomimo szeregu prac doświadczalnych dotyczących skutecznego usuwania żelaza i manganu z wody, (Nowak 2013, Skoczko i in. 2015, Jeż-Walkowiak i in. 2017) nadal istnieje wiele możliwości optymalizacji bądź poprawy skuteczności istniejących procesów. W związku z tym sprawdzono efektywność usuwania żelaza i manganu z wody metodą filtracji wspomaganą polem magnetycznym na piasku kwarcowym i na aktywnym tlenku

glinu. Rozpoczynając eksperymenty w ramach niniejszej pracy wzięto pod uwagę, iż pole magnetyczne jest to stan przestrzeni bądź obszar, w którym na poruszające się ładunki elektryczne, a także na ciała mające moment magnetyczny niezależnie od ich ruchu, działają siły magnetyczne, co może przełożyć się na efektywność usuwania kationów z roztworów wodnych. Działania te mogą przyczynić się do poprawy efektu oczyszczania wody z zawartych w niej ponadnormatywnych stężeń metali. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wyników

Table 1. Summary of the results

[mg/dm ³]	Piasek kwarcowy						
	S [mg/dm ³]	K [mg/dm ³]	M [mg/dm ³]	E [%]	E _{PM} [%]	A [μg/g]	A _{PM} [μg/g]
Fe - 1	0,950	0,099	0,104	89,56	89,03	1,134	1,128
Fe - 2	1,920	0,089	0,099	95,38	94,87	2,442	2,429
Fe - 5	4,890	0,216	0,137	95,58	97,20	6,232	6,338
Fe - 7,5	7,280	0,546	0,407	92,50	94,41	8,979	9,164
Fe - 10	9,450	0,726	0,559	92,32	94,08	11,63	11,854
Mn - 0,1	0,084	0,009	0,011	89,68	86,80	0,101	0,097
Mn - 0,2	0,174	0,012	0,013	92,87	92,25	0,215	0,214
Mn - 0,5	0,464	0,054	0,053	88,27	88,05	0,546	0,548
Mn - 0,75	0,678	0,113	0,095	83,27	86,03	0,753	0,778
Mn - 1	0,893	0,196	0,189	78,08	78,86	0,930	0,939
[mg/dm ³]	Aktywny tlenek glinu						
	S [mg/dm ³]	K [mg/dm ³]	M [mg/dm ³]	E [%]	E _{PM} [%]	A [μg/g]	A _{PM} [μg/g]
Fe - 1	0,95	0,908	0,813	4,42	14,42	0,093	0,304
Fe - 2	1,92	1,537	1,436	19,95	25,21	0,851	1,076
Fe - 5	4,89	3,513	3,259	28,16	33,35	3,060	3,624
Fe - 7,5	7,28	4,970	4,610	31,73	36,68	5,133	5,933
Fe - 10	9,45	5,700	5,503	39,68	41,77	8,333	8,771
Mn - 0,1	0,0841	0,00895	0,0084	89,36	90,06	0,167	0,168
Mn - 0,2	0,174	0,00658	0,0082	96,22	95,30	0,372	0,368
Mn - 0,5	0,4636	0,03457	0,0273	92,54	94,11	0,953	0,970
Mn - 0,75	0,678	0,05556	0,0446	91,81	93,43	1,383	1,408
Mn - 1	0,8934	0,0859	0,0581	90,39	93,50	1,794	1,856

(S) – stężenia Fe i Mn w wodzie przed procesem filtracji, (M) – stężenia Fe i Mn w wodzie prze-filtrowanej poddanej działaniu PM, (K) – stężenia Fe i Mn w próbach kontrolnych, (E) - efektywność kontrolna, (E_{PM}) – efektywność magnetyzowana, (A) – adsorpcja kontrolna, (A_{PM}) – adsorpcja pod wpływem pola magnetycznego

Realizując proces odżelaziania na złożu z piasku kwarcowego stwierdzono, że efektywność usuwania żelaza wzrastała wraz ze zwiększaniem jego początkowego stężenia w roztworze. Przy stężeniu 1 mg/dm^3 efektywność odżelaziania wyniosła około 89% zarówno w przypadku próbki magnetyzowanej jak i kontrolnej, natomiast przy stężeniu 10 mg/dm^3 wzrosła do 94,08% dla wody magnetyzowanej, i 92,32% dla niemagnesowanej. W przypadku wody zanieczyszczonej manganem filtrowanej przez złożę z piasku kwarcowego zaobserwowano, że przy najniższym stężeniu tj. $0,1 \text{ mg/dm}^3$ efektywność odmanganiania w próbkach poddanych działaniu PM wyniosła 86,80%, zaś w próbkach kontrolnych 89,68%. Pozytywny wpływ PM zauważono dopiero przy wyższym stężeniu manganu w próbce surowej tj. $0,75 \text{ mg/dm}^3$. Efektywność usuwania wyniosła wówczas w przypadku próbek PM 86,03%, zaś w próbkach kontrolnych 83,27%. Różnica pomiędzy efektem odmanganiania próbek magnetyzowanych i nie poddawanych działaniu PM kształtowała się na poziomie 2,76%. Przy filtracji wody przez złożę piaskowe efektywność usuwania manganu malała wraz ze wzrostem jego stężenia początkowego. Przy stężeniu manganu 1 mg/dm^3 efekt odmanganiania wyniósł 78% tak w przypadku próbek magnetyzowanych jak i próbek kontrolnych. Wyższą efektywność usuwania manganu osiągnięto w procesie filtracji na aktywnym tlenku glinu. W zależności od początkowego stężenia manganu osiągnięto od 90,06-93,50% w próbkach magnetyzowanych i 89,36-90,39% w próbkach kontrolnych. W przypadku filtracji na aktywnym tlenku glinu efekt odżelaziania i odmanganiania wody wzrastał wraz ze stężeniem początkowym Fe i Mn. Różnica w efektywności na korzyść próbek magnetyzowanych był obserwowana od stężenia początkowego równego 1 mg/dm^3 w przypadku Fe i $0,1 \text{ mg/dm}^3$ w przypadku Mn. Biorąc pod uwagę próbki zawierające żelazo efektywność procesu filtracji na aktywnym tlenku glinu w porównaniu do piasku była początkowo niewielka, wynosiła 14,42% w próbkach magnetyzowanych i 4,42% w próbkach kontrolnych. Natomiast przy końcowym stężeniu żelaza 10 mg/dm^3 w próbkach kontrolnych była równa 39,68%, a w próbkach PM wyniosła 41,77%. Eksperyment polegał na sprawdzaniu efektywności usuwania zwiększających się stężeń Fe i Mn w procesie filtracji na aktywnym tlenku glinu i piasku kwarcowym. Obserwowano różnicę efektywności usuwania tych pierwiastków porównując próby kontrolne i magnetyzowane w seriach rosnących stężeń (p.2), co nie

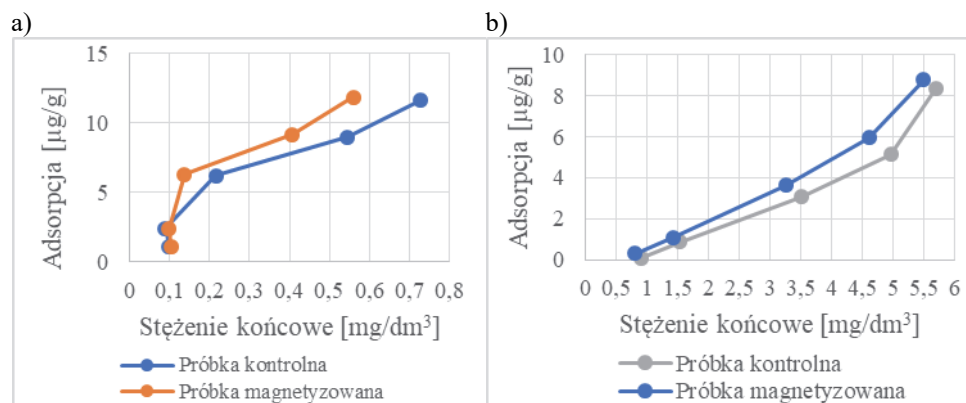
pozwoili na porównanie różnic statystycznych. Umożliwiło zaś określenie stężeń, przy których można wyznaczyć różnicę w efekcie usunięcia Fe czy Mn na badanych złożach filtracyjnych.

Wielkość tych zmian zależała od rodzaju rozpuszczonego elektrolitu oraz czasu działania pola magnetycznego i była związana z wielkością termodynamicznych funkcji hydratacji jonów. Zmiany właściwości wody przekładały się na zmianę interakcji molekularnych pomiędzy cząsteczkami wody a cząsteczkami bądź jonami innych związków. Pole magnetyczne może zatem oddziaływać na sam mechanizm procesu adsorpcji zmieniając fizyko-chemiczne właściwości wody i roztworu wodnego poddawanego temu procesowi. Udowodniono, że złoża filtracyjne zazwyczaj pełnią także funkcję adsorbentu, a więc często równolegle zachodzi proces zarówno filtracji jak i adsorpcji. (Ali Zade i in. 2008, Szczeń i in. 2011) pociągając za sobą zmiany stężeń Fe i Mn podczas procesu adsorpcji składników roztworu na aktywnym tlenku glinu i piasku.

Badania nad oceną wpływu PM na efektywność oczyszczania wody przeprowadzili też słowaccy badacze, którzy obserwowali proces usuwania antymonu (Sb) z wody. Otrzymali pozytywne wyniki związane z wpływem pola magnetycznego na wzrost zdolności adsorpcji GEH (materiał filtracyjny składający się z wodorotlenku żelaza i oksywodorotlenku żelaza) (Ilavský i in. 2015). Inne badania prowadzone były przez zespół Liang, który testował wpływ słabego pola magnetycznego na poprawę usuwania Se (IV) przez ZVI (żelazo metaliczne na O stopniu utlenienia). On też zauważył lepszą efektywność procesu filtracji przy zastosowaniu PM, co mogło być spowodowane siłą Lorentza i siłą gradientu pola magnetycznego. Naukowcy realizujący prace nad wspomaganie procesów oczyszczania wody PM jednogłośnie stwierdzają, iż jest ono obiecującą i przyjazną dla środowiska metodą, ponieważ nie wymaga dodatkowej energii i kosztownych odczynników (Ling i in. 2014).

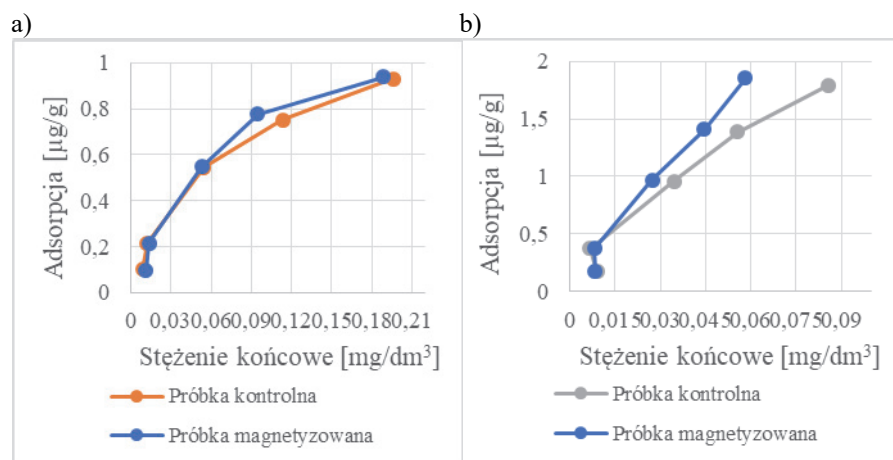
W ramach realizowanego tematu sprawdzono również wartości adsorpcji właściwej zarówno dla piasku jak i tlenku glinu w odniesieniu do pochłaniania obu badanych zanieczyszczeń. Rozpatrując obliczone wartości adsorpcji w przypadku roztworów żelaza filtrowanych przez piasek kwarcowy (tabela 1) stwierdzono jej wzrost wraz ze wzrostem stężenia żelaza w wodzie surowej. Izotermy adsorpcji żelaza w obu próbkach (kontrolnej i magnetyzowanej) na piasku kwarcowym przedstawiono na rysunku 2a. Nieznacznie wyższe wartości uzyskano w przypadku próbki magnetyzowanej. Podobną zależność stwierdzono w przy-

padku izoterm adsorpcji obu próbek żelaza na aktywnym tlenku glinu (rysunek 2b). Wykresy $a = f(c_k)$ w przypadku piasku kwarcowego mają kształt funkcji logarymicznej zaś dla Al_2O_3 liniowej.



Rys. 2. Izoterm adsorpcji żelaza ($a = f(c_k)$): a) adsorpcja w procesie filtracji na piasku, b) adsorpcja na aktywnym tlenku glinu

Fig. 2. Iron adsorption isotherms ($a = f(c_k)$): a) adsorption in the sand filtration process, b) adsorption in activated alumina filtration process



Rys. 3. Izoterm adsorpcji manganu ($a = f(c_k)$): a) adsorpcja w procesie filtracji na piasku, b) adsorpcja na aktywnym tlenku glinu

Fig. 3. Manganese adsorption isotherms ($a = f(c_k)$): a) adsorption in the sand filtration process, b) adsorption in the activated alumina filtration process

Adsorpcja właściwa manganu na piasku i tlenku glinu była niższa w porównaniu do żelaza, czego powodem są niższe stężenia początkowe manganu w próbkach wody surowej. Spostrzeżono podobne tendencje jak w próbkach Fe, co do zmian wartości adsorpcji Mn w przypadku próbek magnetyzowanych i kontrolnych (rysunek 3a i 3b). Izotermy adsorpcji Mn z próbek magnetyzowanych i kontrolnych na piasku i na aktywnym tlenku glinu były podobne i miały kształt funkcji logarytmicznej. Sugeruje to, iż zdolność sorpcyjna aktywnego tlenku glinu byłaby wyższa w przypadku wyższych stężeń początkowych badanych pierwiastków. Eksperymenty nad zastosowaniem pola magnetycznego prowadziła również grupa badawcza Juliana Ferreira de Brito (Ferreira de Brito i in. 2012), która sprawdzała możliwości usuwania błękitu metylenowego i fenolu metodą adsorpcji na węglu aktywnym dodatkowo przykładając PM o indukcji równej 40 mT. Wyniki ich badań doświadczalnych dowiodły, że PM wpłynęło na zwiększenie efektywności adsorpcji w przypadku błękitu metylenowego jak i fenolu. Przeprowadzone badania w ramach niniejszej pracy jak i cytowane dane literaturowe potwierdzają, iż skutkiem magnesowania wody są zmiany jej właściwości, które przekładają się na zmianę interakcji molekularnych pomiędzy cząsteczkami wody, a cząsteczkami bądź jonami innych związków. Pole magnetyczne może także oddziaływać na sam mechanizm procesu adsorpcji zmieniając fizyko-chemiczne właściwości wody i roztworu wodnego poddawanego temu procesowi. Wskazane przemiany są związane z tym, iż woda jest dipolem i posiada nierównomierny rozkład ładunku elektrycznego w cząsteczce, zaś pole magnetyczne może uporządkować molekuly, co dalej skutkuje zmianą jej właściwości. Analizując powyższe informacje, można stwierdzić, że pod wpływem PM zwiększa się efektywność sorpcji fizycznej w procesie filtracji na obu materiałach. Jednakże w procesie filtracji przez aktywny tlenek glinu PM wpływa też na chemiczne strącanie powstałych wodorotlenków bądź kompleksów. Jak wspomniano wcześniej, zmiany właściwości wody przekładały się na zmianę oddziaływania pomiędzy cząsteczkami wody a cząsteczkami badanych zanieczyszczeń. PM jest szczególnym rodzajem oddziaływania, zachodzącym na odległość, powiązaniem z obecnością naładowanych cząstek tzn. kationów Fe i Mn obecnych w wodzie. W efekcie zwiększa się powinowactwo badanych jonów do stałych złóż filtracyjnych. Zjawisko to jest bardziej widoczne dla tlenku glinu, który jest materiałem amfoterycznym, podczas gdy piasek kwarcowy – neutral-

nym i nie reagującym na uporządkowanie ładunków elektrycznych. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów stwierdzono, że PM oddziałuje na wzrost efektywności procesu filtracji na aktywnym tlenku glinu i piasku kwarcowym. Wyraźniejszy wpływ był zaobserwowany w przypadku filtracji na Al_2O_3 . Stosowanie PM jako procesu wspomagającego poprawę jakości wody może w przyszłości zastąpić metody chemiczne, ponieważ nie zmienia składu chemicznego wody, nie zanieczyszcza środowiska. W efekcie pozostają nie zmienione właściwości organoleptyczne wody oraz z wody nie zostają usunięte cenne dla zdrowia człowieka jony magnezu. Inne zalety zastosowania pola magnetycznego jako jednostkowego procesu w instalacjach i systemach wodnych to: łatwość zastosowania, niewielkie koszty związane z obsługą urządzenia, metoda nie wymaga użycia chemikaliów i energii, stosowanie może odbywać się bez nadzoru technicznego (Kołęcka 2005).

4. Wnioski

1. Efektywność usuwania Fe w procesie filtracji pod wpływem PM na piasku kwarcowym w zależności od stężenia początkowego wynosiła od 89,03% do 97,20%, zaś w próbkach kontrolnych odnotowano niższe wartości o około 0,1-2,5%.
2. W procesie filtracji na aktywnym tlenku glinu zaobserwowano efekt usuwania żelaza pod wpływem PM w zależności od stężenia początkowego od 14,42% do 41,77% zaś w próbkach kontrolnych efektywność była znacznie niższa i wynosiła od 4,42% do 39,68%.
3. Efekt usunięcia Mn w procesie filtracji na piasku kwarcowym pod wpływem PM w zależności od testowanego stężenia początkowego wynosił od 78,86% do 92,25%, natomiast w próbkach bez wpływu pola magnetycznego efektywność była niższa o około 0,5-2,2%. Efekt zastosowania PM w tym przypadku był wyraźny przy dwóch najwyższych testowanych stężeniach manganu, tj. 0,678 i 0,893.
4. W procesie filtracji na aktywnym tlenku glinu pod wpływem PM efektywność usuwania Mn wynosiła od 89,36% do 96,2%, zaś w próbkach kontrolnych była niższa w każdym z badanych stężeń Mn o około 0,1-1,5%.
5. Adsorpcja właściwa Fe jak i Mn wzrastała wraz ze wzrostem stężenia początkowego w próbkach modelowych poddanych działaniu PM jak

i kontrolnych w procesie filtracji na Al_2O_3 . Efekt ten zaobserwowano także w przypadku filtracji na piasku.

6. Wpływ pola magnetycznego na wzrost efektywności usuwania związków żelaza z wody zaobserwowano w procesie filtracji na aktywnym tlenku glinu przy stężeniu początkowym Fe wyższym niż 5 mg/dm^3 natomiast w przypadku usuwania Mn przy stężeniu początkowym wyższym niż $0,75 \text{ mg/dm}^3$.
7. Przyczyną większego wpływu PM na efektywność usuwania Fe i Mn na aktywnym tlenku glinu są jego właściwości amfoteryczne, w porównaniu do piasku kwarcowego, który jest neutralnym materiałem filtracyjnym.

*Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr S/WBiŚ/3/2014
i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW*

Literatura

- Ali Zade, P., Ustun, O., Vardarli, F., Sobolev, K. (2008). Development of an electromagnetic hydrocyclone separator for purification of wastewater. *Water and Environment Journal*, 22(1), 11-16.
- Anielak A.M., Arendacz M. (2007). Iron and manganese removal effects using zeolites, *Rocznik Ochrona Środowiska*, 9, 9-18.
- Baca E. (1999). Wpływ składu chemicznego wody na proces produkcji i jakość piwa. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 1, 35-38.
- Ferreira De Brito, J., De Oliveira Ferreira, L., Ragozoni Pereira, M. C., Paulo Da Silva, J., Ramalho, T.C. (2012). Adsorption of aromatic compounds under magnetic field influence. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(6), 3545-3551.
- Higashitani K., Oshitani J. (1997). Measurements of Magnetic Effects on Electrolyte Solutions by Atomic Force Microscope, *Process Safety and Environmental Protection*, 75(2), 115-119.
- Ilavský J., Barloková D., Munka K. (2015). The Use of Iron-Based Sorption Materials and Magnetic Fields for the Removal of Antimony from Water. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(5), 1983-1992.
- Jeż-Walkowiak J., Dymaczewski Z., Sozański M. (2011). Parametry technologiczne procesu filtracji pospiesznej wód podziemnych przez złoża oksydacyjne i chemicznie nieaktywne. *Inżynieria Ekologiczna*, 26, 112-121.
- Jeż-Walkowiak J., Dymaczewski Z., Szuster-Janiaczyk A. Nowicka A. B., Szybowicz M. (2017). Efficiency of Mn Removal of Different Filtration Materials for Groundwater Treatment Linking Chemical and Physical Properties. *Water*, 9(7), 1-12.

- Jeż-Walkowiak J., Dymaczewski Z., Weber Ł. (2015). Iron and manganese removal from groundwater by filtration through a chalcedonite bed. *Journal of Water Supply: Research and Technology*, 6(41), 19-34.
- Kaleta J., Papciak D., Puzskarewicz A. (2009). Naturalne i modyfikowane minerały w uzdatnianiu wód podziemnych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 25, 51-63.
- Kisło A., Skoczko I. (2017). Porównanie skuteczności odmanganiania wody na wybranych złożach porowatych. *Inżynieria Ekologiczna*, 18(4), 13-19.
- Kolecka K. (2005). Wpływ magnetyzerów na właściwości wody oraz możliwości ich zastosowania. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2, 17-20.
- Liang L.P., Sun W., Guan X.H., Huang Y.Y., Choi W.Y., Bao H.L., Jiang Z. (2014). Weak magnetic field significantly enhances selenite removal kinetics by zero valent iron. *Water Research*, 49, 371-380.
- Nowak R. (2013). Wpływ wybranych składników uzdatnianej wody na skuteczność jej odmanganiania w obecności mas aktywnych. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15, 714-728.
- Piekarski J., Piecuch T., Malatyńska G. (2014). Filtracja z tworzeniem osadu ściśliwego na złożu bez kolmatacji. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 30(3), 83-98.
- Postawa A., Jeż-Walkowiak J., Pruss A., Wątor K. (2011). Arsen w wodach podziemnych okolic Lublina. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 445, 495-504.
- Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. 2017 poz. 2294).
- Skoczko I., Piekutin J., Roszczenko A. (2015a). Usuwanie z wody związków żelaza i manganu. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 17, 1587-1608.
- Skoczko I., Piekutin J., Ignatowicz K. (2015b). Efficiency of manganese removal from water in selected filter beds. *Desalination and Water Treatment*, 57(3), 1611-1619.
- Szatyłowicz E., Skoczko I. (2016). Możliwości wykorzystania aktywowanego tlenku glinu jako adsorbentu w uzdatnianiu wody. *Inżynieria Środowiska – Młodym Okiem pod red. Iwony Skoczko, Janiny Piekutin, Ewy Szatyłowicz, Wody powierzchniowe i podziemne*, 20, 292-309.
- Szcześ A., Chibowski E., Hołysz L., Rafalski P. (2011). Effects of static magnetic field on electrolyte solutions under kinetic condition. *The Journal of Physical Chemistry A*, 115(21), 5449-5452.
- Wang S, Peng Y. (2010). Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 156, 11-24.

Removal of Iron and Manganese Compounds in the Filtration Process Assisted by a Magnetic Field on Sand and Activated Alumina

Abstract

Currently, when considering the technologies used in water treatment, there is a tendency to replace processes requiring reactors and controlled chemical reactions for filtration processes (Skoczko et al., 2015a, Jeż-Walkowiak et al., 2017). In the literature there are studies on the process manganese and iron removal from the water in various commercially available filter. However, there are no studies on the magnetic field effect on the efficiency of these processes. The aim of the research was to analyze and evaluate the filtration efficiency of activated alumina and quartz sand assisted magnetic field. The effectiveness of manganese and iron removal on sand and activated alumina under the influence of magnetic field as a supporting process has been compared. It has been shown that activated alumina is more effective in removing iron and manganese from water compared to quartz sand. There was proved impact of the magnetic field on the efficiency improvement of Fe and Mn removal only on activated alumina.

Streszczenie

Obecnie przy rozpatrywaniu zastosowanych technologii w uzdatnianiu wody panuje tendencja zastępowania procesów wymagających reaktorów i kontrolowanych reakcji chemicznych na rzecz procesów filtracji (Skoczko i in. 2015a; Jeż-Walkowiak i in. 2017). W literaturze dostępne są badania procesu odmanganiania i odżelaziania wody na różnych złożach filtracyjnych dostępnych na rynku. Jednak brak jest badań dotyczących wpływu pola magnetycznego na efektywność wymienionych procesów. Celem prowadzonych badań była analiza i ocena efektywności filtracji na aktywnym tlenku glinu i piasku kwarcowym wspomaganą polem magnetycznym. Porównano skuteczność odmanganiania i odżelaziania wody na złożu piaskowym i aktywnym tlenku glinu pod wpływem pola magnetycznego jako procesu wspomagającego. Udowodniono, że efektywniejszym złożem filtracyjnym do usuwania związków żelaza i manganu z wody jest aktywny tlenek glinu w porównaniu do piasku kwarcowego. Stwierdzono nieznaczny wpływ pola magnetycznego na poprawę efektywności usuwania Fe i Mn jedynie na aktywnym tlenku glinu.

Słowa kluczowe:

aktywny tlenek glinu, sprawność filtracji, jakość wody

Keywords:

activated alumina, filtration efficiency, water quality