

Barbara PIECZYKOLAN¹, Izabela PŁONKA¹, Krzysztof BARBUSIŃSKI¹
Marzena JEŃDRYS¹ i Mateusz LESIK¹

ODBARWIANIE ROZTWORÓW ZAWIERAJĄCYCH ACID GREEN 16 ZA POMOCĄ ODCZYNNIKA FENTONA Z NADWĘGLANEM SODU

DISCOLORATION OF SOLUTIONS CONTAINING ACID GREEN 16 USING FENTON'S REAGENT WITH SODIUM PERCARBONATE

Abstrakt: W badaniach zastosowano dwie modyfikacje odczynnika Fentona z nadwęglanem sodu (jako alternatywnym źródłem H₂O₂) przy zastosowaniu różnego rodzaju źródła Fe²⁺: FeSO₄·7H₂O oraz wiórków stalowych. Efektywność oczyszczania roztworów oceniano na podstawie analizy stężenia barwnika Acid Green 16 (zieleń kwasowa czysta V). W trakcie badań ustalano wpływ poszczególnych parametrów zmodyfikowanego procesu Fentona (wartości pH, dawki nadwęglanu sodu, zawartości jonów żelaza pochodzących z FeSO₄ oraz z wiórków stalowych, czasu reakcji przy modyfikacji z siarczanem żelaza oraz czasu kontaktu przy modyfikacji z wiórkami stalowymi) na efektywność odbarwiania. Ponadto w przypadku układu z wiórkami stalowymi określano wpływ tzw. „dodatkowego czasu reakcji”, którym jest czas, po jakim alkalizowano próbki przefiltrowanych roztworów przez złożo wypełnione wiórkami. Wynosił on „0” (filtraty alkalizowano od razu po przefiltrowaniu), 10, 20 i 30 minut. Przeprowadzone badania wykazały, że obie modyfikacje odczynnika Fentona umożliwiły efektywne odbarwienie ścieków. W przypadku układu z zastosowaniem nadwęglanu sodu i siarczanu żelaza(II) najlepsze efekty otrzymano przy dawce nadwęglanu sodu = 350 mg/dm³, stosunku Fe²⁺/nadwęglanu sodu = 0,4, czasie reakcji = 15 minut oraz pH = 3. W przypadku systemu z wiórkami stalowymi wymagana dawka nadwęglanu sodu do skutecznego usunięcia barwy wynosiła 600 mg/dm³ przy czasie kontaktu z wiórkami = 39,6 sekund i dodatkowym czasie reakcji = 0 minut (roztwory alkalizowane bezpośrednio po przefiltrowaniu), pH = 2 oraz wiórków o masie = 0,5 g.

Słowa kluczowe: barwniki, odbarwianie, odczynnik Fentona, procesy pogłębioego utleniania

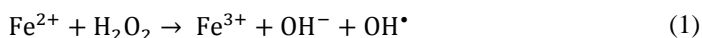
Wprowadzenie

Barwniki znajdują zastosowanie w bardzo wielu gałęziach przemysłu. Stosowane są między innymi w przemyśle włókienniczym, garbarskim, papierniczym, jak również w chemii gospodarczej, budownictwie czy meblarstwie. W wyniku procesów produkcyjnych powstają ścieki, które mogą zawierać wysokie stężenia barwników. Nieoczyszczone ścieki wpływają negatywnie na odbiornik i jego ekosystem. Ze względu na to, że barwniki mogą charakteryzować się negatywnym, a także muta- i kancerogennym oddziaływaniem na organizmy wodne, istotne jest skuteczne oczyszczenie ścieków zawierających barwniki [1].

Oczyszczanie ścieków zawierających barwniki może być realizowane za pomocą wielu różnych metod fizyczno-chemicznych. Zastosowanie znajdują takie procesy, jak: koagulacja [2, 3], sorpcja [4-7], techniki membranowe [8-10], jak również procesy pogłębioego utleniania [11-14].

¹ Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Śląska, ul. S. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 16 98, fax 32 237 10 47, email: barbara.pieczykolan@polsl.pl, rie4@polsl.pl
Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole' 16, Zakopane, 5-8.10.2016

Klasyczny odczynnik Fentona jest to mieszanina jonów Fe^{2+} oraz nadtlenu wodoru (reakcja (1)) [14]. W wyniku reakcji tych reagentów w środowisku kwaśnym powstają rodniki hydroksylowe (odczynnik Fentona zaliczany jest w związku z tym do metod pogłębianego utleniania).



Możliwe jest stosowanie modyfikacji klasycznego odczynnika Fentona poprzez wspomaganie promieniowaniem UV [13], procesami elektrochemicznymi [11, 12] czy też zastępowaniem czystego nadtlenu wodoru innymi reagentami, takimi jak nadtlenek wapnia i magnezu [15, 16] czy nadwęglan sodu [16, 17]. Również jony żelaza biorące udział w tym procesie mogą pochodzić z różnych źródeł (nie tylko z soli żelaza(II)). Stosowane może być przykładowo żelazo na zerowym stopniu utlenienia czy nawet wiórki stalowe (będące materiałem odpadowym, a zatem tanim źródłem jonów żelaza) [18].

Metodyka badań

Badania prowadzono, stosując roztwory zawierające barwnik Acid Green 16 (zieleń kwasowa czysta V, C.I. 44025) o stężeniu 100 mg/dm^3 . Stężenie barwnika oznaczano metodą kolorymetryczną na podstawie sporządzonej krzywej wzorcowej przy długości fali $\lambda = 590 \text{ nm}$. Efektywność procesu określano, uwzględniając zmianę stężenia barwnika, stopień jego usunięcia oraz oceniając barwę roztworów po procesie utleniania.

Zastosowano dwie różne modyfikacje klasycznego odczynnika Fentona: w serii I nadwęglan sodu-siarczan żelaza(II), a w serii II nadwęglan sodu-wiórki stalowe.

W obydwu modyfikacjach jako alternatywne źródło nadtlenu wodoru w reakcji Fentona wykorzystano nadwęglan sodu $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$. Natomiast źródłem jonów żelaza (II) był w serii I uwodniony $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, a w serii II - wiórki stalowe (z zawartością około 90% żelaza i takich domieszek, jak: węgiel, wanad czy chrom).

Seria I realizowana była na mieszałkach magnetycznych w zlewkach laboratoryjnych o objętości $0,5 \text{ dm}^3$, natomiast eksperymenty serii II prowadzono przy wykorzystaniu procesu dynamicznego poprzez filtrowanie przez kolumnę wypełnioną wiórkami stalowymi zakwaszonych roztworów z dodanym w odpowiedniej ilości nadwęglanem sodu.

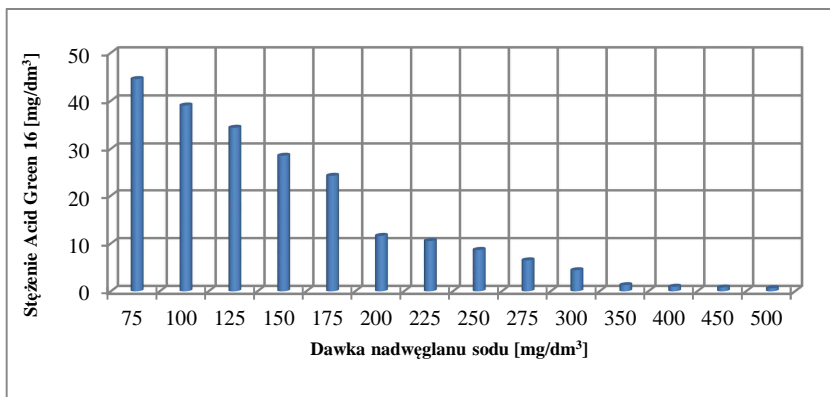
W trakcie badań ustalano najkorzystniejsze wartości poszczególnych parametrów procesowych w celu uzyskania efektywnego usunięcia barwnika Acid Green 16 z roztworów, takich jak: dawka nadwęglanu sodu, pH reakcji, czas reakcji (w serii I), czas kontaktu z wiórkami stalowymi w kolumnie złoża filtracyjnego (w serii II), stosunek masowy $\text{Fe}^{2+}/(\text{nadwęglan sodu})$ w I serii oraz masy wiórków w II serii.

Omówienie wyników badań

Seria I: nadwęglan sodu-siarczan żelaza(II)

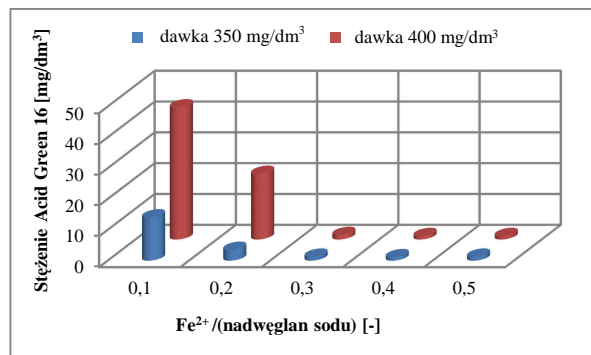
W trakcie badań w serii I zastosowano dawki nadwęglanu sodu w zakresie $75\text{-}500 \text{ mg/dm}^3$ przy pozostałych stałych parametrach: $\text{pH} = 3$, czas reakcji = 15 minut oraz stosunek masowy $\text{Fe}^{2+}/(\text{nadwęglan sodu}) = 0,3$. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem dawki $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$ uzyskiwano stopniowe obniżanie się stężenia Acid Green 16 w próbach po procesie utleniania (rys. 1). Największy wzrost skuteczności usunięcia barwy zaobserwowano podczas wzrostu dawki tego reagenta od 75 do 200 mg/dm^3 . Wówczas

stężenie Acid Green 16 obniżyło się z 44,54 do 11,6 mg/dm³. Jednakże takie stężenie barwnika w roztworze nadal powodowało silne zielone zabarwienie. Konieczne było zatem dalsze zwiększanie dawki nadwęglanu sodu. Przyczyniło się to do stopniowego obniżania się stężenia barwnika przy stosowaniu coraz to większych dawek 2Na₂CO₃·3H₂O₂. Wprowadzenie dawki nadwęglanu sodu wynoszącej 350 mg/dm³ i powyżej spowodowało odbarwienie roztworów. Na podstawie tego etapu do dalszych badań wytypowano dawki 350 i 400 mg/dm³.



Rys. 1. Wpływ dawki nadwęglanu sodu na efektywność usunięcia Acid Green 16 przy pH = 3, $t = 15$ min, $Fe^{2+}/(\text{nadwęglan sodu}) = 0,3$

Fig. 1. The effect of sodium percarbonate dose on efficiency of Acid Green 16 removal at pH = 3, $t = 15$ min, ratio of $Fe^{2+}/(\text{sodium percarbonate}) = 0.3$



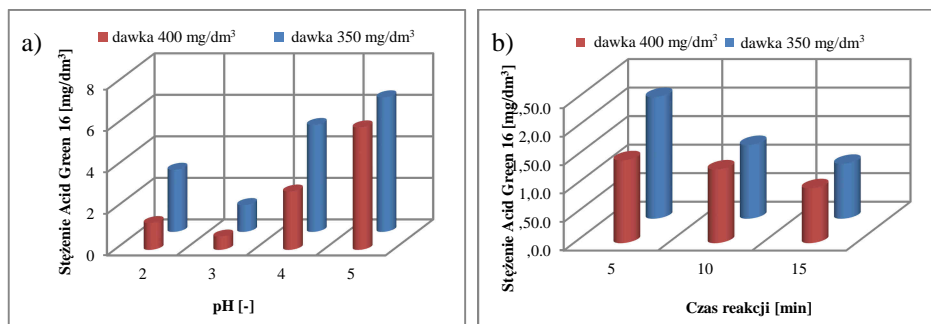
Rys. 2. Wpływ wartości stosunku masowego $Fe^{2+}/(\text{nadwęglan sodu})$ na efektywność usunięcia Acid Green 16 przy pH = 3, $t = 15$ min

Fig. 2. The effect of ratio of $Fe^{2+}/(\text{sodium percarbonate})$ on efficiency of Acid Green 16 removal at pH = 3, $t = 15$ min

Kolejnym ustalonym parametrem był stosunek masowy $Fe^{2+}/(\text{nadwęglan sodu})$ dla obu wybranych dawek nadwęglanu sodu oraz pH = 3 i 30-minutowym czasie reakcji. Wykazano, że wraz ze zwiększaniem wartości tego stosunku stężenie barwnika ulegało

obniżeniu (rys. 2), przy czym największy wzrost efektywności miał miejsce przy zwiększeniu stosunku $\text{Fe}^{2+}/(\text{nadwęglan sodu})$ od 0,1 do 0,3. Wynika to z faktu, że w celu uzyskania dużej skuteczności reakcji Fentona wymagana jest odpowiednio duża zawartość jonów Fe^{2+} . Zbyt małe stężenie tych jonów zmniejsza efektywność procesu utleniania, gdyż generowana jest niewystarczająca ilość rodników hydroksylowych (będących głównym czynnikiem oczyszczającym w reakcji Fentona). Do kolejnych etapów badań wybrano stosunek $\text{Fe}^{2+}/(\text{nadwęglan sodu}) = 0,4$, gdyż wówczas nastąpiło odbarwienie roztworów.

Następnie dokonano doboru najkorzystniejszego pH reakcji oraz czasu reakcji. W przypadku ustalania wartości pH odnotowano, że największą skuteczność usunięcia barwnika Acid Green 16 otrzymano przy $\text{pH} = 3$ (rys. 3a). Stężenie Acid Green 16 wyniosło wówczas $1,29 \text{ mg/dm}^3$ dla obydwu dawek nadwęglanu sodu. Zwiększenie wartości pH do 4 i 5, jak również jego zmniejszenie do 2 generalnie przyczyniało się do obniżenia efektywności odbarwiania. Wynika to z faktu, że w przypadku niskiego pH występuje nadmiar jonów H^+ , które działają jako tzw. „zmiatacze” rodników hydroksylowych. Natomiast zastosowanie wyższego pH mogło spowodować, że stężenie jonów H^+ było zbyt małe do wygenerowania odpowiednio dużej ilości rodników OH^\cdot , by skutecznie mógł zajść proces utleniania barwnika.



Rys. 3. Stężenie Acid Green 16 po procesie utleniania: a) przy zmiennym pH i $\text{Fe}^{2+}/(\text{nadwęglan sodu}) = 0,4$, $t = 15 \text{ min}$; b) przy zmiennym czasie reakcji i $\text{pH} = 3$, $\text{Fe}^{2+}/(\text{nadwęglan sodu}) = 0,4$

Fig. 3. The concentration of Acid Green 16 after oxidation process during: a) different value of pH (ratio of $\text{Fe}^{2+}/(\text{sodium percarbonate}) = 0,4$, $t = 15 \text{ min}$); b) different reaction time ($\text{pH} = 3$, $\text{Fe}^{2+}/(\text{sodium percarbonate}) = 0,4$)

Badania wykazały ponadto, że wymagany czas reakcji wynosi 10 minut, gdyż wówczas stężenie Acid Green 16 obniżyło się do wartości $1,29 \text{ mg/dm}^3$ dla obydwu stosowanych dawek (rys. 3b). Zastosowanie krótszego czasu nie umożliwiło odbarwienia roztworów, a jego wydłużenie tylko w nieznacznym stopniu przyczyniło się do zwiększenia skuteczności procesu (zawartość barwnika w roztworze obniżyła się jedynie do $0,96 \text{ mg/dm}^3$). Dlatego ze względów ekonomicznych zasadne jest zastosowanie 10-minutowej reakcji.

Seria II: nadwęglan sodu-wiórki stalowe

W trakcie II serii badań na początku ustalone zostało wymagane pH reakcji oraz czas kontaktu roztworu z wiórkami stalowymi wypełniającymi kolumnę (poprzez zmianę prędkości filtracji v_f).

W modyfikacji odczynnika Fentona z wiórkami stalowymi (jako alternatywne źródło jonów Fe^{2+}) bardzo istotny wpływ na skuteczność procesu wywiera wartość pH. By uwalniane były do środowiska ze stali jony Fe^{2+} , wymagany jest kwaśny odczyn. Dlatego w trakcie badań sprawdzono tylko dwie wartości tego parametru przy dawce nadwęglanu sodu wynoszącej 200 mg/dm^3 (tab. 1). Odnotowano, że zdecydowanie większa efektywność procesu odbarwiania miała miejsce przy $pH = 2$ niż przy $pH = 3$. Widać, iż nawet niewielkie zwiększenie wartości tego parametru przyczyniło się do znacznego obniżenia skuteczności utleniania Acid Green 16.

Tabela 1

Wpływ pH na efektywność procesu nadwęglan sodu-wiórki stalowe (seria II) przy czasie kontaktu = 77 s oraz masie wiórków w kolumnie = 2 g

Table 1

The effect of pH on the efficiency of sodium percarbonate-steel swarf process (II series) - contact time = 77 s, the amount of steel swarf in column = 2 g

Dawka nadwęglanu sodu [mg/dm^3]	pH reakcji [-]	Stężenie Acid Green 16 [mg/dm^3]
200	2	3,74
200	3	12,9

W przypadku ustalania czasu kontaktu roztworu z wiórkami wypełniającymi kolumnę filtracyjną poprzez zmianę prędkości filtracji wykazano, że lepsze efekty uzyskano podczas zastosowania większej z dwóch badanych prędkości (tab. 2). Przy filtrowaniu roztworu z $v_f = 5,34 \text{ cm/min}$ stężenie barwnika wyniosło $2,13 \text{ mg/dm}^3$. Dwukrotne zmniejszenie prędkości przyczyniło się do obniżenia efektywności procesu (stężenie barwnika = $3,69 \text{ mg/dm}^3$). Zjawisko to mogło wynikać z faktu, że wraz ze zmniejszeniem v_f zwiększył się czas kontaktu roztworu z wiórkami i wskutek tego z wiórków uwolniona została większa ilość Fe^{2+} do odbarwanego medium. Wiadomo natomiast, iż nadmiar jonów żelaza powodować może zjawisko tzw. "zmiatania" rodników hydroksylowych.

Tabela 2

Wpływ czasu kontaktu roztworów ze złożem z wiórków stalowych na efektywność procesu nadwęglan sodu-wiórki stalowe przy dawce nadwęglanu sodu = 200 mg/dm^3 , $pH = 2$ i masie wiórków stalowych = 2 g

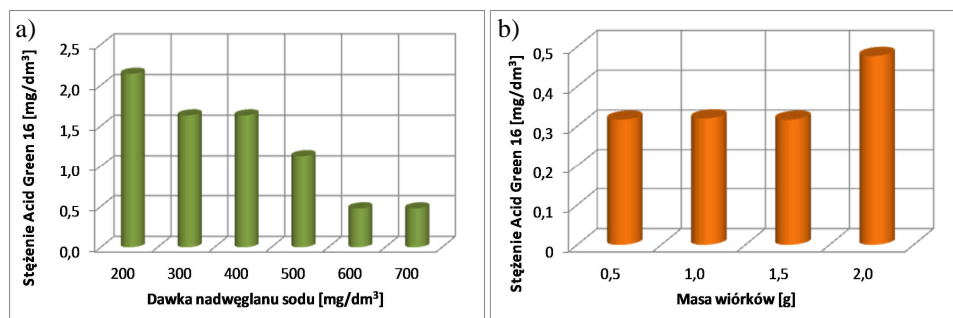
Table 2

The effect of contact time of solutions with steel swarfs on the efficiency of sodium percarbonate-steel swarf process (dose of sodium percarbonate = 200 mg/dm^3 , $pH = 2$ and the amount of steel swarf in column = 2 g)

Prędkość filtracji [cm/min]	Czas kontaktu roztworu ze złożem wypełnionym wiórkami [s]	Stężenie Acid Green 16 [mg/dm^3]
2,73	77	3,69
5,34	39,6	2,13

W dalszym etapie badań serii II ustalono najkorzystniejszą dawkę nadwęglanu sodu oraz masę wiórków stalowych wypełniającą kolumnę.

Zwiększanie dawki nadwęglanu sodu powodowało stopniowy wzrost skuteczności usuwania Acid Green 16 (rys. 4a). Przy dawce 200 mg/dm^3 uzyskano stężenie barwnika $2,14 \text{ mg/dm}^3$. Zwiększenie ilości utleniacza do $600 \text{ mg } 2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2/\text{dm}^3$ spowodowało obniżenie Acid Green 16 do $0,48 \text{ mg/dm}^3$. Wówczas też dopiero uzyskano odbarwienie roztworów. W związku z tym do etapu doboru masy wiórków wypełniających kolumnę wybrano właśnie dawkę $600 \text{ mg } 2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2/\text{dm}^3$. Stwierdzono wówczas, że lepsze efekty procesu uzyskano przy mniejszej masie wiórków (rys. 4b). Zjawisko to wynika z tego, iż z większej masy wiórków uwalniana jest większa ilość żelaza(II). Natomiast nadmiar jonów Fe^{2+} przyczynia się do zmniejszania skuteczności reakcji Fentona (ze względu na reakcję rodników hydroksylowych z nadmiarem Fe^{2+}).



Rys. 4. Stężenie Acid Green 16 po procesie utleniania: a) przy zmiennej dawce nadwęglanu sodu i $\text{pH} = 2$, masie wiórków = 2 g, czasie kontaktu = 39,6 s; b) przy zmiennej masie wiórków i $\text{pH} = 2$, 600 mg nadwęglanu sodu/ dm^3 , czasie kontaktu = 39,6 s

Fig. 4. The concentration of Acid Green 16 after oxidation process: a) at different dose of sodium percarbonate ($\text{pH} = 2$, the amount of steel swarf = 2 g, contact time = 39.6 s); b) at different amount of steel swarf ($\text{pH} = 2$, 600 mg sodium percarbonate/ dm^3 , contact time = 39.6 s)

W ostatniej fazie badań serii II określono, czy zastosowanie dodatkowego czasu reakcji przyczyni się do poprawy skuteczności odbarwiania. Badania te polegały na tym, że filtry były gromadzone i dopiero po odpowiednio 10, 20 i 30 minutach poddawano je neutralizacji (a nie tak jak we wcześniejszych etapach, kiedy to filtry neutralizowano bezpośrednio po przefiltrowaniu). Eksperymenty te przeprowadzono dla dawki $600 \text{ mg } 2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2/\text{dm}^3$, $\text{pH} = 2$, czasu kontaktu = 39,6 s i masy wiórków = 0,5 g. Wykazano, że pozostawienie próbek roztworów po filtracji przez kolumnę na dodatkowy czas reakcji nie przyczyniło się do zwiększenia skuteczności. Stężenia barwnika po 0, 10, 20 i 30 minutach dodatkowej reakcji wyniosły dokładnie $0,32 \text{ mg/dm}^3$.

Wnioski

1. Przeprowadzone badania wykazały, że obie zastosowane modyfikacje odczynnika Fentona umożliwiają skuteczne usunięcie barwnika z roztworów przy początkowym jego stężeniu 100 mg/dm^3 .
2. W przypadku serii I nadwęglan sodu-siarczan żelaza(II) najlepsze efekty uzyskano, stosując następujące parametry procesu: $350 \text{ mg } 2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2/\text{dm}^3$, $\text{pH} = 3$,

- stosunek $\text{Fe}^{2+}/(\text{nadwęglan sodu}) = 0,4$, czas reakcji 10 minut. Wówczas odnotowano całkowite odbarwienie roztworu, a stężenie barwnika wynosiło $1,29 \text{ mg/dm}^3$.
3. W przypadku serii II nadwęglan sodu-wiórki stalowe największą skuteczność odbarwiania (stężenie barwnika na poziomie $0,32 \text{ mg/dm}^3$) otrzymano przy dawce nadwęglanu sodu = 600 mg/dm^3 , $\text{pH} = 2$, czasie kontaktu roztworu z wiórkami wypełniającymi kolumnę filtracyjną równym 39,6 s oraz masie wiórków w kolumnie 0,5 g.
 4. Obie serie badawcze wykazały, że w badanym zakresie dawek $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$ wraz ze wzrostem ilości reagenta rosła efektywność procesu odbarwiania.
 5. Ponadto wykazano, że bardzo istotny wpływ na efektywność procesu ma zawartość jonów Fe^{2+} . Zarówno zbyt mała ich ilość (co obserwowano przede wszystkim w I serii badawczej), jak i ich nadmiar (które to zjawisko miało miejsce w serii II) przyczynia się do obniżania skuteczności procesu utleniania. Nadmiar Fe^{2+} działa jako tzw. "zmiatacze" rodników hydroksylowych. Niedobór natomiast nie umożliwia generowania odpowiedniej ilości OH^\bullet .
 6. Wykazano również, że w przypadku wykorzystywania wiórków stalowych jako alternatywnego źródła żelaza, aby mogły zostać uwolnione ze stali jony Fe^{2+} , konieczne jest zastosowanie niskiej wartości pH (równiej 2). Natomiast w serii I (gdy dodawano $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) najkorzystniejsze było $\text{pH} = 3$ (wówczas uzyskano największą skuteczność).

Podziękowania

Badania były finansowane przez fundusz prac statutowych Politechniki Śląskiej w Gliwicach w ramach projektu BK-231/RIE-4/2017.

Literatura

- [1] Majewska-Nowak K. Ochrona Środ. 1986;488:17-22. www.os.not.pl/docs/czasopismo/1986/Majewska-Nowak_4-1986.pdf.
- [2] Ledakowicz S, Solecka M. Gaz, Woda Technika Sanit. 2001;3:103-107. <http://www.gazwoda.pl/index.php?numer=39>.
- [3] Mbacké MK, Kane C, Diallo NO, Diop CM, Chauvet F, Comtat M. et al. J Environ Chem Eng. 2016;4:4001-4011. DOI: 10.1016/j.jece.2016.09.002.
- [4] Shaobin W, Huiting L, Sujuan X, Shenglin L, Longya X. Chemosphere. 2006;6:82-87. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2006.02.043.
- [5] Al-Degs Y, Khraisheh MAM, Allen SJ, Ahmad MN. Water Res. 2000;34:927-935. DOI: 10.1016/S0043-1354(99)00200-6.
- [6] Heibati B, Rodriguez-Couto S, Al-Ghouti MA, Asif M, Tyagi I, Agarwal S, et al. J Molecular Liq. 2015;208:99-105. DOI: 10.1016/j.molliq.2015.03.057.
- [7] Yener J, Kopac T, Dogu G, Dogu T. Chem Eng J. 2008;144: 400-406. DOI: 10.1016/j.cej.2008.02.009.
- [8] Akbari A, Remigy JC, Aptel P. Chem Eng Process. 2002;41:601-609. DOI: 10.1016/S0255-2701(01)00181-7.
- [9] Jiraratananon R, Sungpet A, Luangsowan P. Desalination. 2000;130:177-183. DOI: 10.1016/S0011-9164(00)00085-0.
- [10] Liu M, Chen Q, Lu K, Huang W, Lü Z, Zhou C, et al. Separat Purif Technol. 2017;173:135-143. DOI: 10.1016/j.seppur.2016.09.023.
- [11] El-Ghenymy A, Centellas F, Rodríguez RM, Cabot PL, Garrido JA, Sirés I, et al. Electrochim Acta. 2015;182:247-256. DOI: 10.1016/j.electacta.2015.09.078.
- [12] Ozcan A, Gençten M. Chemosphere. 2016;146:245-252. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.12.013.

- [13] Ayodele OB, Togunwa OS. *Appl Catalysis A: General*. 2014;470:285-293. DOI: 10.1016/j.apcata.2013.11.013.
- [14] Youssef NA, Shaban SA, Ibrahim FB, Mahmoud AS. *Egypt J Petroleum*. 2016;25:317-321. DOI: 10.1016/j.ejpe.2015.07.017.
- [15] Barbusiński K. *Chemik - Nauka, technika, rynek*. 2006;9:433-438.
- [16] Barbusiński K. *Chemik - Nauka, technika, rynek*. 2008;6:259-263.
- [17] Barbusiński K, Pieczykolan B, Dadał A. *Gaz, Woda Technika Sanit*. 2008;11:24-26. <http://www.gazwoda.pl/index.php?option=content&task=view&id=6702>.
- [18] Barbusiński K, Pieczykolan B. *Inż Ochrona Środ*. 2009;12:35-49. <https://ios.is.pcz.pl/index.php/tom-12/numer-1-2009>.

DISCOLORATION OF SOLUTIONS CONTAINING ACID GREEN 16 USING FENTON'S REAGENT WITH SODIUM PERCARBONATE

Faculty of Energy and Environmental Engineering, Silesian University of Technology, Gliwice

Abstract: During the study two modifications Fenton reagent with sodium percarbonate (as an alternative source of H_2O_2) were used. There were using different kinds of sources of Fe^{2+} : $FeSO_4$ and steel swarf. The efficiency of wastewater treatment was determined on the basis of the dye Acid Green 16 concentration. During the tests the influence of the individual parameters of modified Fenton process on the effectiveness of discoloration was examined (value of initial pH, dose of sodium percarbonate, the quantity of iron ions originating from $FeSO_4$ or steel swarf, the reaction time - for modification sodium percarbonate- $FeSO_4$ and so-called: additional reaction time for modification sodium percarbonate-steel swarf). The additional reaction time is the time after which the samples (of dye solution) filtered through the bed (filled with steel swarf) were alkalized. That time was equaled to "0" (filtrate was alkalized immediately after the filtration) 10, 20 and 30 minutes. The study showed that both modifications of Fenton reagent enabled effectively discolor the solutions. For a system with the sodium percarbonate and iron sulfate(II), the best results were obtained with a dose of sodium percarbonate = 350 mg/dm^3 , the ratio of Fe^{2+} /sodium percarbonate = 0.4, reaction time = 15 min, and pH = 3. In the case of systems with steel swarf, higher dose of sodium percarbonate was required to efficiently remove the color (600 mg/dm^3), a contact time with swarf of 39.6 seconds, and additional reaction time = 0 minutes (solutions alkalized immediately after filtration), pH = 2, and quantity of swarf = 0.5 g.

Keywords: dye, discoloration, Fenton reagent, advanced oxidation processes