



Badania nad usuwaniem barwnych związków organicznych ze ścieków z przemysłu włókienniczego

Lidia Dąbek, Ewa Ozimina, Anna Picheta-Oleś
Politechnika Świętokrzyska

1. Wstęp

Oczyszczanie ścieków przemysłowych ze względu na zróżnicowany skład ilościowy i jakościowy jest złożonym zagadnieniem będącym wciąż przedmiotem licznych badań. Przykładem ścieków, których oczyszczanie nastęrcza wiele problemów, są ścieki pochodzące z przemysłu farbiarskiego, włókienniczego, poligraficznego, zawierające w swoim składzie barwniki oraz inne substancje takie jak: oleje mineralne i silikonowe, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, pestycydy, detergenty, kwasy nieorganiczne, silne utleniacze stosowane jako środki wybielające, a także kleje oraz alkalia [5, 6, 13, 17, 22]. Występujące w tych ściekach barwniki to złożone cząsteczki organiczne i metaloorganiczne, zawierające pierścienie aromatyczne oraz ugrupowania azowe, nitrowe, nitrozowe, chinoidowe, iminochinoidowe, polienowe lub disiarczkowe [1, 12, 14]. Z uwagi na ogromną ilość związków stosowanych jako barwniki, które różnią się grupami chromoforowymi oraz podstawnikami nadającymi im specyficzne właściwości jak rozpuszczalność i polarność, do ich usuwania ze ścieków, konieczne jest stosowanie, a często nawet łączenie wielu metod takich jak biodegradacja, koagulacja, sorpcja, utlenianie i filtracja. Dane literaturowe [11, 14, 18] wskazują, że coraz częściej do oczyszczania ścieków zawierających barwniki stosuje się metody pogłębionego utleniania (AOP *Advanced Oxidation Process*), wykorzystujące wysoki potencjał utleniający (2,7 V) powstających w środowisku reakcji rodników hydrok-

syłowych OH^* [2, 4, 19]. Rodniki te powstają w efekcie działania promieniowania UV na ozon lub nadtlenek wodoru oraz w reakcji Fentona w obecności lub bez promieniowania ultrafioletowego. Wysoko reaktywne rodniki hydroksylowe reagują praktycznie ze wszystkimi związkami organicznymi powodując ich rozkład na prostsze cząsteczki lub prowadząc do całkowitego utlenienia.

Większość prezentowanych w literaturze wyników dotyczy badań modelowych odnoszących się najczęściej do usuwania z roztworów pojedynczych substancji organicznych. Zdecydowanie mniej jest publikacji poświęconych wykorzystaniu metod AOP do oczyszczania ścieków przemysłowych o złożonym i trudnym do zdefiniowania składzie chemicznym [4, 5, 13]. W prezentowanej pracy podjęto badania nad usuwaniem barwnych związków organicznych ze ścieków przemysłowych z procesu barwienia włókien syntetycznych. Zakład Produkcyjny skąd pobierane były próbki do badań, w chwili obecnej, nie prowadzi wstępnego podczyszczania ścieków. Jako metodę usuwania związków barwnych zastosowano zarówno utlenianie z wykorzystaniem: nadtlenu wodoru, nadtlenu magnezu, reakcji Fentona, promieniowania UV, sorpcji na węglach aktywnych oraz symultanicznego procesu sorpcji i utleniania.

2. Metodyka badań

2.1. Charakterystyka ścieków

W badaniach wykorzystano ścieki przemysłowe pochodzące z procesu barwienia włókien syntetycznych, charakteryzujące się barwą niebieską. Próbki do badań pobierano zgodnie z procedurą PN-EN ISO 5667-1:2007 i utrwalono H_2SO_4 do pH 3-4. Dla badanych ścieków wykonano oznaczenia BZT_5 wg PN-EN 1899-1:2002, ChZT wg procedury zgodnie z normą PN – 74/C – 04578.03.

2.2. Charakterystyka węgla aktywnego WDex

Dla badanego węgla aktywnego WDex oznaczono: zdolność do dechloracji (oznaczaną wg DIN 19603), liczbę adsorpcji jodu (wg PN-83/C-97555.04), zawartość popiołu (wg PN-84/C-97555.08), liczbę metylenową (PN-82/C-97555.03), zawartość substancji rozpuszczalnych (PN-88/C-97555.11) oraz pH wyciągu wodnego oraz określono strukturę porowatą na podstawie badań niskotemperaturowej adsorpcji azotu (77

K). Izotermę adsorpcji i desorpcji wyznaczono metodą objętościową przy użyciu aparatu Sorptomat 1900.

2.3. Procedury usuwania barwnych związków organicznych:

- sorpcja na węglu aktywnym WDex

W kolbach stożkowych odważono kolejno od 0,1–1,5 g węgla aktywnego WDex, a następnie zadawano próbką ścieków o objętości 100 cm³ i wytrząsano w czasie 24 godzin. Czas kontaktu wyznaczono w oparciu o wcześniejsze badania kinetyki sorpcji. W trakcie sorpcji w roztworze, w określonych odstępach czasowych, oznaczono ChZT.

- symultaniczne działanie węgla aktywnego i nadtlenu wodoru

Do próbki badanych ścieków wprowadzono równocześnie 5 g/L węgla aktywnego WDex i 5 g/L nadtlenu wodoru. Zawartość kolby wytrząsano w czasie od 15 minut do 24 godzin. W roztworze, w określonych odstępach czasowych, oznaczono ChZT. Próbkę oznaczono symbolem WDex/H₂O₂.

- utlenianie nadtlakiem magnezu

Do próbki badanych ścieków wprowadzono MgO₂ w ilości równoważnej od 1 do 5 g/L H₂O₂. Całość wytrząsano w czasie od 15 minut do 24 godzin. W roztworze, w określonych odstępach czasowych, oznaczono ChZT. Próbkę oznaczono symbolami MgO₂/1, MgO₂/2, MgO₂/3, MgO₂/4, MgO₂/5 w zależności od dawki nadtlenu magnezu.

- symultaniczne działanie węgla aktywnego i nadtlenu magnezu

Do próbki badanych ścieków wprowadzono równocześnie 5 g/L węgla aktywnego WDex i MgO₂ w ilości równoważnej od 1 do 5 g/L H₂O₂. Całość wytrząsano w czasie od 15 minut do 24 godzin. W roztworze, w określonych odstępach czasowych, zawartość ChZT. Badane próbki oznaczono symbolami WDex/MgO₂/1, WDex/MgO₂/2, WDex/MgO₂/3, WDex/MgO₂/4, WDex/MgO₂/5 w zależności od dawki nadtlenu magnezu.

- z wykorzystaniem węgla aktywnego, nadtlenu wodoru i promieniowania UV ($\lambda = 254\text{nm}$),

Do próbki badanych ścieków wprowadzono równocześnie 5 g/L węgla aktywnego WDex i 5 g/L nadtlenu wodoru. Tak przygotowaną próbkę naświetlano UV przez 15 minut, a następnie wytrząsano 24 godziny. W roztworze, w określonych odstępach czasowych, oznaczono ChZT. Próbkę oznaczono symbolem WDex/H₂O₂/UV.

- z wykorzystaniem reakcji Fentona,

W kolbach stożkowych umieszczono 100 cm³ badanych ścieków następnie wprowadzono równocześnie FeSO₄ · 7H₂O oraz nadtlenek wodoru (lub nadtlenek magnezu MgO₂) w stosunku Fe²⁺ : H₂O₂ wynoszącym 1:5. Całość wytrząsano w czasie od 1 do 2 godzin. W roztworze, w określonych odstępach czasowych, oznaczono ChZT i OWO. Próbkę oznaczono symbolem Fe/H₂O₂.

3. Wyniki badań i ich omówienie

Zakład Produkcyjny, z którego pobrano próbki do badań odprowadza ścieki przemysłowe w ilości Q_{hmax} = 115 m³/h, Q_{dśr} = 959 m³/d, Q_{dmax} = 1151 m³/d, Q_{rśr} = 220570 m³/r, Q_{rmax} = 264730 m³/r ścieków. Charakterystykę badanych ścieków przedstawiono w tabeli 1. Z danych tych wynika, że w ściekach znajduje się mieszanina związków organicznych o zróżnicowanej podatności na biodegradację, a ich niebieski kolor wskazuje na obecność barwników. Jednoznaczna identyfikacja składu chemicznego badanych ścieków była niemożliwa z tego też względu skuteczność usuwania barwnych zanieczyszczeń organicznych oceniano w oparciu o zmianę ChZT roztworu oraz stopień odbarwienia.

Tabela 1. Charakterystyka badanych ścieków**Table 1.** Characteristics of the investigated wastewater

Lp.	Parametr	Wartość
1.	ChZT ¹	1100 – 1500 mg O ₂ /L
2.	BZT ₅ ¹	300 – 474 mg O ₂ /L
3.	Zawiesina ogólna ²	34 mg/L
4.	Fosfor ogólny ²	0,82 mg/L
5.	Azot ogólny ²	25,30 mg/L
6.	Siarczki ²	0,16 mg/L
7.	Chlorki ²	9,90 mg/L
8.	Maksimum absorpcji promieniowania UV-VIS	λ = 340 nm

¹ – dane pozyskane z Zakładu Produkcyjnego oraz badania własne

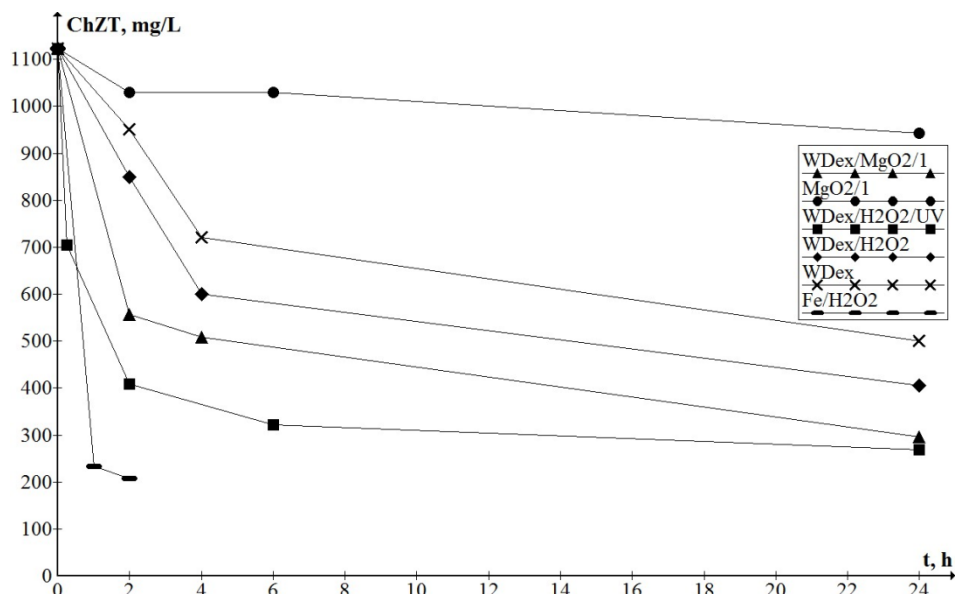
² – dane pozyskane z Zakładu Produkcyjnego

Usuwanie związków organicznych, w tym barwników, z analizowanych ścieków realizowano wykorzystując proces utleniania, sorpcji oraz połączone procesy sorpcji i utleniania. Zgodnie z danymi literaturowymi [2, 4, 19] jednym z najsilniejszych czynników utleniających są rodniki hydroksylowe ($2,7V$), powstające w środowisku reakcji. Przykładem reakcji chemicznej, w której rodniki takie tworzą się jest reakcja Fentona opisana równaniem (1):



Z punktu widzenia oczyszczania badanych ścieków zastosowanie metody pogłębionego utleniania do rozkładu związków organicznych wydaje się korzystne tym bardziej, że w ściekach pochodzących z procesów barwienia włókien znajdują się utleniacze w tym nadtlenek wodoru [16]. Jednak jak wykazano we wcześniejszych badaniach modelowych dotyczących utleniania fioletu krystalicznego [8, 9] sama obecność nadtlenu wodoru nie jest jednak wystarczająca do skutecznego rozkładu związków organicznych i konieczny jest dodatkowy czynnik, którego obecność skutkuje wygenerowaniem rodników hydroksylowych. Z danych literaturowych [10, 15, 18, 20] jak i badań własnych [8, 9] wynika, że rodniki hydroksylowe generowane są również po wprowadzeniu do układu reakcyjnego nadtlenu wodoru w obecności węgla aktywnego i/lub bez promieniowania UV.

W pierwszym etapie do utleniania zanieczyszczeń organicznych w badanych ściekach wykorzystano reakcję Fentona przy zachowaniu stałego stosunku $\text{Fe}^{2+} : \text{H}_2\text{O}_2$ wynoszącym 1: 5. Przy ustalonym doświadczalnie stosunku ilości reagentów do objętości ścieków uzyskano obniżenie ChZT z poziomu 1120 mg/L do 230 mg/L, co daje 80% redukcję tego wskaźnika (rys. 1), w czasie krótszym niż 1 godz. Wydłużenie czasu reakcji do 2 godzin było nieuzasadnione ponieważ nie zaobserwowano istotnego obniżenia ChZT (208 mg/L). Natomiast zmniejszenie ilości czynnika utleniającego o 50% skutkowało redukcją ChZT sięgającą 76% w stosunku do wartości początkowej, ale dopiero po 2 godzinach reakcji. Należy również zaznaczyć, że po wprowadzeniu do ścieków reagentów, w tym soli żelaza, skutkowało nie tylko odbarwieniem roztworu ale dodatkowo usunięciem zawiesiny. Efektem końcowym oczyszczania ścieków był przezroczysty roztwór o pH 3–4, barwy żółtej pochodzącej od jonów Fe^{3+} .



Rys. 1. Zmiana wartości ChZT badanych ścieków w czasie w zależności od zastosowanych warunków oczyszczania.

Fig. 1. Changes of the values of the chemical oxygen demand in time depending on the purification conditions.

W kolejnym etapie, w oparciu o wyniki wcześniejszych badań modelowych nad usuwaniem fioletu krystalicznego z roztworu wodnego [8, 9], zastosowano do oczyszczania ścieków połączone procesy sorpcji i utlenienia z wykorzystaniem równocześnie wprowadzanego do układu reakcyjnego węgla aktywnego oraz nadtlenku wodoru. W tych warunkach w środowisku reakcji generowane są rodniki hydroksylowe, przy czym o wydajności tego procesu decydują właściwości węgla aktywnego, a w szczególności wielkość powierzchni właściwej oraz zdolność do dechloracji [7]. W bieżących badaniach zastosowano węgiel aktywny WDex, którego charakterystykę podano w tabeli 2. Węgiel ten, jak wykazano w modelowych badaniach nad usuwaniem fioletu krystalicznego w obecności nadtlenku wodoru charakteryzował się bardzo dobrymi zdolnościami sorpcyjno-katalitycznymi, co gwarantowało szybkie i skuteczne usuwanie barwnika z roztworu.

Tabela 2. Charakterystyka węgla aktywnego WDex
Table 2. Characteristics of the activated carbon WDex

Parametr	Wartość
Powierzchnia właściwa	1050 m ² /g
Objętość porów	0,95 cm ³ /g
Liczba jodowa	980 mg/g
Substancje rozpuszczalne w wodzie	1,07%
Liczba metylenowa	36 cm ³
Zdolność do dechloracji	2,5 cm
Zawartość popiołu	20,6% wag.
pH wyciągu wodnego	8,6

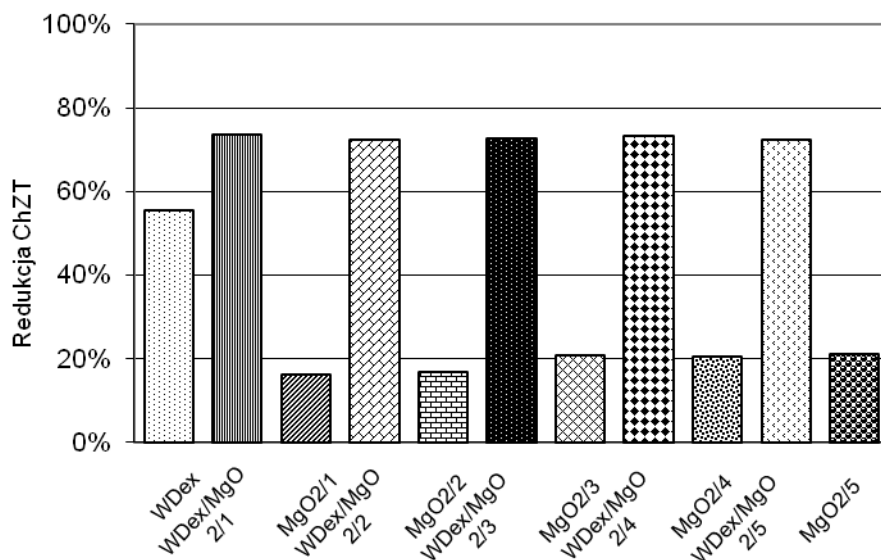
Z przebiegu krzywej obrazującej zmianę ChZT ścieków w funkcji czasu w obecności węgla aktywnego WDex wynika, że w efekcie sorpcji tych zanieczyszczeń stopień redukcji ChZT po 15 minutach kontaktu wyniósł 4%, po 2 godzinach 15%, po 4 godzinach 36%, po 24 godzinach 56% w stosunku do wartości początkowej. Natomiast kiedy do ścieków wprowadzono jednocześnie nadtlenek wodoru i węgiel aktywny (WDex/H₂O₂) zaobserwowano wzrost szybkości rozkładu substancji organicznej z równoczesnym odbarwieniem badanego roztworu. Po czasie 15 minut stopień redukcji ChZT wyniósł 6,5%, po 2 godzinach 24%, po 4 godzinach 47%, a po 24 godzinach 64%. Uzyskane wyniki potwierdzają wcześniejsze spostrzeżenia dotyczące synergicznego efektu sorpcji i utleniania jakie ma miejsce w tym przypadku w środowisku reakcji [21]. Efektem końcowym procesu oczyszczania ścieków był bezbarwny, przezroczysty roztwór o pH 6,5. Należy zaznaczyć, że optymalny dla badanych ścieków stosunek węgla aktywnego do H₂O₂ został uzgodniony doświadczalnie. Zarówno wzrost ilości nadtlenu wodoru jak i ilości węgla aktywnego w układzie reakcyjnym nie zwiększa skuteczności usuwania związków organicznych. Zwiększenie dawki węgla aktywnego poprawia efekt sorpcji ale wymaga to długiego czasu kontaktu. Natomiast wzrost ilości nadtlenu wodoru w środowisku reakcji wręcz zmniejsza skuteczność usuwania związków organicznych, co najprawdopodobniej wynika z efektu gaszenia rodników hydroksylowych w nadmiarze nadtlenu wodoru [3].

W celu zwiększenia skuteczności utleniania związków organicznych układ reakcyjny ścieki/węgiel aktywny/nadtlenek wodoru poddano naświetlaniu promieniami UV przez 15 minut. Analiza zmian ChZT badanych ścieków przedstawiona na rys. 1 (WDex/H₂O₂/UV) wskazuje, że w zadanych warunkach już po upływie 15 min. obserwuje się 40% redukcję tego wskaźnika ChZT z 1122 mg/L do 680 mg/L po naświetlaniu. Pomimo wyeliminowania promieniowania UV w układzie reakcyjnym obserwuje się dalszą znaczącą redukcję ChZT do poziomu 400 mg/L po upływie 2 godzin. Uzyskane wyniki świadczą o tym, że w obecności WDex/H₂O₂/UV ma miejsce powstawanie rodników hydroksylowych skutkujące rozkładem związków organicznych. Obserwowana dalsza redukcja ChZT wskazuje, że powstające w pierwszym etapie reakcji produkty utleniania łatwiej ulegają dalszemu rozkładowi/sorpcji na węglu aktywnym, o czym świadczy zdecydowanie wyższy stopień redukcji ChZT (po 6 godzinach prawie 72%), niż w sytuacji, gdy w układzie reakcyjnym był tylko węgiel aktywny WDex i nadtlenek wodoru (redukcja ChZT po 6 godzinach wynosi ok. 55,5%).

W prezentowanej pracy przeanalizowano również skuteczność oczyszczania badanych ścieków wykorzystując do tego celu jako utleniacza nadtlenek magnezu. Dane literaturowe wskazują, że nadtlenek magnezu ulega rozkładowi z wydzieleniem nadtlenku wodoru bezpośrednio w środowisku reakcji zgodnie z równaniem (2) [3]:



W odniesieniu do analizowanych ścieków wykonano badania stopnia redukcji ChZT w czasie wprowadzając do roztworu sam nadtlenek magnezu (MgO₂), jak i w obecności węgla aktywnego (WDex/MgO₂). Wyniki badań przedstawione na rys. 1 i 2 wskazują, że w obecności MgO₂ stopień redukcji ChZT nie przekracza 20% niezależnie od dawki wprowadzanego utleniacza. Natomiast w przypadku zastosowania symultanicznego procesu sorpcji i utleniania w obecności węgla aktywnego WDex i nadtlenku magnezu (WDex/MgO₂) zaobserwowano znaczne przyspieszenie sorpcji i/lub utlenienia zanieczyszczeń organicznych uzyskując 50% redukcję ChZT po 2 godz. reakcji oraz odbarwienie roztworu. Wielkość redukcji ChZT po 24 godz. kontaktu przekroczyła 70% wartości początkowej.



Rys. 2. Porównanie skuteczności redukcji ChZT badanych ścieków w obecności i bez węgla aktywnego WDex w zależności od dawki MgO_2 .
Fig. 2. Comparison of the efficiency of reduction of the wastewater chemical oxygen demand in the presence and absence of activated carbon WDex depending on the dose of MgO_2 .

4. Podsumowanie

Zmieniający się charakter przemysłu włókienniczo-tekstylnego i farbiarskiego i powstawanie coraz większych ilości małych zakładów produkujących niewielkie ilości ścieków o złożonym i zróżnicowanym składzie chemicznym wymaga dostosowywania istniejących lub poszukiwania nowych metod ich oczyszczania. Powinny to być rozwiązania proste w realizacji, nie wymagające rozbudowanych instalacji, zapewniające odpowiedni stopień redukcji w krótkim czasie, a jednocześnie tanie. W odniesieniu do badanych ścieków pochodzących z barwienia włókien syntetycznych zawierających związki organiczne, w tym barwniki takim rozwiązaniem może być wykorzystanie rodników hydroksylowych do utleniania zanieczyszczeń. Wykonane badania usuwania barwnych związków organicznych ze ścieków z wykorzystaniem reakcji Fentona, symultanicznego procesu sorpcji i utlenienia w obecności węgla aktywnego i nadtlenu wodoru (lub nadtlenu magnezu) w obecności lub bez

promieniowania UV potwierdzają wysoką skuteczność podczyszczenia ścieków tak, aby bez problemu mogły być odprowadzone do miejskich urządzeń kanalizacyjnych.

Najskuteczniejszym rozwiązaniem, gwarantującym największą redukcję związków organicznych i odbarwienie roztworu w najkrótszym czasie jest wykorzystanie reakcji Fentona (redukcja w czasie 2 godzin sięga 80% w stosunku do wartości początkowej). Zastosowanie do usuwania zanieczyszczeń organicznych obecnych w badanych ściekach połączonych procesów sorpcji i utlenienia z wykorzystaniem węgla aktywnego i nadtlenu wodoru skutkowało ok. 64% redukcją ChZT ale dopiero po 24 godz. Wzrost szybkości usuwania związków organicznych (mierzony zmianą ChZT) w porównaniu do sorpcji lub utlenienia realizowanych jak oddzielne procesy wskazuje, że w układzie reakcyjnym węgiel aktywny/H₂O₂ generowany jest czynnik utleniający jakim są powstające w środowisku reakcji rodniki hydroksylowe. Zastąpienie nadtlenu wodoru nadtlakiem magnezu znacznie przyspieszyło proces sorpcji i/lub utlenienia zanieczyszczeń organicznych uzyskując 50% redukcję ChZT po 2 godz. reakcji. Natomiast zainicjowanie reakcji rozkładu H₂O₂ z utworzeniem rodników OH^{*} w układzie węgiel aktywny/nadtlenek wodoru skutkuje efektywnym rozkładem związków organicznych na wskazuje 60% redukcja ChZT po upływie 2 godz. To rozwiązanie wydaje się być najbardziej obiecujące ponieważ po oddzieleniu węgla aktywnego, który może być ponownie wykorzystany, otrzymuje się bezbarwny, przezroczysty roztwór o pH 6,5-7,5. Należy jednak zaznaczyć, że optymalny stosunek ilości ścieków do węgla aktywnego i nadtlenu wodoru lub nadtlenu magnezu powinien być dla danych ścieków ustalany doświadczalnie ponieważ ani zwiększanie dawki utleniacza ani węgla aktywnego jest nieuzasadnione, gdyż nie skutkuje poprawą efektywności ich oczyszczenia.

Praca finansowana ze środków na badania statutowe nr 2.24/7.06.

Literatura

1. **Al-Ghouti, M.A., Khraisheh, M.A.M., Allen, S.J., Ahmad, M.N.:** *The removal of dyes from textile wastewater: a study of the physical characteristics and adsorption mechanisms of diatomaceous earth*, J. Environ. Manage. 69, 229–238. (2003).
2. **Alvarez, P.M., Beltran, F.J., Gomez-Serrano, V., Jaramillo, J., Rodriguez E.M.:** *Comparison between thermal and ozone regenerations of spent activated carbon exhausted with phenol*, Water Research, 38, 8, 2155–2165. (2004).
3. **Barbusiński K.:** *Modyfikacja reakcji Fentona z zastosowaniem nadtlenków wapnia i magnezu*, Prace Naukowe GIG, Studia – Rozprawy – Monografie, 869, Katowice (2006).
4. **Barbusiński K.:** *Oczyszczanie ścieków przemysłowych metodami katalitycznymi z wykorzystaniem nadtlenku wodoru*, Chemik, 54, 2, 31–36 (2001).
5. **Bilińska L., Ledakowicz S.:** *Możliwości wykorzystania technik pogłębio-nego utleniania – AOP do oczyszczania ścieków włókienniczych (barwiarskich) w warunkach przemysłowych*, Informator Chemika Kolorysty, ISSN 1642 – 5065, 17, 21–35 (2011).
6. **Filipkowska U., Rodziewicz J., Krzemieniewski M., Dłuska E.:** Efficiency of Reactivite Orange 16 Dye Removal by Ozonation, Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 10, 47–56 (2008).
7. **Dąbek L., Ozimina E., Picheta-Oleś A.:** *The application of combined processes of sorption and oxidation for the removal of organic compounds from the aqueous environment (on the example of p-chlorophenol)*, Ecological Chemistry and Engineering A, 2012, DOI: 10.2428/ecea.2012.19(03)029, 275–286 (2012).
8. **Dąbek L., Ozimina E., Picheta-Oleś A.:** *The sorptive-catalytic role of activated carbon in the process of removing crystal violet from the aqueous solution in the presence of hydrogen peroxide*. Ecological Chemistry and Engineering A, 1423–1433 (2010).
9. **Dąbek L., Ozimina E., Picheta-Oleś A.:** *Wpływ właściwości węgla aktywnych na szybkość usuwania wybranych barwników z roztworów w obecności nadtlenku wodoru*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 13, 1023–1042 (2011).
10. **Deryło-Marczewska A., Popiel S., Świątkowski A., Trykowski G., Bi-niak S.:** *Badania wpływu ozonu i nadtlenku wodoru na właściwości sorpcyjne węgla aktywnego w stosunku do chlorofenolu*, Ochrona Środowiska, 29, 19–22 (2007).

11. **Fung P.C., Poon C.S., Chu C.W., Tsui S.M.:** *Degradation kinetics of reactive dye by UV/H₂O₂/US process under continuous mode operation*, Water Sci. Technol., 44, 67–72 (2001).
12. **Gupta V.K., Suhas V.:** *Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review*, J. Environ. Manage, 90, 2313–2342 (2009).
13. **Hachem C., Bocquillon F., Zahraa O., Bouchy M.:** *Decolourization of textile industry wastewater by the photocatalytic degradation process*, Dyes and Pigments 49, 117–125 (2001).
14. **Huang H.H., Lu M.C., Chen J.N., Lee C.T.:** *Catalytic decomposition of hydrogen peroxide and 4-chlorophenol in the presence of modified activated carbons*, Chemosphere, 51 935–943 (2003).
15. **Langley L.A., Fairbrother D.H.:** *Effect of wet chemical treatments on the distribution of surface oxides on carbonaceous materials*, Carbon, 45, 47–54 (2007).
16. **Mikulka M.:** (pod red.), *Charakterystyka technologiczna przemysłu włókienniczego w Unii Europejskiej*, Ministerstwo Środowiska (2003).
17. **Pereira M.F.R., Soares S.F., Orfao J.J.M., Figueiredo J.L.:** *Adsorption of dyes on activated carbons: influence of surface chemical groups*, Carbon, 41, 811–821 (2003).
18. **Santos V.P., Pereira M.F.R., Faria P.C.C., Órfão J.J.M.:** *Decolourisation of dye solutions by oxidation with H₂O₂ in the presence of modified activated carbons*, J. Hazard. Mater., 162, 736–742 (2009).
19. **Świdarska R., Czerwińska M., Kutz R.:** *Utlenianie zanieczyszczeń organicznych za pomocą odczynnika Fentona*, Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska. Zesz. Nauk. Politechniki Koszalińskiej, 22, 1–12 (2005).
20. **Toledo L.C., Silva A.C.B., Augusti R., Lago R.M.:** *Application of Fenton's reagent to regenerate activated carbon saturated with organochloro compounds*, Chemosphere, 50, 1049–1054 (2003).
21. **Vidic R.D., Suidan M.T., Sorial G.A., Brenner R.C.:** *Effect of molecular oxygen on adsorptive capacity and extraction efficiency of granular activated carbon for three ortho-substituted phenols*, J. Hazard. Mater., **38**, 373–388 (1994).
22. **Dębowski M., Zieliński M., Dudek M., Grała A.:** *Możliwość zastosowania odczynnika Fentona w procesach usuwania formaldehydu ze ścieków pochodzących z przemysłu drzewnego*, Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection), 14, 587–596 (2012).

Research on Removal of Coloured Organic Compounds from Textile Industry Wastewater

Abstract

The manuscript presents the results of the research regarding the efficiency of removal of coloured organic compounds from textile industry wastewaters with the use of Fenton reaction and simultaneous process of sorption and oxidation in the presence of activated carbon and hydrogen peroxide (or magnesium peroxide) as well as in the presence or absence of UV radiation. The most efficient method – guaranteeing the oxidation of organic compounds and decolourization of the solution indicated by the 80% reduction in COD (as compared to the initial value) within the period of 1 h – was the use of Fenton reaction. The application of combined processes of sorption and oxidation with the use of activated carbon and hydrogen peroxide in order to remove the organic pollutants from the examined wastewaters resulted in 64% reduction in COD, but only after 24 hours. Replacing hydrogen peroxide with magnesium peroxide accelerated the process of sorption and / or oxidation of organic pollutants leading to 50% reduction in COD after 2 hours of reaction. At the same time, initiating the decomposition of H_2O_2 with the formation of OH^* radicals in the activated carbon/hydrogen peroxide system resulted in an effective decomposition of organic compounds, which is indicated by 60% reduction in COD after 2 hours. This solution appears to be the most promising, since after the separation of activated carbon (which can be further re-used) a colourless, transparent solution of pH of 6,5 – 7,5 is obtained, which can be disposed into the municipal sewage system.