

Ewa SIEDLECKA, Jolanta SOBIK-SZOŁTYSEK

Politechnika Częstochowska, Wydział Infrastruktury i Środowiska
Instytut Inżynierii Środowiska
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa
e-mail: esiedlecka@is.pcz.pl

Wydzielanie związków żelaza z roztworu po ługowaniu odpadów poflotacyjnych Zn-Pb

Precipitation of Iron Compounds from a Solution after Zn-Pb Post Flotation Tailings Leaching

Iron is usually present in the leaching solutions and its elimination is a major problem in hydrometallurgy. The recovery of iron from such solutions is usually carried out by precipitation as jarosite, goethite or hematite. Together with the iron other undesirable metals, mainly Zn, Mg, Pb are precipitated. The impact of the following parameters: temperature, time, type and dose of oxidant on selective separation the iron compounds from the leaching solution of Zn-Pb post-flotation tailings were investigated. The leaching solution was obtained in the process of dynamic neutralization the accumulator electrolyte with the Zn-Pb flotation tailings and separation of the precipitate from the solution. Using the set conditions of iron compounds precipitation from the leaching solution, the post-processed solutions were obtained in which the content of Mg, Zn, Fe were analyzed. It was found that the process of iron compounds precipitation causes co-precipitation of the accompanying metals that contaminate the resulting precipitates. The coprecipitation of magnesium, together with iron compounds is particularly disadvantageous process results in a reduced yield of metal in the final product. In order to minimize these losses, the oxidizing precipitation of iron from the leach solution in the form of goethite was carried out. This led to significant loss of Mg^{2+} ions from the solution in an amount of 0.24% positively influencing technological process of magnesium sulphate recovery from the waste. The goethite precipitate formed in a simple single stage process is a commercial product or an intermediate product (after ignition) for the preparation of a red pigment.

Keywords: acid leaching, selective precipitation of iron compounds, goethite, pigments

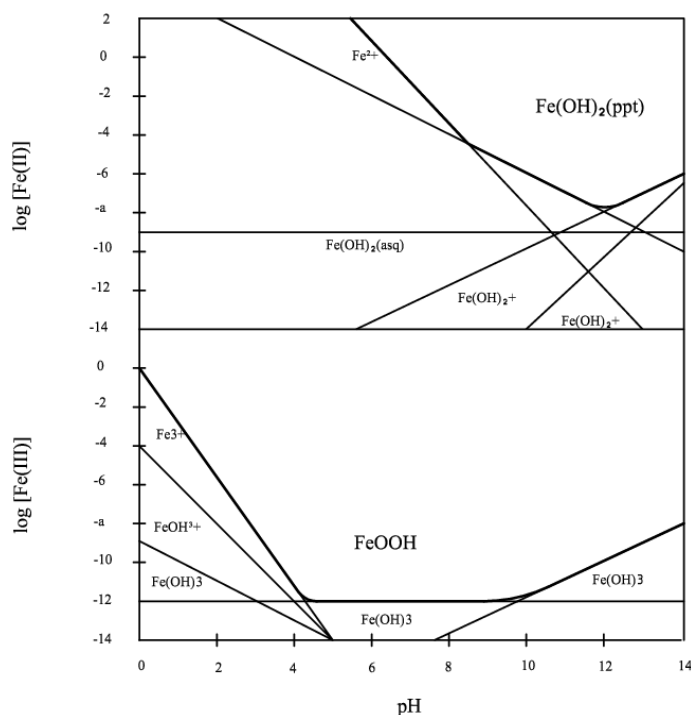
Wstęp

W procesie hydrometalurgicznym głównym węzłem technologicznym jest ługowanie surowców wcześniej poddanych procesowi rozdrabniania. Rozdrabnianie prowadzi się w celu zwiększenia powierzchni nadawy, co ułatwia kontakt ziaren z odczynnikami ługującymi. W wyniku procesu ługowania otrzymuje się roztwory związków metali w postaci soli lub połączeń kompleksowych (amoniakalnych, cyjankowych, chlorkowych). Rozdział i koncentracja otrzymanych składników pomiędzy odpowiednie fazy następuje w wyniku operacji fizykochemicznych prowadzonych w roztworach po ługowaniu [1, 2]. Wydzielone fazy stałe

stanowią uciążliwy odpad lub surowiec albo półprodukt możliwy do przetworzenia w odrębnych procesach technologicznych, co daje korzyści ekonomiczne i technologiczne [3, 4].

Żelazo jest najczęściej występującym zanieczyszczeniem roztworów po ługowaniu. Występuje w większości rud. W procesach hydrometalurgicznych spełnia bardzo skuteczną rolę czynnika ługującego, co jest przyczyną jego obecności w większości obiegów technologicznych. Stanowi również często niepożądaną domieszkę w surowcach, odpadach i koncentraty powstających w technologiach hydrometalurgicznych [5, 6]. Z punktu widzenia metalurgii lub ochrony środowiska żelazo stwarza istotne problemy technologiczne i środowiskowe. Jako niepożądany składnik musi być często wyprowadzany z obiegów technologicznych w postaci odpadu stałego lub półproduktu do dalszego przetwarzania [7, 8].

Najprostszym sposobem ograniczenia stężenia żelaza w roztworze jest jego hydrolityczne wytrącenie w postaci wodorotlenków, tlenków lub tlenków uwodnionych. Rysunek 1 wskazuje na bardzo wąski zakres minimum rozpuszczalności osadu wodorotlenku żelaza(II), którego wartość pH wynosi ~ 11 [7].



Rys. 1. Równowaga w układach: Fe(II)–Fe(OH)₂ i Fe(III)–FeOOH [7]

Fig. 1. Balance in the systems: Fe(II)–Fe(OH)₂ and Fe(III)–FeOOH [7]

Wodorotlenek żelaza(II) nie jest więc właściwym związkiem, który mógłby być skutecznie wytrącony z roztworu. Ponadto, związki żelaza(II) łatwo utleniają się na powietrzu do żelaza(III), uwalniając wiele form jonowych i powodując zakwasze-

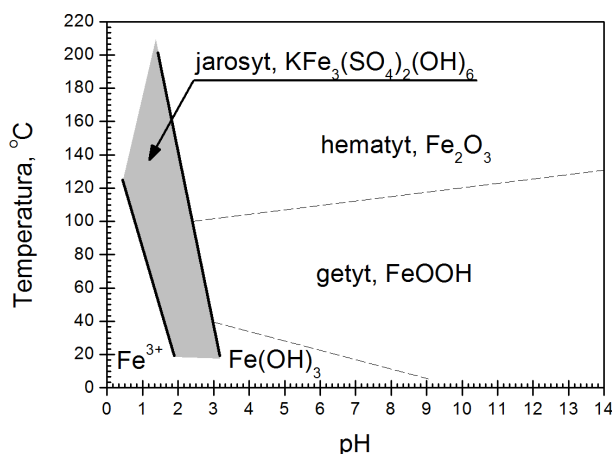
nie środowiska. Za stabilne chemicznie uważane są związki żelaza(III). Z diagramów równowag wytrącania osadów w postaci FeOOH wynika, że rozpuszczalność związków żelaza(III) jest kilka rzędów mniejsza od Fe(OH)₂. Dotyczy to zwłaszcza getytu (FeOOH) z minimalną rozpuszczalnością Fe(III) wynoszącą około $1 \cdot 10^{-12}$ M oraz Fe(OH)₃ z minimalną rozpuszczalnością Fe(III) wynoszącą około $3,75 \cdot 10^{-17}$ M. Zakres wartości pH, w którym getyt zachowuje minimum rozpuszczalności, wynosi od 4 do 9. Strącanie getytu może być realizowane tylko z roztworów utleniających, w których żelazo znajduje się w postaci Fe(III) (rys. 1) [7].

Żelazo wydzielane jest najczęściej z roztworów w postaci krystalicznych związków, w takich procesach jak [9-12]:

- proces jarosytowy (Me-Fe₃(SO₄)₂(OH)₆ - osad)
- proces getytowy (FeOOH - osad)
- ługowanie ciśnieniowe (αFe₂O₃ - hematyt)

Diagram na rysunku 2 przedstawia obszary stabilności poszczególnych związków Fe(III): wodorotlenku, jarosytu, getytu i hematytu w zależności od temperatury i wartości pH.

Wytrącanie Fe(III) w postaci jarosytu zachodzi w roztworach kwaśnych przy wartości pH < 3 w temperaturze powyżej 60°C. Wzrost wartości pH powoduje strącanie getytu w zakresie temperatury 40÷90°C. Strącanie hematytu zachodzi w roztworach zarówno słabo kwaśnych, jak i alkalicznych w temperaturze powyżej 100°C (rys. 2).



Rys. 2. Wpływ temperatury i wartości pH na zakresy stabilności Fe(OH)₃, getytu, jarosytu i hematytu w warunkach wytrącania żelaza z 0,5 M roztworu Fe₂(SO₄)₃ [7]

Fig. 2. The influence of temperature and pH value on the stability of Fe(OH)₃, goethite, jarosite and hematite in conditions of iron precipitation from 0.5 M solution of Fe₂(SO₄)₃ [7]

Celem pracy było ograniczenie strat jonów magnezu Mg⁺² w roztworze poprocesowym, co jest korzystne dla procesu technologicznego, pozyskiwanie siarczanu magnezu z odpadów oraz zagospodarowanie powstających odpadowych związków żelaza.

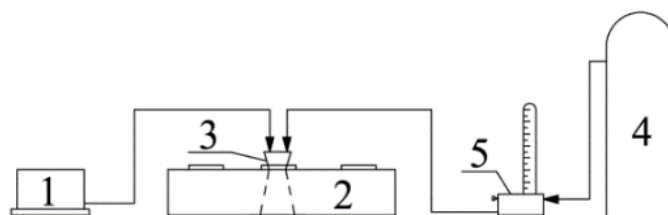
W pracy przeprowadzono badania wydzielania związków żelaza z roztworu pozyskanego z opracowanej technologii neutralizacji elektrolitu akumulatorowego odpadami poflotacyjnymi. W technologii tej głównym produktem jest siarczan magnezu, natomiast produkt pośredni stanowią między innymi związki żelaza $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Zastosowana metoda wydzielania żelaza jest skuteczna, jednak powoduje współstrącanie się cynku i magnezu, co utrudnia jego późniejsze wykorzystanie [13].

Zgodnie z ustawą o odpadach, składowanie to ostateczna forma zagospodarowania odpadów [14]. Należy więc poszukiwać takich metod wydzielania związków żelaza, które umożliwią jego wykorzystanie w różnych gałęziach przemysłowych. Selektywne wydzielanie związków żelaza z roztworu po ługowaniu pozwoli na wykorzystanie ich w hutnictwie, przemyśle cementowym oraz w produkcji pigmentów.

1. Materiały i metodyka badań

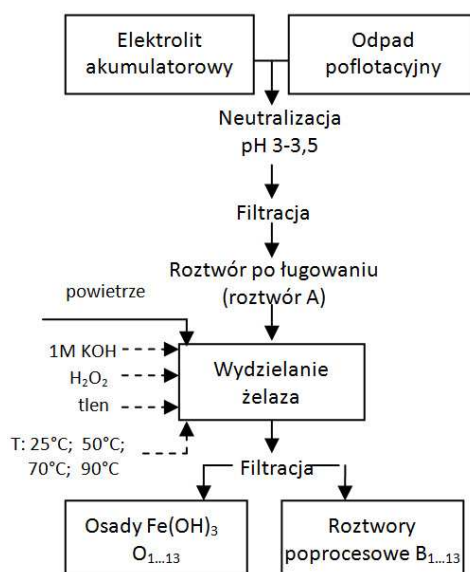
Do badań wykorzystano odpad poflotacyjny ze wzbogacania rud cynkowo-olowiowych. Odpad pobrano z osadnika odpadów poflotacyjnych znajdującego się w rejonie bytomskim na terenie kopalni Marchlewski. Materiał badawczy stanowiła klasa ziarnowa poniżej 2,0 mm. Odpadowy elektrolit akumulatorowy pobrano z układu technologicznego utylizacji zużytych akumulatorów z zakładu „Orzeł Biały” S.A. w Bytomiu. Analizy składu chemicznego badanych roztworów przeprowadzono za pomocą spektrometru z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-OES).

Przeprowadzono proces dynamicznej neutralizacji elektrolitu odpadem poflotacyjnym w czasie $t = 60$ min, uzyskując wartość $\text{pH} = 3,0 \div 3,5$. Oddzielono osad od roztworu, otrzymując roztwór o objętości 25 dm^3 (roztwór A), z którego wydzielano związki żelaza. Badania prowadzono w zależności od ilości doprowadzanego do układu tlenu, od czasu i temperatury procesu oraz od dawki utleniacza w postaci 30% nadtlenu wodoru. Wartość pH roztworu podczas badania wydzielania związków żelaza była stała, wynosząca 5,2, regulowana 1 M KOH. Schemat stanowiska badawczego zamieszczono na rysunku 3. Ideowy schemat badań prezentuje rysunek 4.



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego: 1 - pompka napowietrzająca, 2 - łaźnia wodna, 3 - naczynie szklane 1 dm^3 , 4 - butla z tlenem, 5 - przepływomierz

Fig. 3. Scheme of the test bench: 1 - aeration pump, 2 - water bath, 3 - glass 1 dm^3 volume, 4 - oxygen cylinder, 5 - flow meter

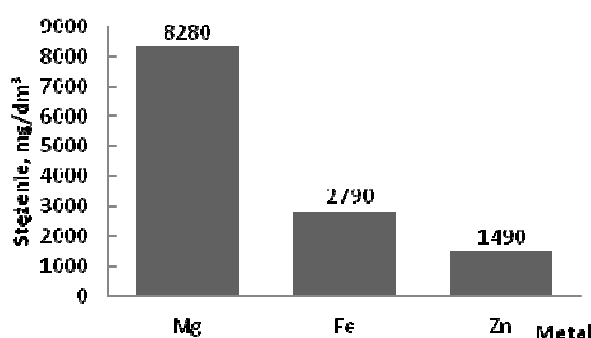


Rys. 4. Schemat badań

Fig. 4. Scheme of the researches

2. Wyniki badań i dyskusja

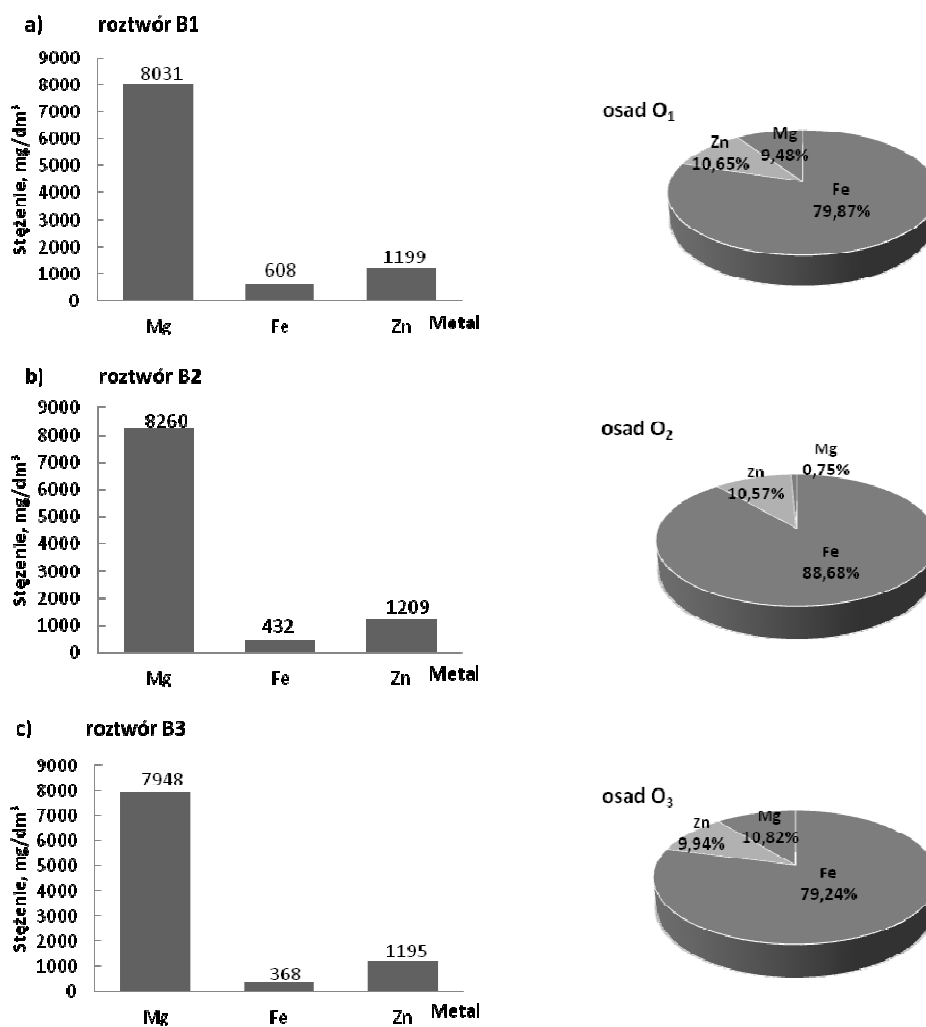
W roztworze A oznaczono zawartość metali występujących w najwyższych stężeniach, tj. Mg, Fe, Zn, które były przedmiotem wcześniejszych prac autorskich [5, 13]. Metale te mogą w znacznych ilościach współstrącać się podczas procesu wydzielania związków żelaza z roztworu. Szczególnie niekorzystnym procesem jest współstrącanie się magnezu wraz ze związkami żelaza, co powoduje zmniejszenie uzysku tego metalu w produkcie końcowym. Wartość pH roztworu w czasie utleniania wynosiła 5,2, bowiem w tym zakresie wydziela się ilościowo Fe(III) i następuje początek wydzielania związków cynku w postaci $Zn(OH)_2$. Stężenia metali w roztworze A przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Stężenie magnezu, żelaza i cynku w roztworze A

Fig. 5. Concentration of magnesium, iron and zinc in the A solution

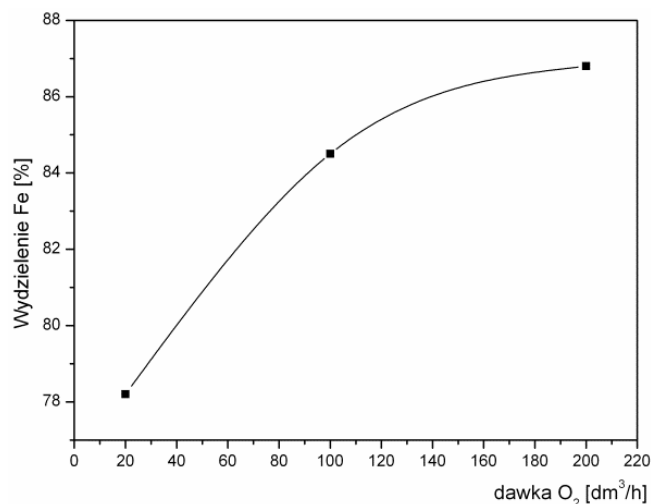
W pierwszym etapie badań wydzielano związki żelaza(III) w zależności od ilości dostarczanego do układu tlenu odpowiednio: 20; 100; 200 dm³O₂/h. Czas procesu wynosił t = 30 min, temperatura 25°C. W otrzymanych kolejno roztworach poprocesowych B₁, B₂ i B₃ oznaczono stężenia metali Mg, Fe i Zn (rys. 6). Zobrazowany został również procentowy udział metali w osadach O₁, O₂, O₃ (rys. 6).



Rys. 6. Stężenia magnezu, żelaza i cynku w roztworach poprocesowych w zależności od dawki utleniacza: a) B₁ - 20 dm³O₂/h, b) B₂ - 100 dm³O₂/h, c) B₃ - 200 dm³O₂/h

Fig. 6. Concentration of magnesium, iron and zinc in the post-processed solutions depending on the dose oxidant: a) B₁ - 20 dm³O₂/h, b) B₂ - 100 dm³O₂/h, c) B₃ - 200 dm³O₂/h

Rysunek 7 przedstawia wyniki badań wydzielenia związków żelaza(III) w zależności od ilości dostarczanego do układu tlenu.

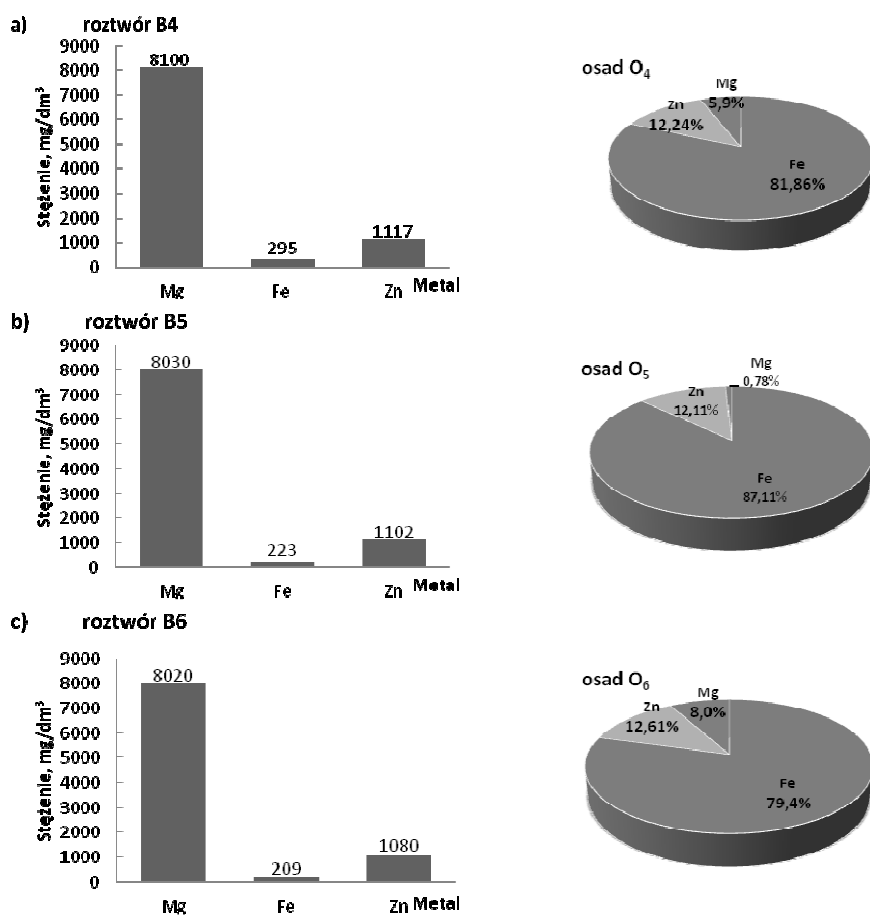


Rys. 7. Kinetyka wydzielenia związków żelaza z roztworu w zależności od ilości doprowadzonego tlenu

Fig. 7. Kinetics of iron compounds precipitation from the solution depending on an amount of oxygen

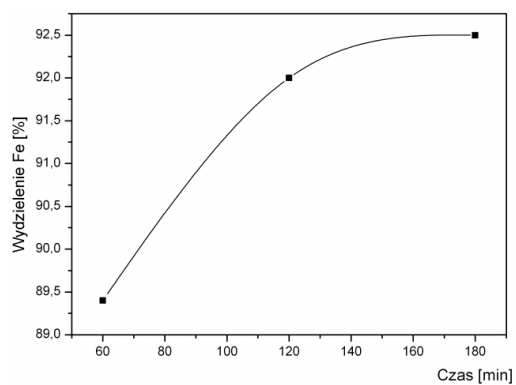
Badania wpływu dawki utleniacza w postaci tlenu wykazały, że najlepsze rezultaty otrzymuje się dla dawki 100 dm³O₂/h, przy której usunięcie żelaza z roztworu A osiąga wartość 84,5%. W każdym przypadku powstający osad (O₁;O₂;O₃) zawierał magnez (0,75÷10,8%) i cynk (9,9÷10,6%). W drugim etapie badań przyjęto następujące warunki: dawka tlenu 100 dm³O₂/h, czas utleniania 60, 120, 180 minut. W otrzymanych roztworach poprocesowych B₄, B₅ i B₆ oznaczono stężenia metali Mg, Fe i Zn (rys. 8). Wydłużenie czasu utleniania przy dawce tlenu 100 dm³O₂/h ma korzystny wpływ na procentową ilość usuniętego żelaza z roztworu A w zakresie 89÷92% (rys. 9). Zwiększa się równocześnie udział cynku do 12,6% i magnezu w poszczególnych osadach O₄; O₅; O₆ (rys. 8). Najniższe straty magnezu z roztworu obserwuje się przy dawce tlenu 100 dm³O₂/h i t = 120 min, do osadu przechodzi 0,78% magnezu.

Wpływ temperatury (50°C, 70°C, 90°C) na proces strącania żelaza z roztworu A dla optymalnych warunków, tj. 100 dm³O₂/h, t = 120 min, pH = 5,2 przedstawiono na rysunku 11. Stężenia metali Mg, Fe i Zn w otrzymanych kolejno roztworach poprocesowych B₇, B₈ i B₉ ilustruje rysunek 10.



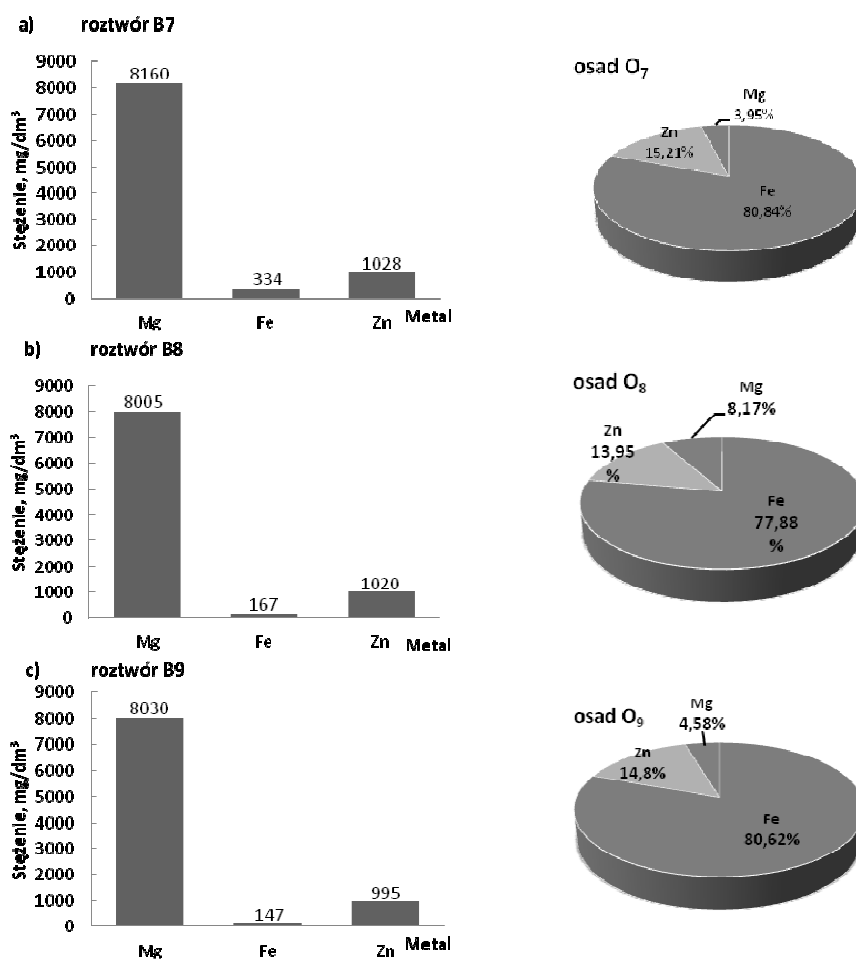
Rys. 8. Stężenia magnezu, żelaza i cynku w roztworach poprocesowych w zależności od czasu utleniania: a) B₄ - 60 min, b) B₅ - 120 min, c) B₆ - 180 min

Fig. 8. Concentration of magnesium, iron and zinc in the post-processed solutions depending on the time oxidation: a) B₄ - 60 min, b) B₅ - 120 min, c) B₆ - 180 min



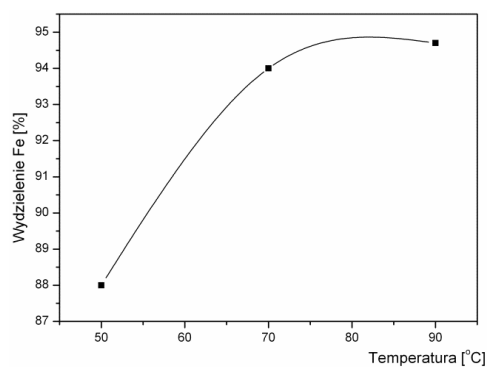
Rys. 9. Kinetyka usuwania związków żelaza z roztworu w zależności od czasu utleniania

Fig. 9. Kinetics of iron compounds precipitation from the solution depending on the time oxidation



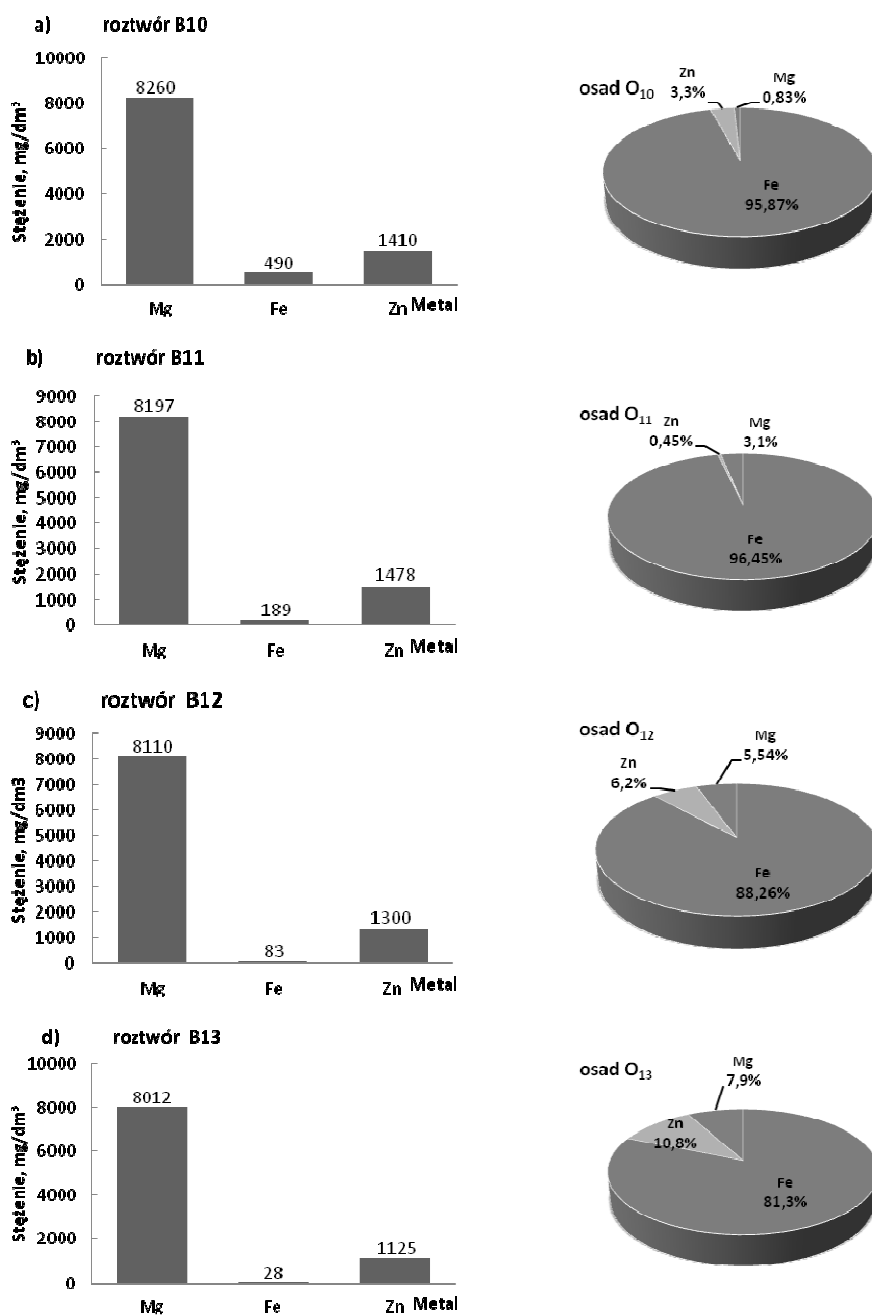
Rys. 10. Stężenia magnezu, żelaza i cynku w roztworach poprocesowych w zależności od temperatury procesu: a) B₇ - 50°C, b) B₈ - 70°C, c) B₉ - 90°C

Fig. 10. Concentration of magnesium, iron and zinc in the post-processed solutions depending on the temperature: a) B₇ - 50°C, b) B₈ - 70°C, c) B₉ - 90°C



Rys. 11. Kinetyka usuwania związków żelaza z roztworu w zależności od temperatury

Fig. 11. Kinetics of iron compounds precipitation from the solution depending on the temperature



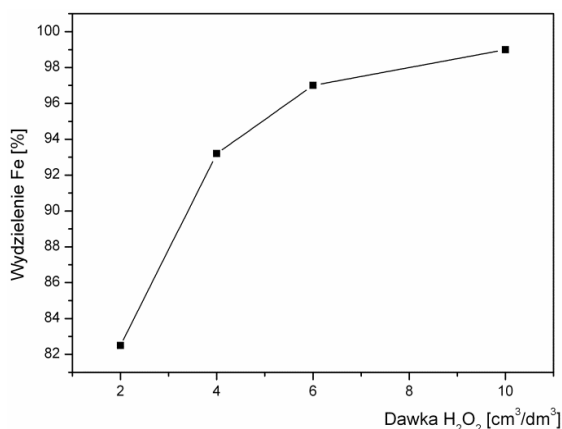
Rys. 12. Stężenia magnezu, żelaza i cynku w roztworach poprocesowych w zależności od dawki H₂O₂: a) B₁₀ - 2 cm³/dm³, b) B₁₁ - 4 cm³/dm³, c) B₁₂ - 6 cm³/dm³, d) B₁₃ - 10 cm³/dm³

Fig. 12. Concentration of magnesium, iron and zinc in the post-processed solutions depending on the dose of H₂O₂: a) B₁₀ - 2 cm³/dm³, b) B₁₁ - 4 cm³/dm³, c) B₁₂ - 6 cm³/dm³, d) B₁₃ - 10 cm³/dm³

Analizując powyższe wyniki (rys. 10, 11), stwierdzono najwyższe, około 95% usunięcie żelaza oraz stosunkowo wysoką ilość współstrącających się związków magnezu 4÷8% i cynku 14÷15% dla optymalnych warunków, tj. 90°C, 100 dm³O₂/h, t = 120 min, pH = 5,2.

Najniższe straty magnezu z roztworu i jego najniższy udział w osadzie uzyskano w procesach przedstawionych na rysunkach 6b (roztwór B₂ i osad O₂) i 8b (roztwór B₅, osad O₅). W obydwu przypadkach strata magnezu liczona jako ubytek jonów Mg z roztworu A wyniosła kolejno 0,24 i 3%, natomiast jego udział w wytrąconych osadach to 0,75 i 0,78%. W osadzie cynk występuje w ilości 10% w pierwszym przypadku i 12,1% w drugim przypadku. Udział żelaza w powyższych osadach mieści się w zakresie 87÷89%. Osady ze względu na zawartość cynku 10÷12% mogą być wykorzystane do produkcji brunatów żelazowych po uzupełnieniu ich składu związkami cynku tak, aby ich skład procentowy wynosił: 27,1% Zn, 46,3% Fe, 26,6% O₂.

Ze względu na uciążliwość operowania w procesach przemysłowych gazowym tlenem istnieje możliwość zastosowania powietrza lub 30% H₂O₂. Wpływ dawki 30% roztworu H₂O₂ na strącanie związków żelaza z roztworu A w postaci getytu αFeOOH przedstawia rysunek 13. Stężenia magnezu, żelaza i cynku w roztworach poprocesowych B₁₀, B₁₁, B₁₂, B₁₃ prezentuje rysunek 12.



Rys. 13. Kinetyka wydzielenia żelaza w zależności od dawki H₂O₂

Fig. 13. Kinetics of iron compounds precipitation from the solution depending on the dose of H₂O₂

Wraz ze wzrostem dawki utleniacza wzrasta ilość strąconego z roztworu żelaza do 99% oraz zawartość cynku w osadzie do 10,8% i magnezu do 7,9% przy najwyższej dawce utleniacza, tj. 10 cm³ H₂O₂/dm³. Znacznie lepsze rezultaty obserwuje się dla dawki utleniacza 4 cm³ H₂O₂/dm³. Osad w tym przypadku zawiera 3,1% Mg i 0,45% Zn. Przy dawce H₂O₂ 2 cm³/dm³ spada ilość strąconego z roztworu żelaza do 83%, a pozyskany osad zawiera w swoim składzie 0,83% Mg i 3,3% Zn, natomiast udział żelaza w postaci αFeOOH stanowi 96%. Powstały osad

posiada barwę żółtą, charakterystyczną dla getytu i może być wykorzystany jako surowiec do produkcji pigmentów żółtych lub pigmentów czerwonych po wcześniejszym wyprażeniu.

Podsumowanie

Wytrącanie osadów z zastosowaniem utleniaczy związane jest z większą podatnością do hydrolizy jonów metali na wyższych stopniach utleniania. Wytrącanie czystych związków żelaza(III) w postaci wodorotlenków lub hydroksytlenków z roztworów zawierających jony innych metali jest procesem złożonym. Wynika to z zawartości w roztworach zanieczyszczeń w postaci kationów Mg^{+2} , Zn^{+2} , pochodzących z roztworu macierzystego [5]. W celu poprawy jakości osadu zawierającego głównie związki żelaza(III) można zastosować proces repulpacji lub strącanie kilkustopniowe. Komplikuje to jednak układy technologiczne, podnosi koszty procesu poprzez zwiększenie energochłonności, zwiększenie ilości ścieków, wody i odczynników.

Wydzielanie związków żelaza(III) uwarunkowane jest zmianą temperatury, sposobem zmiany wartości pH oraz doбором odpowiedniego utleniacza i czasu utleniania [7]. Wydzielony osad przy dawce utleniacza $2\text{ cm}^3\ 30\%\ \text{H}_2\text{O}_2/\text{dm}^3$ i zastosowaniu czynnika strącającego w postaci 1 M KOH oraz temperatury 70°C zawierał niewielkie ilości domieszek (0,83% Mg i 3,3% Zn). Osad po wysuszeniu w warunkach laboratoryjnych posiada barwę żółtą charakterystyczną dla getytu [15]. W takiej postaci powstały osad może być bezpośrednio wykorzystany jako dodatek do produkcji klejów i spoiw lub do produkcji farb. Po wyprażeniu osadu w temperaturze $200\text{--}400^\circ\text{C}$ istnieje możliwość otrzymywania pigmentów żelazowych tlenkowych F_2O_3 . Pigmenty nieorganiczne (αFeOOH , $\alpha\text{F}_2\text{O}_3$) posiadają szereg zalet, między innymi odporność na czynniki środowiskowe, promieniowanie UV, wilgoć, temperaturę i grzyby. Charakteryzują się wysoką liczbą olejową i wysoką zdolnością barwienia. Kolor pigmentów pozyskiwanych z roztworów odpadowych zależy od ilości i jakości jonów w nich zawartych.

Wydzielanie związków żelaza(III) opisanym sposobem pozwala na wyprowadzenie osadu z roztworu praktycznie bez strat magnezu. Jest to niezwykle ważne w procesie technologicznym pozyskiwania $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ z odpadów [13]. Wydzielony osad getytu w prostym procesie jednostopniowym stanowi produkt handlowy lub po wyprażeniu półprodukt do otrzymywania pigmentu czerwonego.

Wnioski

1. Wytrącanie związków żelaza w postaci wodorotlenków, tlenków lub hydroksytlenków z roztworów po ługowaniu, zawierających jony Mg^{+2} , Zn^{+2} , w procesie jednostopniowym, związane jest z domieszkowaniem powstających osadów jonami roztworu macierzystego (Mg^{+2} , Zn^{+2}) w każdym z analizowanych przypadków.

2. Wytrącanie związków żelaza w postaci wodorotlenków, tlenków lub hydroksytlenków uzależnione jest od temperatury, sposobu zmiany wartości pH, sposobu utleniania i wyboru czynnika utleniającego.
3. Strącanie utleniające osadu w postaci getytu przy dawce utleniacza 2 cm^3 30% $\text{H}_2\text{O}_2/\text{dm}^3$, wartości $\text{pH} = 5,2$ i temperaturze 70°C powoduje nieznaczne straty jonów Mg^{+2} z roztworu poprocesowego w ilości 0,24%, co jest bardzo korzystne dla procesu technologicznego pozyskiwania siarczanu magnezu z odpadów.
4. Strącony osad getytu zawiera niewielkie ilości magnezu 0,83% i cynku 3,3%. Po wysuszeniu ma barwę żółtą charakterystyczną dla getytu.
5. Strącanie utleniające związków żelazowych pozwala na otrzymanie getytu, który może być wykorzystany jako produkt handlowy (barwnik, składnik klejów) lub poddany prażeniu w zakresie temperatury $200\text{--}400^\circ\text{C}$ w celu pozyskania pigmentu czerwonego.

Podziękowania

Praca została przygotowana w ramach BS- PB-401-304/11.

Literatura

- [1] Chmielewski T., Ługowanie metali z rud, koncentratów, półproduktów i odpadów, Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii 1996, 30, 217-231.
- [2] Łętowski F., Podstawy Hydrometalurgii, WNT, Warszawa 1975.
- [3] Free M.L., Hydrometallurgy, Fundamentals and applications, John Wiley & Sons Inc, Hoboken, New Jersey, 2013.
- [4] Charewicz W., Biometalurgia metali nieżelaznych - podstawy i zastosowanie, CBPM Cuprum, Wrocław 2002.
- [5] Siedlecka E., Doniecki T., Ocena możliwości zagospodarowania odpadowego wodorotlenku cynku z technologii utylizacji elektrolitu akumulatorowego, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska 2009, 56(268), 87-99.
- [6] Kukurugya F., Vindt T., Havlík T., Behavior of zinc, iron and calcium from electric arc furnace (EAF) dust in hydrometallurgical processing in sulfuric acid solutions: Thermodynamic and kinetic aspects, Hydrometallurgy 2015, 154, 20-32.
- [7] Chmielewski T., Żelazo w procesach hydrometalurgicznych, VII Seminarium Problemy współczesnej hydrometalurgii, Lublin 2002, 57-82.
- [8] Ismael M.R.C., Carvalho J.M.R., Iron recovery from sulphate leach liquors in zinc hydrometallurgy, Minerals Engineering January 2003, 16, 1, 31-39.
- [9] Dutrizac J.E., The physical chemistry of iron precipitation in the zinc industry, [In:] Cigan, J.M., Mackey, T.S., O'Keefe, T.J. (Eds.), Lead-Zinc-Tin'80, TMS-AIME World Symposium on Metallurgy and Environment Control, Warrendale, PA, 1980, 532-563.
- [10] Torfs K.J., Vliegen J., The Union Minière Goethite process: plant practice and future prospects, J.E Dutrizac, G.B Harris (Eds.), Iron Control and Disposal, The Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montreal, Canada, 1996, 135-146.
- [11] Tamargo F.J., San M., Valcarcel M.R., Asturiana de zinc: more than 30 years of experience with jarosite process, J.E Dutrizac, G.B Harris (Eds.), Iron Control and Disposal, The Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montreal, Canada, 1996, 93-100.

- [12] Dokument Referencyjny BAT dla najlepszych dostępnych technik w produkcji metali nieżelaznych, grudzień 2001, Rozdział 5. https://ippc.mos.gov.pl/ippc/custom/BAT_met_niez.pdf
- [13] Siedlecka E., Wykorzystanie odpadów z flotacji blendy cynkowej w utylizacji kwasu siarkowego, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 2007, 33, 97-103.
- [14] Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2012 r., *DzU* 2013, poz. 21.
- [15] Najlepsze Dostępne Techniki (BAT) Wytyczne dla Branży Chemicznej w Polsce Specjalne Chemikalia Nieorganiczne, Pigmenty nieorganiczne, Warszawa, czerwiec 2015, https://ekoportal.gov.pl/fileadmin/Ekoportal/Pozwolenia_zintegrowane/poradniki_branzowe/11.4_Specjalne_Chemikalia_Nieorganiczne.pdf

Czestochowa University of Technology, Faculty of Infrastructure and Environment
Institute of Environmental Engineering
ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa
e-mail: esiedlecka@is.pcz.pl

Streszczenie

Żelazo jest często obecne w roztworach po ługowaniu, a jego eliminacja jest głównym problemem w procesach hydrometalurgicznych. Odzysk żelaza z takich roztworów polega najczęściej na jego wydzieleniu w postaci jarosytu, getytu lub hematytu. Wraz z żelazem wytrącają się inne niepożądane metale, głównie Zn, Mg, Pb i inne. W pracy zbadano wpływ takich parametrów, jak temperatura, czas, typ i dawka utleniacza na selektywne wydzielenie związków żelaza z roztworu po ługowaniu odpadów poflotacyjnych Zn-Pb. Roztwór po ługowaniu pozyskano w procesie dynamicznej neutralizacji elektrolitu akumulatorowego odpadem poflotacyjnym i oddzieleniu osadu od roztworu. Stosując ustalone warunki wydzielenia związków żelaza z roztworu po ługowaniu, otrzymano roztwory poprocesowe, w których oznaczono zawartość metali: Mg, Zn, Fe. Stwierdzono, iż proces wydzielenia związków żelaza, w zależności od warunków, powoduje współstrącanie się towarzyszących metali, które zanieczyszczają powstałe osady. Szczególnie niekorzystnym procesem jest współstrącanie się magnezu wraz ze związkami żelaza powodujące zmniejszenie uzysku metalu w produkcji końcowym. W celu zminimalizowania tych strat przeprowadzono strącanie utleniające żelaza z roztworu po ługowaniu w postaci getytu, uzyskując nieznaczne straty jonów Mg^{2+} z roztworu w ilości 0,24%, co jest bardzo korzystne dla procesu technologicznego pozyskiwania siarczanu magnezu z odpadów. Wydzielony osad getytu w prostym procesie jednostopniowym stanowi produkt handlowy, a po wyprażeniu - półprodukt do otrzymywania pigmentu czerwonego.

Słowa kluczowe: ługowanie kwaśne, selektywne wydzielenie związków żelaza, getyt, pigmenty