

Rafał RAKOCZY, Stanisław MASIUK, Przemysław GRĄDZIK

e-mail: rrakoczy@zut.edu.pl

Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

## Analiza wpływu wirującego pola magnetycznego na produkcję ferrocieczy

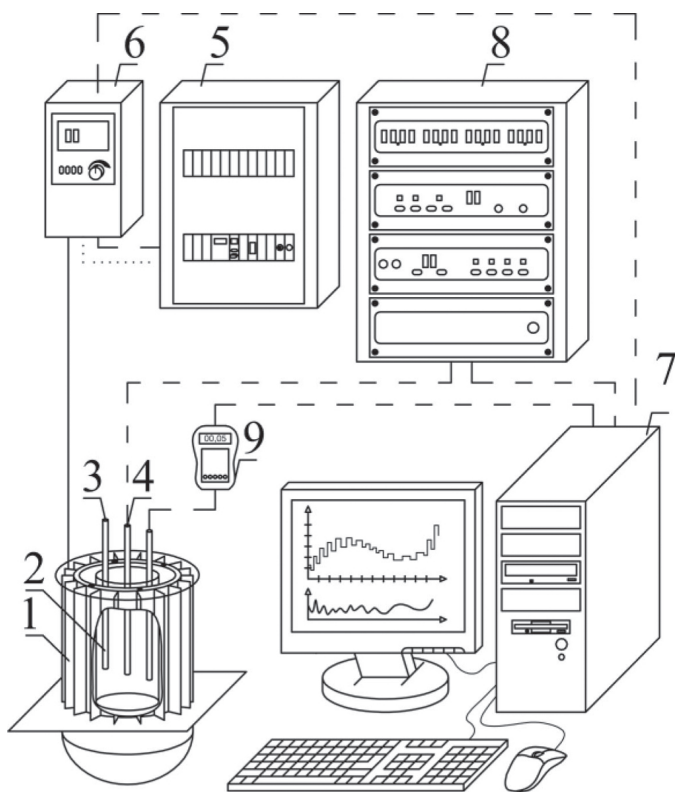
### Wstęp

Ciecze ulegające silnej polaryzacji magnetycznej w obecności zewnętrznych pól magnetycznych są powszechnie stosowane w praktyce przemysłowej, medycynie oraz urządzeniach chłodzących [1–3]. *Ciecz inteligentna*, zazwyczaj w postaci koloidalnej zawiesiny cząstek magnetytu ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) w płynie nośnikowym (woda, olej, ciecz organiczna), wykazuje ciekawe własności w obecności silnych oddziaływań zewnętrznych w postaci zmian natężenia indukcji magnetycznej, temperatury oraz innych parametrów fizykochemicznych płynów nośnikowych [4, 5].

Głównym celem niniejszej pracy jest przebadanie wpływu wirującego pola magnetycznego na przebieg reakcji chemicznej, której produktem jest magnetyt o cząstkach charakteryzujących się średnim wymiarem rzędu  $\sim 10$  nm.

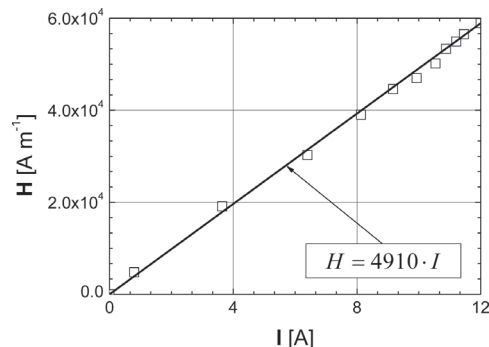
### Aparatura doświadczalna

Prace eksperymentalne zostały wykonane przy użyciu aparatury badawczej przedstawionej na rys. 1. Aparatura doświadczalna została szczegółowo omówiona w pracy [6].



Rys. 1. Aparatura doświadczalna: 1 – generator wirującego pola magnetycznego, 2 – szklana zlewka, 3, 4 – sondy konduktometryczne, 5 – skrzynka zasilająca, 6 – przełącznik częstotliwości, 7 – komputer, 8 – multiplexer wielofunkcyjny, 9 – czujnik hallotronowy

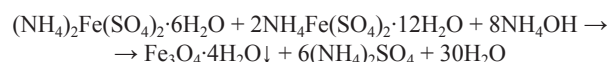
Prąd elektryczny przepływający przez uzwojenie generatora wytwarzał wirujące pole magnetyczne. Zależność natężenia pola magnetycznego od natężenia prądu elektrycznego pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Graficzne przedstawienie zależności natężenia pola magnetycznego od natężenia prądu elektrycznego przepływającego przez uzwojenie generatora wirującego pola magnetycznego

### Opis procedury doświadczalnej

Ferromagnetyczne cząstki magnetytu zostały uzyskane z następującej reakcji chemicznej [7]:

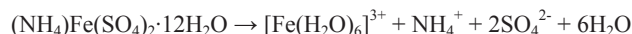


W początkowym etapie doświadczenia przygotowano roztwory zgodnie z zaleceniami przedstawionymi przez autora w pracy [7]:

- 0,1M  $\text{Fe}^{2+}$  (3,9 g soli *Mohra*  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  w 100 ml wody),
- 0,1M  $\text{Fe}^{3+}$  (4,8 g alunu żelazowego  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  w 100 ml wody),
- 1M  $\text{NH}_4\text{OH}$  (1 obj. 25% wody amoniakalnej na 14 obj. wody).

W celu uzyskania cząstek magnetytu należało roztwory zmieszać w odpowiednich proporcjach: 2 ml roztworu  $\text{Fe}^{2+}$ , 4ml roztworu  $\text{Fe}^{3+}$ , 10 ml wody destylowanej oraz 5 ml roztworu  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Zdecydowano się, że objętość roztworu  $\text{NH}_4\text{OH}$  będzie zmieniana (1, 2, 5, 7, 10, 15, 20 ml). W pierwszej kolejności do zlewki wiano odmierzoną ilość wody. Następnie do wody dolano roztwór zawierający jony  $\text{Fe}^{2+}$  oraz  $\text{Fe}^{3+}$ . Ciecz znajdująca się w zlewce zabarwiła się na kolor pomarańczowy. Po wlewaniu wody amoniakalnej pojawił się czarny osad, wykazujący właściwości magnetyczne.

Mechanizm reakcji, której produktem jest magnetyt, nie jest do końca poznany, jednak najprawdopodobniej jest to reakcja wieloetapowa [8, 9]. W pierwszym etapie następuje dysocjacja siarczanu (VI) amonu i żelaza (II) oraz siarczanu (VI) amonu i żelaza (III) na następujące jony:



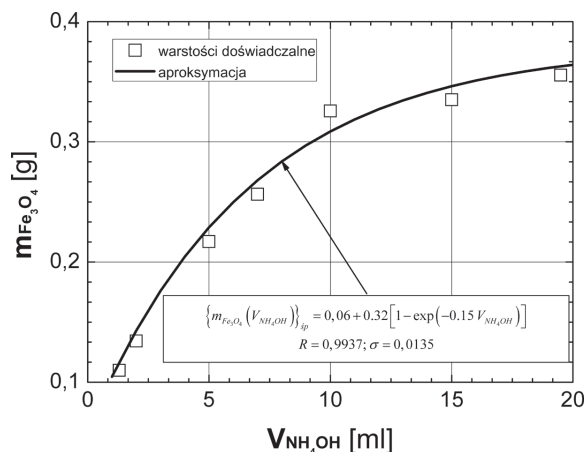
W wyniku dodania wody amoniakalnej pH roztworu rośnie, co powoduje hydrolizę jonów żelaza i następnie ich kondensację z utworzeniem mostka tlenowego  $[(\text{H}_2\text{O})_4\text{Fe}-\text{O}-\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4]^{6+}$ . Do powstałego kompleksu dołączane są kolejne cząstki żelaza, w wyniku czego powstaje magnetyt.

Doświadczenie prowadzono dwutorowo, reakcję przeprowadzono w obecności wirującego pola magnetycznego oraz jednocześnie w warunkach panujących w laboratorium bez obecności tego typu pola („ślepa próba”). Zastosowano następujące częstotliwości wirowania pola magnetycznego: 10, 20, 30, 40 i 50 Hz. Wartości częstotliwości odpowiadały natężeniu pola magnetycznego zmieniającemu się w zakresie  $8,38\text{--}50,28 \text{ kA} \cdot \text{m}^{-1}$ . Sumaryczny czas powstania magnetytu w wyniku omówionej reakcji wynosił około 30 minut. Otrzymany w wyniku przeprowadzonych reakcji chemicznych czarny osad (magnetyt) został

przesączone, a następnie zważony w celu określenia powstałej ilości materiału wykazującego własności ferromagnetyczne.

### Opracowanie danych doświadczalnych

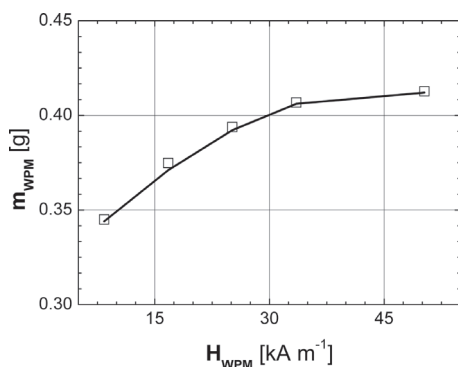
Otrzymane wyniki przedstawiono w formie wykresów. Na rys. 3 przedstawiono masę magnetytu otrzymaną w wyniku przeprowadzonych serii „ślepych prób”. Uzyskane wyniki, pokazane na tym rysunku w formie punktów, opisano zależnością analityczną w funkcji objętości dodanej wody amoniakalnej.



Rys. 3. Graficzne przedstawienie eksperymentalnie wyznaczonych wartości masy magnetytu w zależności od dodanej objętości wody amoniakalnej wraz z zależnością analityczną

Uzyskane rezultaty, przedstawione na rys. 3, świadczą o proporcjonalnym wzroście uzyskiwanej masy magnetytu wraz z zwiększeniem objętości dodanej wody amoniakalnej. Ilość wytworzonego magnetytu w „ślepej próbie” zależała tylko od objętości dodanej wody amoniakalnej.

Na rys. 4 przedstawiono przykładowe wyniki prac eksperymentalnych zrealizowanych w obecności wirującego pola magnetycznego, uzyskane w przypadku dodawania do mieszaniny roztworów  $Fe^{2+}$  i  $Fe^{3+}$  wody amoniakalnej o objętości wynoszącej  $V_{NH_4OH} = 20$  ml.



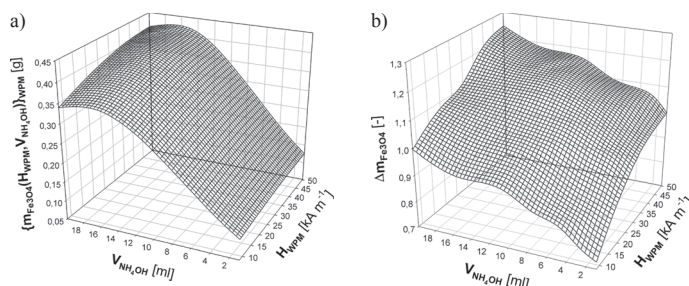
Rys. 4. Przykładowe wartości masy magnetytu uzyskanej podczas dodawania do mieszaniny roztworów  $Fe^{2+}$  i  $Fe^{3+}$  wody amoniakalnej  $V_{NH_4OH} = 20$  ml w obecności wirującego pola magnetycznego

Linia ciągła przedstawiona na rys. 4 opisana jest następującą zależnością:

$$\{m_{Fe_3O_4}(H_{WPM}, V_{NH_4OH})\}_{WPM} = 0,43 \exp \left[ -0,5 \left( \left( \frac{H_{WPM} - 52,06}{69,64} \right)^2 + \left( \frac{V_{NH_4OH} - 17,03}{10,21} \right)^2 \right) \right] \quad (1)$$

Aproxymuje ona w zadowalającym stopniu uzyskane wyniki ( $R = 0,9937$ ;  $\sigma = 0,0135$ ).

Na rys. 5a pokazano wykres funkcji (1). Wskazuje on na silną zależność uzyskiwanej masy magnetytu od dodawanej objętości wody amoniakalnej ( $V_{NH_4OH}$ ) i natężenia pola magnetycznego ( $H_{WPM}$ ).



Rys. 5. Wykresy przestrzenne przedstawiające: a) przebieg zależności (1), b) przebieg zależności (2)

Analizę otrzymanych wyników zdecydowano się przeprowadzić w oparciu o względną ilość uzyskiwanej masy magnetytu, którą zdefiniowano następująco:

$$\Delta m_{Fe_3O_4} = \frac{\{m_{Fe_3O_4}(H_{WPM}, V_{NH_4OH})\}_{WPM}}{\{m_{Fe_3O_4}(V_{NH_4OH})\}_{sp}} \quad (2)$$

Zależność (2) w postaci wykresu przestrzennego pokazano na rys. 5b. Przedstawia on efekt oddziaływania natężenia pola magnetycznego oraz wpływ objętości dodawanej wody amoniakalnej na otrzymywaną względną masę magnetytu. Jak można zauważyć wartości  $\Delta m_{Fe_3O_4} > 1$  są uzyskiwane przy objętości wody amoniakalnej wynoszącej 20 ml oraz przy jednoczesnym zwiększeniu natężenia pola magnetycznego. Uzyskiwane wartości  $\Delta m_{Fe_3O_4} < 1$  mogą świadczyć o dodaniu niewystarczającej objętości wody amoniakalnej, co prowadzi do niepełnego przereagowania substratów. Jak można zauważyć, zwiększenie zalecanej objętości wody amoniakalnej (>5 ml) powoduje uzyskanie większej masy magnetytu. Efekt ten jest spotęgowany dodatkowo przez zastosowanie wirującego pola magnetycznego.

### Wnioski

Z analizy wyników otrzymanych podczas badań w niniejszej pracy można wyciągnąć następujące wnioski:

- Prace badawcze miały na celu przeanalizowanie wpływu natężenia pola magnetycznego na otrzymaną masę osadu (magnetyt). Zaobserwowano, że wirujące pole magnetyczne oraz zmiana objętości wody amoniakalnej dodawanej do roztworów zawierających jony  $Fe^{2+}$  i  $Fe^{3+}$  wpływają na masę uzyskiwanego magnetytu.
- Z analizy wykresu przedstawionego na rys. 5 wynika, że wzrost masy wytwarzanego magnetytu jest proporcjonalny do natężenia pola magnetycznego i objętości dodawanej wody amoniakalnej.
- Wirujące pole magnetyczne może być czynnikiem kontrolującym reakcję chemiczną wytwarzającą produkt o właściwościach ferromagnetycznych.

### LITERATURA

- [1] R.Y. Hong, B. Feng, Z.Q. Ren, B. Xu, H.Z. Li, Y. Zheng, D.G. Wei: Chem. Eng. J. **144**, 329 (2008).
- [2] V. Ervithayasuporn, Y. Kawakami: J. Colloid Int. Sci. **332**, 389 (2009).
- [3] R.Y. Hong, B. Feng, L.L. Chen, G.H. Liu, H.Z. Li, Y. Zheng, D.G. Wei: Biochem. Eng. J. **42**, 290 (2008).
- [4] T. Gong, D. Yang, J. Hu, W. Yang, Ch. Wang, J. Quig Lu: Colloids and Surfaces A **339**, 232 (2009).
- [5] S.A. Kahani, M. Jafari: J. Magn. Magn. Mater. **321**, 1951 (2009).
- [6] R. Rakoczy: Com. Mat. Sci. **47**, 460 (2009).
- [7] R.E. Rosensweig: Ferrohydrodynamics. Dover Publications Inc., New York 1985.
- [8] T.P. Fehlner: Inorganic chemistry. New York 1992.
- [9] J.J. Zuckerman: Inorganic reactions and methods. Florida 1986.