

Janusz ŁOMOTOWSKI, Paweł WIERCIK

*Institut Inżynierii Środowiska
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA CHLOROSIARCZANU ŻELAZA(III) W PROCESIE OCZYSZCZANIA POPŁUCZYN

USE OF IRON(III) CHLORIDE SULFATE IN THE TREATMENT PROCESS OF FILTER BACKWASH WATER

In this paper the results of the research on treatment of filter backwash water (FBW), originating from the groundwater treatment plant (GWTP) in Wasserwerk Langenberg, by means of iron(III) chloride sulfate and aeration of FBW were presented. The research was conducted in semi-technical scale in order to determine the optimal dose of iron(III) chloride sulfate. Simultaneously the influence of periodical aeration of FBW on the improvement of suspension sedimentation was researched. The samples were taken from decanted FBW after 1, 3, 10, 24 and 48 hours of sedimentation to determine the iron and manganese concentration, turbidity and pH value. The best results were achieved when coagulation at doses of 8 and 16 mg FeClSO₄/l with simultaneous aeration of FBW was applied. The dose of 8 mg FeClSO₄/l was regarded as optimal.

1. Wprowadzenie

Popłuczyny są odpadem powstającym podczas eksploatacji (płukania) filtrów na stacjach uzdatniania wód (SUW). W przypadku dużych stacji uzdatniania wód ich ilość może wynosić od kilku do kilkunastu tysięcy m³ na dobę. Zużycie wody na płukanie filtrów nie powinno przekraczać 5% ilości wody uzdatnionej. Wyższe ilości świadczą na ogół o słabej pracy filtrów [4, 5, 7, 8].

Skład chemiczny popłuczyn powstających w procesie uzdatniania wody zależy od rodzaju i jakości uzdatnianej wody (podziemnej, infiltracyjnej lub powierzchniowej), rodzaju i dawki zastosowanych reagentów, rodzaju i sprawności zainstalowanych urządzeń do uzdatniania wody oraz parametrów eksploatacyjnych tych urządzeń (sposoby czyszczenia osadników, długość cykli filtracyjnych, sposób i intensywność płukania filtrów).

Popłuczyny z oczyszczania wód podziemnych charakteryzują się na ogół jednorodnym, stabilnym składem chemicznym, w którym przeważają związki żelaza i manganu. Związki te podczas płukania zostają uwalniane ze złoża filtracyjnego, w którym uległy

unieruchomieniu głównie na drodze sorpcji. W zależności od szybkości procesu filtracji oraz sposobu prowadzenia napowietrzania (ciśnieniowe, otwarte) w złożu filtracyjnym żelazo oraz mangan mogą występować w postaci związków żelaza na II i III stopniu utlenienia oraz manganu na II, III i IV stopniu utlenienia [10]. Bardzo rzadko popłuczyny z oczyszczania wód podziemnych skażone są mikrobiologicznie ze względu na zazwyczaj wysoką jakość i stabilny skład wód podziemnych.

Powszechną metodą zagospodarowania popłuczyn i osadów z oczyszczania wód podziemnych jest odprowadzanie do odstożników popłuczyn, bądź osadników ziemnych oraz stawów ściekowych. Po okresie przetrzymania popłuczyn w odstożnikach, na ogół nie dłuższym niż 24h, wody nadosadowe odprowadzane są do kolejnych obiektów oczyszczania (stawy ściekowe) lub kanalizacji. W przypadku niespełnienia wymogów jakościowych konieczne jest zastosowanie dodatkowych rozwiązań, mających na celu poprawę jakości, jak np. kondycjonowania chemicznego czy procesów membranowych [1, 2, 3, 6, 11, 13].

Przeprowadzone przez autorów badania nad oczyszczaniem popłuczyn na stacji uzdatniania wody podziemnej w Trzebnicy wykazały, że okresowe napowietrzanie popłuczyn przyspieszyło ich klarowanie i wytrącanie związków żelaza i manganu. Po jednej godzinie napowietrzania i dwóch godzinach sedymentacji popłuczyn osiągnięto podobne efekty oczyszczania jak w próbie kontrolnej po 24 godzinach sedymentacji [10]. Wyniki tego eksperymentu przyczyniły się do podjęcia próby oczyszczania popłuczyn na SUW Wasserwerk Langenberg nie tylko z wykorzystaniem do tego celu koagulantu chlorosiarczanu żelaza(III), ale także procesu napowietrzania.

W Polsce popłuczyny, powstające na stacjach uzdatniania wód podziemnych na cele komunalne, po oczyszczeniu są odprowadzane do systemów kanalizacji lub do wód powierzchniowych. Ścieki odprowadzane do kanalizacji powinny spełniać wymagania, jakie są określone w *Rozporządzeniu Ministra Budownictwa z dnia 14 lipca 2006 r. w sprawie sposobu realizacji obowiązków dostawców ścieków przemysłowych oraz warunków wprowadzania ścieków do urzędzeń kanalizacyjnych* (Dz.U. 2006 nr 136 poz. 964). W przypadku odprowadzania oczyszczonych popłuczyn do kanalizacji sanitarnej w Polsce nie określa się dopuszczalnej zawartości żelaza rozpuszczonego, natomiast normuje się zawartość zawiesin łatwo opadających, która nie powinna być większa od 10 ml/l. Takie podejście wynika z praktycznych doświadczeń prowadzonych na czynnych systemach kanalizacji sanitarnych. Odprowadzane do kanalizacji popłuczyny, zawierające rozpuszczone lub pozostające w formie zawiesin koloidalnych związki żelaza, przyczyniają się do zmniejszenia powstawania siarkowodoru w systemie kanalizacji, jak również wpływają na zwiększenie skuteczności usuwania fosforu ze ścieków [9]. Problem powstawania siarkowodoru w systemach kanalizacyjnych jest szeroko opisany w pracy pod redakcją Weismanna i Lohse [12].

W przypadku odprowadzania popłuczyn do wód powierzchniowych w Polsce muszą one spełniać wymagania określone w *Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego* (Dz.U. 2006 nr 137 poz. 984, z późn. zm.). W tym wypadku odczyn popłuczyn musi się mieścić w przedziale od 6,5-9,0 pH, ilość zawiesiny ogólnej nie może być większa od 35 mg/l, zawiesin łatwo opadających nie może być więcej niż 0,5 ml/l, stężenie żelaza nie może przekraczać 10 mg Fe/l, BZT₅ powinno być niższe od 25 mg O₂/l a ChZT od 125 mg O₂/l.

W Polsce popłuczyny są oczyszczane głównie na drodze sedymentacji w odstojnikach. W Niemczech popłuczyny oczyszcza się stosując proces koagulacji z zastosowaniem soli żelaza(III) jako koagulantu.

W pracy przedstawiono wyniki prac badawczych przeprowadzonych w skali półtechnicznej nad oczyszczaniem popłuczyn na SUW Wasserwerk Langenberg w celu określenia dawki chlorosiarczanu żelaza(III) oraz wpływu napowietrzania na skuteczność procesu koagulacji. W Polsce chlorosiarczan żelaza(III) jest rozprowadzany pod nazwą handlową PIX 110.

Przy dozowaniu 1 mg FeClSO_4 /l w przeliczeniu na czysty produkt teoretycznie następuje spadek zasadowości o 0,79 mg CaCO_3 /l. Obniżenie zasadowości wody poniżej 50 mg CaCO_3 /l skutkuje spowolnieniem szybkości dysocjacji koagulantu, spadkiem odczynu wody oraz spowolnieniem procesu flokulacji.

2. Charakterystyka obiektu i metodyka badań

Stacja uzdatniania wód podziemnych Wasserwerk Langenberg jest jedną z trzech stacji uzdatniania wód należących do Przedsiębiorstwa Wodociągowego Trinkwasserverband Verden (płn.-zach. Niemcy). Produkuje około 6480 m³ wody/d (dane za 2009 rok), która uzdatniana jest w następujący sposób: napowietrzanie ciśnieniowe, następnie zbiornik reakcji, potem 3 otwarte, wielowarstwowe, żwirowe filtry do odżelaziania, 3 otwarte, jednowarstwowe, żwirowe filtry do odmanganiania i na koniec zbiornik wody czystej po korekcie pH zasadą sodową. Płukanie filtrów prowadzone jest co kilka dni (odżelaziacze) oraz co 3-4 tygodnie (odmanganiacze) i odbywa się przy zastosowaniu wzruszenia złoża wodą, płukania powietrzem i na koniec płukania właściwego wodą uzdatnioną. Po zakończeniu płukania przez kilka minut następuje spust pierwszego filtratu. Zużyta na płukanie ilość wody wynosi około 145 m³/d (dane za 2009 rok), co stanowi 2,19% dobowej produkcji wody.

W związku z wygaśnięciem pozwolenia na funkcjonowanie osadnika ziemnego, podjęto decyzję o modernizacji obiektów do oczyszczania popłuczyn i zastosowaniu koagulantu chlorosiarczanu żelaza(III) w celu poprawy sedymentacji zawiesin. Popłuczyny z dodatkiem koagulantu trafiają do dwóch odstojników popłuczyn, z których wody nadosadowe są kierowane do 2 stawów ściekowych. Eksperyment prowadzono równocześnie w czterech 200-litrowych zbiornikach. Próby popłuczyn pobierano w trakcie wzruszania złoża odżelaziacza wodą ze studzienki rewizyjnej przy pomocy pompy głębinowej i szlauchu. Po napełnieniu zbiorników popłuczynami rozpoczynano proces napowietrzania przez 1 godzinę w zbiornikach numer 2 i 4, na dnie których umieszczone były dyfuzory rurowe. Zbiornik 1 był próbą kontrolną, gdzie popłuczyny podlegały procesowi sedymentacji, a w zbiorniku 3 do popłuczyn dodawano jedynie koagulant. Wygląd stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 1.

Sposób prowadzenia eksperymentów, a także wielkości dawek koagulantu dozowanego do poszczególnych zbiorników przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 1. Stanowisko badawcze na SUW Wasserwerk Langenberg

Fig. 1. Experimental stand in Wasserwerk Langenberg GWTP

Tab. 1. Program badań nad oczyszczaniem popłuczyn

Tab. 1. Plan of research on the treatment of filter backwash water

Numer próby	Numer zbiornika			
	1	2	3	4
Pierwsza seria badań (zbiornik 2 z dodatkową warstwą osadu, zbiornik 4 bez osadu)				
1	-	1h n. + 8 mg FeClSO ₄ /l	8 mg FeClSO ₄ /l	1h n. + 8 mg FeClSO ₄ /l
2	-	1h n. + 16 mg FeClSO ₄ /l	16 mg FeClSO ₄ /l	1h n. + 16 mg FeClSO ₄ /l
3	-	1h n. + 24 mg FeClSO ₄ /l	24 mg FeClSO ₄ /l	1h n. + 24 mg FeClSO ₄ /l
4	-	1h n. + 32 mg FeClSO ₄ /l	32 mg FeClSO ₄ /l	1h n. + 32 mg FeClSO ₄ /l
5	-	1h n. + 40 mg FeClSO ₄ /l	40 mg FeClSO ₄ /l	1h n. + 40 mg FeClSO ₄ /l
Dругa seria badań (zbiorniki 2 i 4 z dodatkową warstwą osadu)				
6	-	1h n. + 4 mg FeClSO ₄ /l	4 mg FeClSO ₄ /l	1h n.
7	-	1h n. + 8 mg FeClSO ₄ /l	8 mg FeClSO ₄ /l	1h n.
8	-	1h n. + 12 mg FeClSO ₄ /l	12 mg FeClSO ₄ /l	1h n.
9	-	1h n. + 16 mg FeClSO ₄ /l	16 mg FeClSO ₄ /l	1h n.
10	-	1h n. + 20 mg FeClSO ₄ /l	20 mg FeClSO ₄ /l	1h n.

Skrót 1h n. oznacza napowietrzanie przez okres 1 godziny po wypełnieniu zbiornika popłuczynami.

W ustalonych odstępach czasu (po 1, 3, 10, 24, 48h) pobierano próbki ze zdekantowanych popłuczyn i poddawano je analizie chemicznej (zawartość żelaza, manganu, oznaczenie mętności oraz wartości pH). Stężenie żelaza badane było na multikolorymetrze o symbolu HI 83200 firmy Hanna Instruments. Mętność oznaczana była na mętnościomierzu PCE-TUM 20 firmy PCE Deutschland GmbH. Zawartość manganu określana była metodą kolorymetryczną. Przy opróżnianiu zbiorników w celu pobrania kolejnej partii popłuczyn, na dnie zbiornika 2 (pierwsza seria badań) oraz zbiornika 2 i 4 (druga seria badań) pozostawiano około 20 cm warstwę osadu, który miał pełnić funkcję flokulanta po uruchomieniu procesu napowietrzania. W drugim eksperymencie dawki koagulantu zostały zmniejszone, a w zbiorniku 4 prowadzono jedynie proces napowietrzania popłuczyn bez jednoczesnego dodatku koagulantu (tabela 1). Nie kontrolowano ilości powietrza wprowadzanego w czasie napowietrzania popłuczyn.

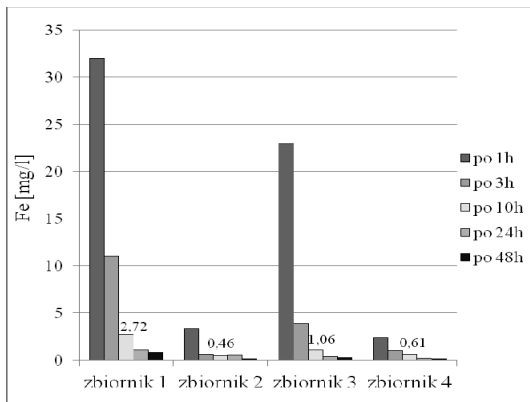
3. Wyniki badań

Na rysunku 2 przedstawiono zmiany stężenia żelaza w popłuczynach (pierwsza seria badań) przy dawkach 8, 24 i 40 mg chlorosiarczanu żelaza(III)/l z zaznaczeniem na wykresach zawartości żelaza po 10h sedymentacji popłuczyn. Zazwyczaj po tym okresie spełnione były wymagania jakościowe dla tego parametru (graniczna wartość stężenia żelaza zawarta w pozwoleniu wynosi 2 mg/l) we wszystkich zbiornikach za wyjątkiem próby kontrolnej. Wraz ze wzrostem dawki chlorosiarczanu żelaza(III) pogarszał się efekt oczyszczania popłuczyn we wszystkich próbkach. Wyższe efekty oczyszczania popłuczyn osiągnięte zostały w zbiornikach, w których zastosowano proces okresowego napowietrzania. Obecność osadu na dnie drugiego zbiornika nie przyczyniła się do znaczącej poprawy jakości wód nadosadowych, co widoczne było przy wyższych dawkach koagulantu. Przy dawce 40 mg FeClSO_4/l we wszystkich próbkach po 10h sedymentacji wartość graniczna żelaza w popłuczynach, wynosząca 2 mg Fe/l, była nieznacznie przekroczona. Wraz ze wzrostem dawki chlorosiarczanu żelaza(III) następował spadek odczynu. Najwyższy notowano w zbiorniku trzecim (rys. 3). W próbie kontrolnej wartość odczynu w trakcie prowadzenia eksperymentu wahała się od 6,8 do 7,0 pH. Podobne wartości określono w zbiorniku 2 i 4 przy dawkach 8 i 16 mg FeClSO_4/l , ale przy dawce 24 mg FeClSO_4/l nastąpił gwałtowny spadek pH w tych zbiornikach (rys. 4). Nie wpłynęło to jednak znacząco na usuwanie manganu, którego stężenie przy dawkach koagulantu $\leq 24 \text{ mg/l}$ było porównywalne we wszystkich próbkach pobieranych w kolejnych odstępach czasu. Natomiast przy dawkach chlorosiarczanu żelaza(III) wynoszących 32 mg/l i 40 mg/l w zbiorniku 2 nastąpiło pogorszenie jakości popłuczyn w stosunku do próbek pobieranych z pozostałych zbiorników. Było to następstwem uruchomienia zasorbowanych w zawieszynie osadu związków manganu w wyniku zbyt dużego zakwaszenia. Jednak po 2 dobach sedymentacji stężenie manganu we wszystkich próbkach było porównywalne.

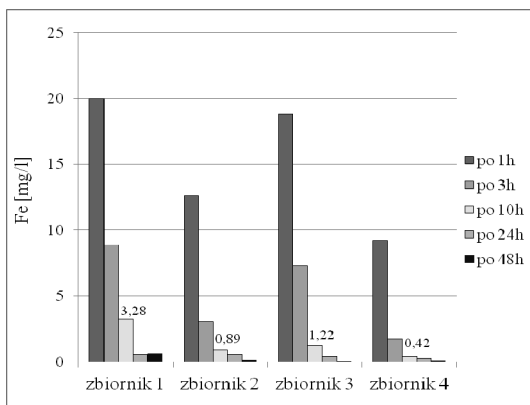
Wprowadzenie do popłuczyn zbyt dużej ilości chlorosiarczanu żelaza(III) powodowało wzrost mętności (rysunki 5 i 6). Przy dawkach $\leq 24 \text{ mg FeClSO}_4/\text{l}$ w zbiornikach 2 i 4 oznaczano najniższą mętność, która po 10h sedymentacji była praktycznie taka sama jak w zbiorniku 3.

Największą mętność oznaczano w próbie kontrolnej. W dawkach $> 24 \text{ mg FeClSO}_4/\text{l}$ następowało pogorszenie jakości popłuczyn w zbiorniku 2, a oznaczana mętność była porównywalna do mętności popłuczyn ze zbiornika 3 już od pierwszego pomiaru po 1h sedymentacji. Najlepsze efekty usuwania mętności osiągnięto w zbiorniku 4, gdzie nie pozostawiano osadu na dnie zbiornika, a popłuczyny napowietrzano.

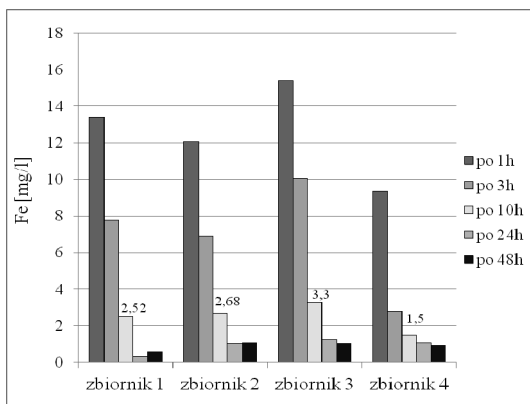
a) zawartość żelaza w świeżej próbie popłuczyn: 151 mg Fe/l



b) zawartość żelaza w świeżej próbie popłuczyn: 256 mg Fe/l

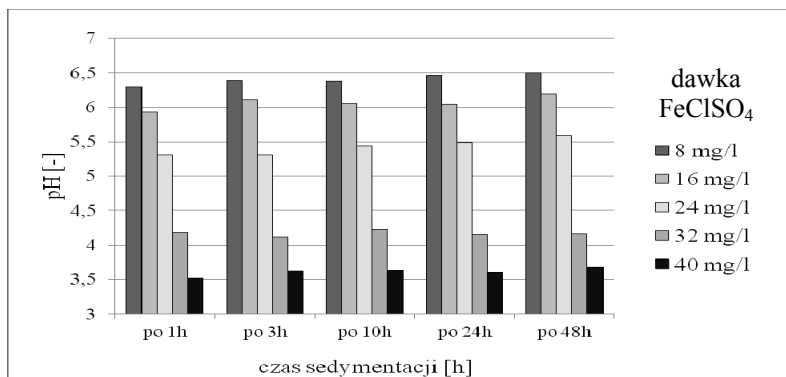


c) zawartość żelaza w świeżej próbie popłuczyn: 183 mg Fe/l



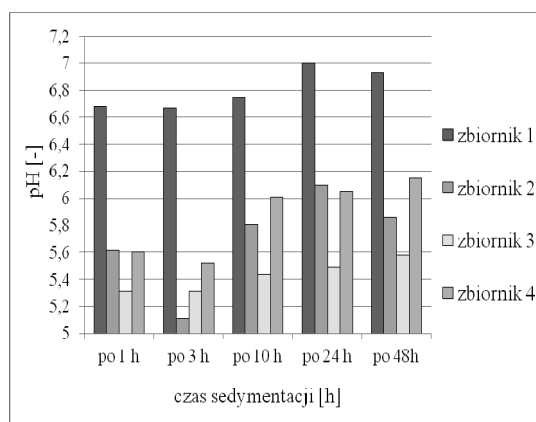
Rys. 2. Zmiany stężenia żelaza w popłuczynach po koagulacji chlorosiarczanem żelaza(III) w dawkach: a) 8 mg/l, b) 24 mg/l, c) 40 mg/l

Fig. 2. Changes in FBW iron concentration after iron(III) chloride sulfate coagulation at the doses of: a) 8 mg/l, b) 24 mg/l, c) 40 mg/l



Rys. 3. Zmiany odczynu popłuczyn w zbiorniku trzecim

Fig. 3. Changes of pH value in FBW in the third tank

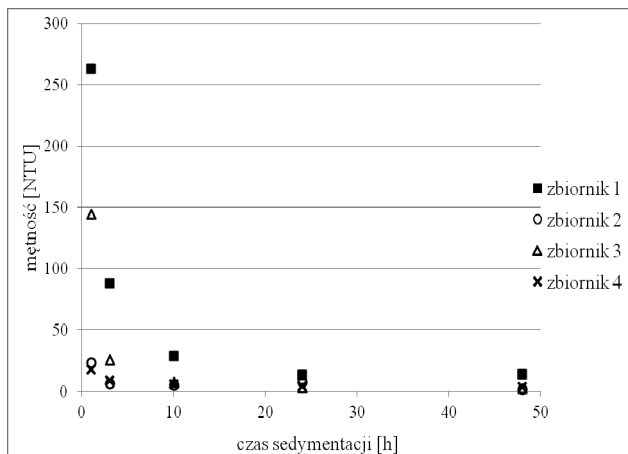


Rys. 4. Zmiany odczynu popłuczyn przy dawce koagulantu równej 24 mg FeCl3O4/l

Fig. 4. Changes of pH value in FBW at the dose of coagulant equal to 24 mg FeCl3O4/l

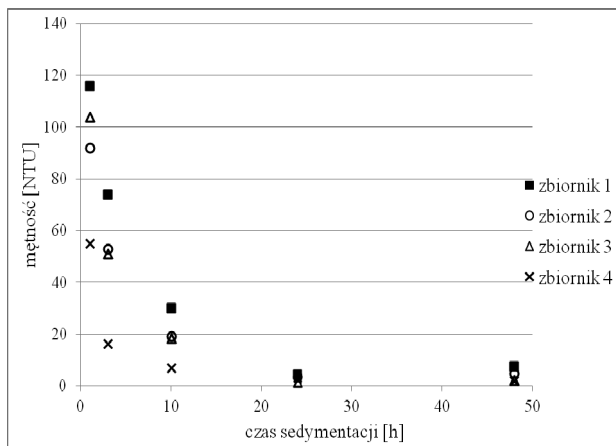
W związku ze znacznym spadkiem odczynu poniżej wartości 5,5 pH przy dawce koagulantu równej 24 mg/l (pierwsza seria badań), zdecydowano na zmniejszenie dawek chlorosiarczanu żelaza(III). Ponieważ obecność osadu w zbiorniku 2 negatywnie wpływała na oczyszczanie popłuczyn, postanowiono sprawdzić jego oddziaływanie na oczyszczanie popłuczyn podczas ich napowietrzania bez stosowania koagulantu.

Podobnie jak w pierwszej serii badań po 10h sedymentacji popłuczyn osiągnęto graniczną wartość dla stężenia żelaza (rys. 7) w zbiornikach z dozowaniem chlorosiarczanu żelaza(III). Najgorszy efekt oczyszczania uzyskano w zbiorniku 4, w którym pozostawiano warstwę osadu na dnie, zarówno pod względem stężenia żelaza, jak i oznaczanej mętności (rys. 8). Wzrost dawek koagulantu powodował wzrost mętności popłuczyn.



Rys. 5. Zmiany mętności popłuczyn w dawce koagulanta równej 8 mg FeClSO₄/l

Fig. 5. Changes of turbidity in FBW at the dose of coagulant equal to 8 mg FeClSO₄/l

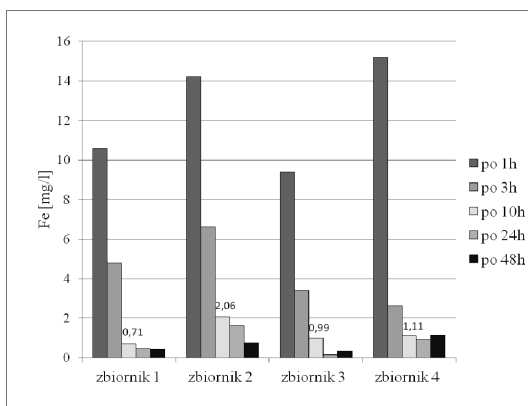


Rys. 6. Zmiany mętności popłuczyn w dawce koagulanta równej 40 mg FeClSO₄/l

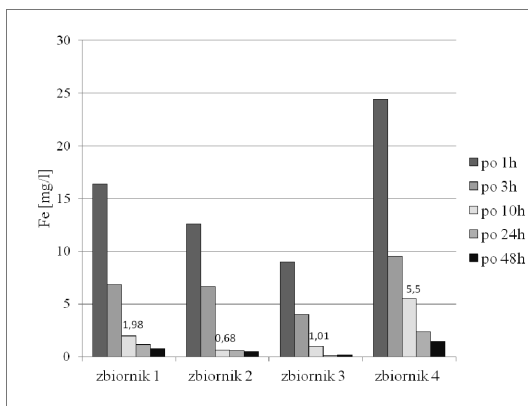
Fig. 6. Changes of turbidity in FBW at the dose of coagulant equal to 40 mg FeClSO₄/l

W zbiorniku 2 notowano niższą mętność popłuczyn po 1 i 3h sedymentacji wraz ze wzrostem dawek koagulanta, ale odwrotny efekt następował już po 10h sedymentacji. Najwyższy odczyn określono w zbiorniku 4, ze względu na prowadzenie procesu napowietrzania popłuczyn (około 7 pH), a nieznacznie niższy w próbie kontrolnej. W pozostałych zbiornikach wraz ze wzrostem dawki chlorosiarczanu żelaza(III) następował spadek pH, podobnie jak w pierwszej serii badań.

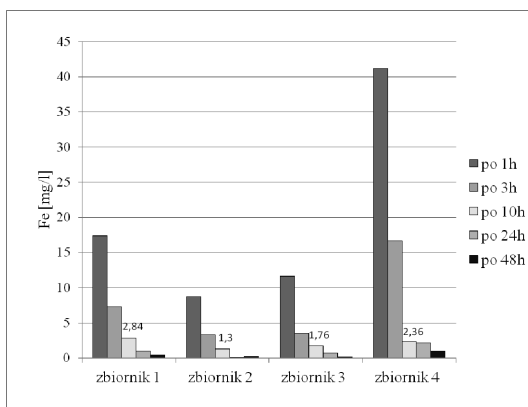
a) zawartość żelaza w świeżej próbce popłuczyn
183 mg Fe/l



b) zawartość żelaza w świeżej próbce popłuczyn: 209 mg Fe/l



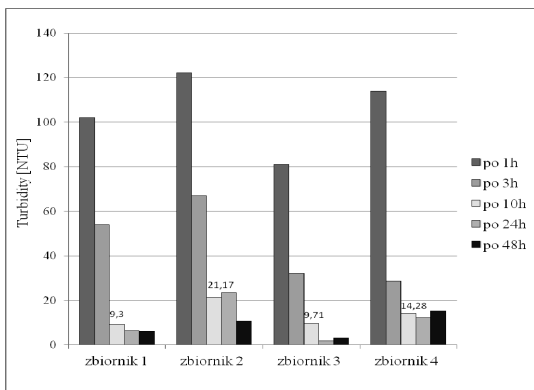
c) zawartość żelaza w świeżej próbce popłuczyn: 209 mg Fe/l



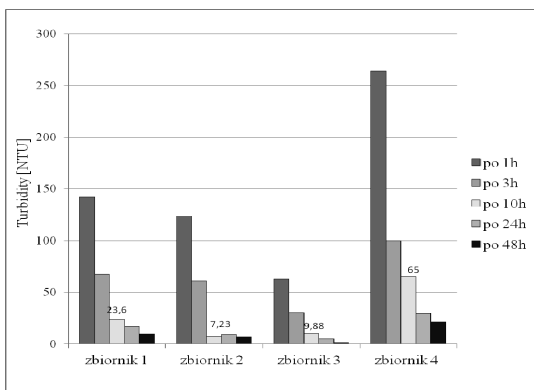
Rys. 7. Zmiany stężenia żelaza w popłuczynach po koagulacji chlorosiarczanem żelaza(III) w dawkach: a) 4 mg/l, b) 12 mg/l, c) 20 mg/l

Fig. 7. Changes in iron concentration in FBW after iron(III) chloride sulfate coagulation at the doses of: a) 4 mg/l, b) 12 mg/l, c) 20 mg/l

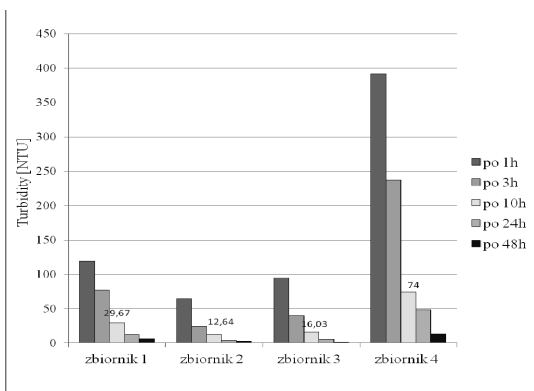
a) mętność świeżych popłuczyn: 832 NTU



b) mętność świeżych popłuczyn: 934 NTU



c) mętność świeżych popłuczyn: 879 NTU



Rys. 8. Zmiany mętności popłuczyn po koagulacji chlorosiarczanem żelaza(III) w dawkach: a) 4 mg/l, b) 12 mg /l, c) 20 mg/l

Fig. 8. Changes of turbidity in FBW after iron(III) chloride sulfate coagulation at the doses of: a) 4 mg /l, b) 12 mg /l, c) 20 mg /l

Napowietrzanie popłuczyn przy jednoczesnym pozostawianiu warstwy osadu na dnie zbiornika nie przyczyniło się do poprawy ich jakości. Obecność osadu nie wpływała na ilość żelaza(II) w popłuczynach. W związku z tym podczas napowietrzania popłuczyn nie zachodził proces utleniania żelaza z wytwarzaniem kłaczków i ich współstrącania z zawartymi w popłuczynach zanieczyszczeniami. Utlenione wcześniej związki żelaza po wzruszeniu osadu z dna w kontakcie z tlenem nie tworzyły kłaczków i były słabo podatne na proces sedymentacji. Napowietrzanie pozwoliło jednak zmniejszyć zakwaszenie popłuczyn, powstające po dodaniu chlorosiarczanu żelaza(III), w wyniku usunięcia dwutlenku węgla. Wyniki pierwszej serii badań wykazały, że napowietrzanie popłuczyn zastosowane razem z dozowaniem koagulantu pozwoliło uzyskać najlepsze efekty oczyszczania i osiągnąć wysoką jakość popłuczyn już po kilku godzinach sedymentacji.

4. Wnioski

1. Badania wykazały, że napowietrzanie popłuczyn po dozowaniu chlorosiarczanu żelaza(III) jako koagulantu, zwiększa szybkość wytrącania się związków żelaza z popłuczyn w początkowej fazie sedymentacji. Po 24 godzinach sedymentacji stopień oczyszczania popłuczyn był porównywalny przy zastosowaniu i bez zastosowania napowietrzania.
2. Najlepsze efekty oczyszczania popłuczyn osiągnięto przy jednoczesnym dozowaniu koagulantu oraz napowietrzaniu bez pozostawiania warstwy osadu na dnie odstoju.
3. Napowietrzanie wpływa na odczyn popłuczyn, co związane jest z usuwaniem agresywnego dwutlenku węgla z wody powstającego w wyniku reakcji zobojętniania pomiędzy powstającymi w czasie hydrolizy Fe(III) jonami wodorowymi a zasadowością wody.
4. Przy ustalaniu dawek mineralnych koagulantów Fe(III) należy uwzględnić bilans zasadowości popłuczyn, gdyż przy zbyt dużych dawkach może dochodzić do spadku odczynu poniżej wartości dopuszczalnej 4,5 pH, wskutek przekroczenia zdolności buforowych wody.
5. W warunkach Wasserwerk Langenberg ustalono, że dawka 8 mg chlorosiarczanu żelaza(III)/l jest dawką optymalną.
6. Okresowe napowietrzanie popłuczyn w odstoju można realizować z zastosowaniem układów inżektorowych. Badania wykazały, że proces ten może być zalecany, gdy zachodzi konieczność zmniejszenia kubatury odstoju.

Bibliografia

- [1] Adin A., Dean L., Bonner F., Nasser A., Huberman Z. (2002): *Characterization and destabilization of spent filter backwash particles*. Water Science and Technology: Water Supply. Vol. 2. No. 2. pp. 115-122.
- [2] Arora H., Di Giovanni G., LeChevallier M. (2001): *Spent filter backwash water. Contaminants and treatment strategies*. Journal AWWA. Vol. 93. No. 5. pp. 100-112.
- [3] Brügger A., Voßenkaul K., Rautenbach R., Golling B., Jacobs U., Ohlenforst P. (2001): *Reuse of filter backwash water by implementing ultrafiltration technology*. Water Science and Technology: Water Supply. Vol. 1. No. 5-6. pp. 207-214.
- [4] DVGW-Arbeitsblatt W 213-3, Juni 2005: *Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 3: Schnellfiltration*.
- [5] Falkus B., Handzlik A., Powązka E. (2000): *Biologiczne aspekty oczyszczania wód popłucznych w akcelatorze*. Ochrona Środowiska. Vol. 22. Nr.2. pp. 31-33.
- [6] Forst A., Jagoszewski T., Świdorska-Bróż M. (1999): *Wpływ chemicznego kondycjonowania popłuczyn powstających podczas oczyszczania wód podziemnych na przebieg ich zagęszczania*. Ochrona Środowiska. Vol. 21. Nr. 1. pp. 7-11.
- [7] Fukas-Płonka Ł., Kuś K., Zielewicz-Madej E. (1999): *Badania nad możliwością odwadniania i usuwania osadów z wód popłucznych*. Ochrona Środowiska. Vol. 21. Nr. 4. pp. 65-68.
- [8] Kawamura S. (2000): *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities. Second Edition*. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp. 720.
- [9] Łomotowski J., Szpindor A. (2002): *Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
- [10] Łomotowski J., Wiercik P. (2009): *Zastosowanie napowietrzania do poprawy skuteczności sedymentacji zawieszin powstających podczas oczyszczania wód podziemnych*. Ochrona Środowiska. Vol. 31. Nr. 4. pp. 21-24.
- [11] Vescoli D., Gmünder A. (2007): *Schwemmwasseraufbereitung durch Membrantechnik*. Gas, Wasser, Abwasser 4. pp. 263-269.
- [12] Weisman D., Lohse M. (Hrsg.) (2007): *Sulfid-Praxishandbuch der Abwassertechnik. Biogene Korrosion, Geruch, Gefahr verhindern und Kosten beherrschen*. Vulkan Verlag GmbH, Essen 2007.
- [13] Willemse R.J.N., Brekvoort Y. (1999): *Full-scale recycling of backwash water from sand filters using dead-end membrane filtration*. Water Research. Vol. 33. No. 15. pp. 3379-3385.