

LABORATORNÍ PŘÍSTROJE A POSTUPY

Chem. Listy 91, 48 - 53 (1997)

POUŽITÍ FENTONOVY REAKCE K DEGRADACI VODNÝCH ROZTOKŮ KONVENČNĚ POUŽÍVANÝCH BARVIV A BAREVNÝCH ODPADNÍCH VOD

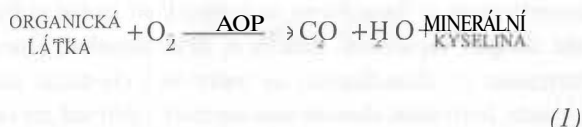
JOSEF PROUSEK, ERIKA IVANOVÁ
A MARCELA KOCMANÍKOVÁ

Katedra životného prostredia, Chemickotechnologická fakulta, Slovenská technická univerzita, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovenská republika

Došlo dne 4. VII. 1996

Úvod

Vedle klasických metod čištění odpadních vod se v současnosti uplatňují nové pokročilé metody čištění fungující na principu účinné oxidace znečištění. K těmto AOP (Advanced Oxidation Processes) metodám patří především takové technologické postupy, které mají co nejmenší dopad na životní prostředí. Systémy AOP můžeme rozdělit na metody chemické^{1,2} a fotochemické^{3,4}. Tyto systémy produkují jako účinné oxidans hydroxylové radikály (HO•). Cílem jejich oxidačních procesů je dosažení co nejvyššího stupně mineralizace organického znečištění:



Mezi systémy AOP využívané k čištění vod patří rovněž Fentonova a fotochemická Fentonova reakce⁵. Vlastní Fentonovu reakci můžeme vyjádřit takto:



V naší práci jsme se zabývali průzkumem možností využití Fentonovy reakce pro degradaci některých konvenčně používaných barviv a rovněž k čištění reálných odpadních vod.

Čištění barvivských a textilních odpadních vod patří k vážným problémům technologické úpravy odpadních vod. Použití Fentonova činidla při čištění barevných vod je předmětem zájmu pouze několika publikací⁶⁻⁸. Praktické použití Fentonova činidla při čištění barevných vod spočívá ve dvou základních procesech a to redoxním odbarvení a koagulaci. Pokud jde o redoxní odbarvování, je tento proces spojen s komplexem reakcí provázejících vlastní Fentonovu reakci. Z praxe je známo, že peroxid vodíku a železnaté kationty jsou stálejší v silně kyselém prostředí. Když však k systémů ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}$) přidáme organický substrát (RH), začnou vedle Fentonovy reakce (rovnice 2) probíhat i tyto následující reakce⁹:



Hydroxylový radikál atakuje organický substrát (RH) podobně jako nenasycenou molekulu barviva. Tímto způsobem je potom obvykle chromofor nebo chromogen molekuly barviva degradován a odbarven. Vedle těchto reakcí se uplatňuje i dimerizace (až polymerizace) radikálu $\text{R}\cdot$ produkovaného v rovnici (3):



Dimerizace (až polymerizace) je velkou výhodou popsané metody, protože organické molekuly (molekuly barviva) jsou tímto způsobem odstraňovány z odpadních vod. Proces koagulace je vyvolán vznikajícím kationtem Fe^{3+} , který při pH 3,5-7 vytváří různé hydroxykomplexy, které mají tendenci polymerizovat. Při této polymerizaci dochází k spolusrážení i ostatních přítomných složek a tím i k významnému snížení výchozí hodnoty CHSK. Tento postup se dnes všeobecně nazývá koagulace indukovaná Fentonovou reakcí.

V předkládané práci jsme se zaměřili na odbarvování a odstranění CHSK z vodných roztoků skupiny barviv vyráběných firmou Bayer (Isolan Orange S-RL, Isolan Gelb S-GL a Isolan Marineblau S-RL) a firmou Sandoz (Solarbrillantrot BA, Sandocrylblau B-RLE, Sandocrylgelbbraun

B-RLE a Sandocrylbrillantgelb B-6GL). Cílem naší práce bylo využití procesu koagulace indukované Fentonovou reakcí při čištění modelových barevných vod. Účinnost metody byla rovněž ověřena na reálných odpadních vodách (pocházející ze závodů Duslo, Šal'a, Merina, Trenčín a celulózka Štúrovo). Dále byl zkoumán vliv přídavku flokulantu (Zetag 57) na účinnost uvedeného postupu čištění.

Experimentální část

Všechny použité chemikálie byly p.a. čistoty (Lachema, Brno). Vodné roztoky byly připraveny z redestilované vody. Stanovení CHSK bylo provedeno pomocí modifikované semimikrometody¹⁰. U V/VIS spektra byla naměřena na spektrofotometru PU 8800 (Philips) a kalibrační křivky a výsledná měření odstranění barevnosti na spektrofotometru Specol 11 (Germany). Hodnoty pH byly měřeny pH-metrem OP-208/1 (Precision Digital pH Meter). Stanovení zbytkového peroxidu vodíku se uskutečnilo manganistanovou metodou podle¹¹. Sušina (S, mg.l⁻¹) byla stanovena podle¹⁰.

Odbarvení a odstranění CHSK za použití Fentonova činidla

Použitý základní poměr H_2O_2 : FeSO_4 (875 : 500 mg.l⁻¹) se dále označuje jako (1x). Potřebná množství chemikálií byla přepočítána pro $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ a 30 % H_2O_2 a pro použitý objem vzorku 300 ml. Vyšší koncentrace Fentonova činidla potom představovaly celé násobky této základní koncentrace (tj. 2x, 3x, atd.),

(1x) 0,27343 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ + 0,8 ml 30 % H_2O_2

(2x) 0,54686 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ + 1,6 ml 30 % H_2O_2 atd.

U naměřených UV-VIS spekter se určila λ_{max} a podle této hodnoty byly sestrojeny příslušné kalibrační křivky v rozmezí 1-25 mg.l⁻¹ barviva. Pro Isolan Orange S-RL byla $\lambda_{\text{max}} = 475$ nm, pro Isolan Gelb S-GL byla $\lambda_{\text{max}} = 439$ nm, pro Isolan Marineblau S-RL byla $\lambda_{\text{max}} = 575$ nm, pro Solarbrillantrot BA (1) byla $\lambda_{\text{max}} = 525$ nm, pro Sandocrylblau B-RLE (2) byla $\lambda_{\text{max}} = 611$ nm, pro Sandocrylgelb-braun B-RLE (3) byla $\lambda_{\text{max}} = 444$ nm a pro Sandocrylbrillantgelb B-6GL(4) byla $\lambda_{\text{max}} = 413$ nm.

Pro příslušné odbarvení roztoků barviv (odpadní vody) a odstranění CHSK byl použit následující obecný postup: Nejprve se upravilo pH vzorku zředěnou H_2SO_4 na hodnotu pH 3,0. Potom se odebralo 300 ml vzorku do Erlenmeyerovy baňky (500 ml) a přidala se potřebná množství

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ a H_2O_2 v základním poměru (1x) nebo jeho násobku (2x, 3x, atd.). Směs se 1 h míchala při laboratorní teplotě (24 °C) na elektromagnetickém míchadle (200 ot.min⁻¹) a potom byla 30 min ponechána v klidu. Po 30 minutách se směs zneutralizovala roztokem uhličitanu sodného na pH = 7,0 a nechala se sedimentovat potřebný čas (0,5–4 h). Potom se odebrala horní vrstva čiré kapaliny a určila se účinnost (η , %) odstranění barvy a CHSK.

V případě použití flokulantu (Zetag 57) se směs ihned po neutralizaci rozdělila na 3 části po 100 ml. První část zůstala bez přídavku flokulantu, do druhé se přidalo 0,1 ml 0,1 % roztoku flokulantu a do třetí části 0,1 ml 0,05 % roztoku flokulantu. Po promíchání se vzorky nalily do tří odměrných válců (150 ml) a v čase do 30 minut byly naměřeny sedimentační křivky vzniknutého kalu. Po první, druhé a třetí hodině (případně v jiných časových intervalech, viz příslušné tabulky) byly odebrány vzorky pro stanovení barvy a hodnoty CHSK. V případě odpadní vody (závod Duslo, Šála) se vzorky odebíraly po 0,5 h a 1 h sedimentace od neutralizace a přídavku flokulantu.

Ve vyčíslených vzorcích nebyla dokázána žádná zbytková koncentrace H_2O_2 . Získané výsledky jsou uvedeny a prodiskutovány v následující části.

Výsledky a diskuse

Vlastní Fentonova reakce má mnohá omezení, která se týkají především charakteru rozpuštěných látek a koncentračních poměrů. Jde o celý komplex reakcí^{5,12,13}, v němž se mohou uplatnit různé vedlejší reakce a tím vlastně snížit ne-li znemožnit využití hydroxylových radikálů k degradaci znečištěnin. Jak bylo zjištěno dříve^{14,15}, nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím průběh a tedy i uplatnění Fentonovy reakce je použitý poměr peroxidu vodíku a Fe^{2+} (H_2O_2 : Fe^{2+}). Nadbytek H_2O_2 vede dokonce k efektu, kdy k odbarvení vůbec nedojde¹⁶. Proto jsme na základě těchto skutečností a experimentálně zjištěných faktů v práci⁶ zvolili v naší práci jako základní poměr H_2O_2 : Fe^{2+} (1,75 : 1,00 tj. 875 mg.l⁻¹ FeSO_4 : 500 mg.l⁻¹ H_2O_2) (1x) a jeho násobky. Tato množství byla postačující pro odstranění barvy i CHSK.

Isolan Orange S-RL

Pokusy s tímto barvivem byly prováděny se základní koncentrací Fentonova činidla (1x) a (2x) pro navážky barviva od 50 mg.l⁻¹ do 500 mg.l⁻¹. Jak ze získaných

výsledků vyplývá (Tabulka I), dosáhlo se v případě tohoto barviva prakticky úplného odbarvení zkoumaných roztoků a CHSK byla odstraněna v přijatelné míře.

Vzhledem k tomu, že oxidační síla Fentonova činidla je silně závislá na použitém poměru $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{Fe}^{2+}$, změnili jsme pro navážky barviva 100 mg.l^{-1} a 200 mg.l^{-1} tento poměr na 1,75 : 2,00 molárně, tj. navážka $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ činila 0,54686 g a objem H_2O_2 zůstal 0,8 ml. Tento poměr se totiž ukázal v práci ¹⁷ jakonejúčinnější. Jak z výsledků tohoto experimentu vyplývá, uvedená změna poměru skutečně vedla k lepším výsledkům. Účinnost odstranění barviva se v podstatě nezměnila, ale významně se zlepšila hodnota CHSK. V případě koncentrace barviva $c = 200 \text{ mg.l}^{-1}$ se zvýšilo procento odstraněné CHSK z původních 60 % pro základní koncentraci Fentonova činidla (1x) na 89 % a pro $c = 100 \text{ mg.l}^{-1}$ z 81 % na 88 %. Toto zlepšení může být způsobeno větším množstvím sraženiny a tedy zvýšením účinnosti koagulace indukované Fentonovou reakcí. Jiným vysvětlením by bylo zvýšení oxidační síly Fentonova činidla.

Tabulka I

Odstranění barviva a CHSK (%) pro Isolan Orange S-RL za použití koncentrace Fentonova činidla (1x) a (2x)

c [mg.l ⁻¹]	t [h]	η_{1b} [%]	$\eta_{1\text{CHSK}}$ [%]	η_{2b} [%]	$\eta_{2\text{CHSK}}$ [%]
50	4	98,1	–	–	–
100	4	98,1	81	–	–
150	4	98,9	–	–	–
200	4	98,4	60	98,6	73
250	4	98,2	–	99,1	–
300	4	96,0	–	99,1	71
500	4	89,1	–	99,0	70

η_{1b} resp. η_{2b} = odstranění barviva pro koncentraci Fentonova činidla (1x) resp. (2x). $\eta_{1\text{CHSK}}$ resp. $\eta_{2\text{CHSK}}$ = odstranění CHSK pro koncentraci Fentonova činidla (1x) resp. (2x). t = čas usazování, c = výchozí koncentrace barviva

Isolan Gelb S - G L

Na základě výsledků získaných s Isolan Orange S-RL byly pokusy s Isolan Gelb S-GL prováděny s koncentrací Fentonova činidla (2x) a byly zvoleny navážky barviva 100, 200 a 300 mg.l^{-1} . Výsledky jsou zahrnuty v tabulce II

a vyplývá z nich, že i v tomto případě byla barevnost odstraněna prakticky úplně a rovněž se dosáhlo poměrně dobrého odstranění CHSK.

Tabulka II

Odstranění barviva a CHSK (%) pro Isolan Gelb S-GL za použití koncentrace Fentonova činidla (2x)

c [mg.l ⁻¹]	t [h]	η_b [%]	η_{CHSK} [%]
100	4	98,2	75
200	4	98,2	73
300	4	99,0	71

Tabulka III

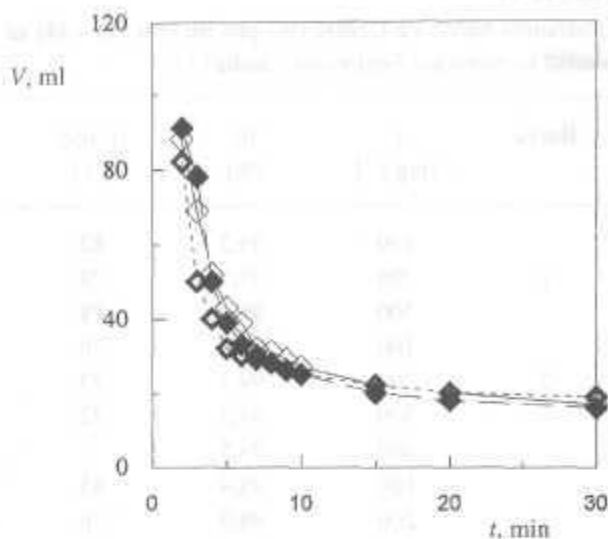
Odstranění barviva a CHSK (%) pro Isolan Marineblau S-RL za použití koncentrace Fentonova činidla (2x)

c [mg.l ⁻¹]	t [h]	η_b [%]	η_{CHSK} [%]
100	4	97,1	83
200	4	98,1	77
300	4	91,3	74

Isolan Marineblau S - R L

V tomto případě byly použity navážky barviva 100, 200 a 300 mg.l^{-1} a koncentrace Fentonova činidla byla (2x). Z tabulky III vyplývá, že v tomto případě nebylo dosaženo úplného odbarvení. Barevnost se proto měřila ještě po 24 h stání, kdy pro uvedené navážky se dosáhlo následující procentuální odstranění barviva: 100 mg.l^{-1} (98,5 %), 200 mg.l^{-1} (99,0 %) a 300 mg.l^{-1} (97,8 %).

Problém pomalého usazování a špatné struktury kalu jsme řešili přidavkem flokulantu (Zetag 57) v množství 0,1 ml o koncentraci 0,1 % nebo 0,05 %. Použitý objem disperzní směsi byl 100 ml. Při tomto postupu došlo k podstatnému zrychlení sedimentace, ku zlepšení struktury vzniknutého kalu (tabulky IV a V) a dobrému vyčevení roztoku. Pro ilustraci jsou na obr. 1 uvedeny pro navážku $c = 100 \text{ mg.l}^{-1}$



Obr. 1. Sedimentační křivky pro Isolan Marineblau S-RL - závislost objemu usazeného kalu V (ml) na čase usazování t (min). 0 - bez flokulantu, $\circ$ - 0,1 % roztok flokulantu, $\blacksquare$ - 0,05 % roztok flokulantu. Navážka barviva 100 mg.l^{-1} . Koncentrace Fentonova činidla (2x)

příslušné sedimentační křivky. Jak z obr. 1 a tabulek IV a V vyplývá použití flokulantu vedlo k podstatnému zrychlení sedimentace. Pro měření, jak byla odstraněna barevnost a CHSK, stačí v tomto případě 1 hodinová sedimentace. Získané výsledky jsme využili k čištění reálné odpadní vody.

Barviva firmy Sandoz

V další části jsme se zaměřili na degradaci vodných roztoků některých barviv vyráběných firmou Sandoz. Jak z tabulky VI vyplývá, bylo už při použití základní koncentrace Fentonova činidla dosaženo prakticky úplného odbarvení a vysokých hodnot odstranění CHSK. Použití koncentrace Fentonova činidla (2x) v případě barviva (4) vedlo jen k mírnému zvýšení odstranění CHSK.

Účinnost Fentonovy reakce byla dále ověřena v experimentu, ve kterém se použila směs všech 4 barviv firmy Sandoz (každé s navážkou 100 mg.l^{-1}), tedy s výslednou navážkou barviv 400 mg.l^{-1} . Byla použita koncentrace Fentonova činidla (3x). CHSK byla odstraněna na 83 % a množství sušiny činilo 824 mg.l^{-1} . Voda zůstala jen mírně zbarvena.

Tabulka IV

Odstranění barviva a CHSK (%) pro Isolan Marineblau S-RL za použití koncentrace Fentonova činidla (2x) a flokulantu pro navážku barviva 100 mg.l^{-1}

Postup	t [h]	η_b [%]	η_{CHSK} [%]
X	1	96,5	72
	2	97,1	—
	3	97,5	—
Y	1	98,0	89
	2	98,1	—
	3	98,4	—
Z	1	97,3	81
	2	97,5	—
	3	97,7	—

X – bez přidavku flokulantu, Y = přidavek 0,1 % roztoku flokulantu, Z - přidavek 0,05 % roztoku flokulantu

Tabulka V

Odstranění barviva a CHSK (%) pro Isolan Marineblau S-RL za použití koncentrace Fentonova činidla (2x) a flokulantu pro navážku barviva 300 mg.l^{-1}

Postup	t [h]	η_b [%]	η_{CHSK} [%]
X	0,5	95,5	—
	1	95,8	67
	2	97,0	—
Y	0,5	97,7	—
	1	97,8	72
	2	97,8	—
Z	0,5	97,5	—
	1	97,5	71
	2	97,7	—

X, Y, Z – jako v případě tabulky IV

Odpadní vody

Koagulaci indukovanou Fentonovou reakcí jsme rovněž použili v případě čištění odpadních vod. Nejvíce pozornosti bylo věnováno čištění odpadní vody ze závodu Duslo, Ša'a. Tuto odpadní vodu lze charakterizovat jako silně barevnou tmavohnědou kapalinu s výchozí hodnotou

CHSK = 1495 mg.l⁻¹ a poměrně vysokou mineralizací (asi 6 g.l⁻¹). V jednotlivých experimentech byly použity koncentrace Fentonova činidla (1x), (2x), (3x) a (4x) a doba usazování po neutralizaci byla 3 h. Ve všech případech bylo dosaženo úplného odbarvení a rovněž bylo dosaženo vysokých hodnot odstranění CHSK a to: (FČ 1x, 78 %), (FČ 2x, 85 %), (FČ 3x, 87 %) a (FČ 4x, 94 %).

Tato odpadní voda byla dále čistěna za použití koncentrace Fentonova činidla (1x), (3x) a (4x) a odstraněná CHSK se stanovovala po 0,5 h a 1 h po neutralizaci uhlíkatým sodným a přidavku flokulantu (Zetag 57). Jak z výsledků vyplývá (tabulka VII) byly dosaženy velmi dobré účinnosti odstranění CHSK a to od 88 % při použití základní koncentrace Fentonova činidla (1x) až po 94 % při použití koncentrace (4x). Hodnoty odstranění CHSK bez přidavku flokulantu jsou dobře srovnatelné s poněkud vyššími hodnotami, kterých bylo dosaženo za použití flokulantu Zetagu 57. Podstatným rozdílem je ovšem čas sedimentace. V případě použití flokulantu byl potřebný sedimentační čas pouze 1 h, zatímco bez použití flokulantu to jsou 3 h. Z hlediska praktického postačuje úplně použití základní koncentrace (1x). Podobně jako v případě barviva Isolan Marineblau S-RL se i v tomto případě přidáním flokulantu výrazně zlepšila struktura kalu (velké vločky, jasné rozhraní kapalina - kal) a rychlost sedimentace. Nevznikl koloid, ale čirý roztok. Z měření sedimentačních křivek vyplynulo, že po 30 min se objem usazovaného kalu už prakticky nemění. Vůči CHSK se však jednodinová sedimentační doba jeví jako optimální. Z dosažených výsledků jednoznačně vyplývá, že použití flokulantu výrazně zlepšilo nejen odstranění barvy, ale i technologické parametry.

Dále byla metoda použita pro odpadní vodu z barvení textilu (Merina, Trenčín). Tuto vodu můžeme charakterizovat jako vysoce mineralizovanou, barevnou, s počáteční hodnotou CHSK = 2452 mg.l⁻¹. Byly aplikovány koncentrace Fentonova činidla (1x), (2x) a (3x). Už při koncentraci Fentonova činidla (2x) se odpadní voda odbarvila. Tím se opět potvrdila reálná použitelnost dané metody pro odbarvování odpadních textilního průmyslu. Pro koncentraci Fentonova činidla (1x) byla CHSK odstraněna pouze na 7 %, (2x) na 22 % a (3x) na 24 %. V tomto případě byla stanovována rovněž sušina (S, mg.l⁻¹). Její množství podle očekávání vzrůstalo se zvyšující se koncentrací Fentonova činidla a to na 2891 mg.l⁻¹ v případě koncentrace Fentonova činidla (1x), 4563 mg.l⁻¹ (2x) a 8376 mg.l⁻¹ (3x). Zvýšení koncentrace Fentonova činidla až na koncentraci (10x) nevedlo k zvýšení hodnoty odstranění CHSK, která byla prakticky stejná jako v případě použité koncentrace (3x).

Tabulka VI

Odstranění barviva a CHSK (%) pro barviva (1) – (4) za použití koncentrace Fentonova činidla (1x)

Barva	c [mg.l ⁻¹]	η_b [%]	η_{CHSK} [%]
1	100	99,2	82
	200	99,7	79
	300	99,6	78
2	100	98,6	76
	200	99,3	73
	300	99,4	72
3	400	99,5	–
	100	98,4	85
	200	98,9	76
4	300	99,2	74
	100	98,2	87
	200	98,2	87
	200	98,5 ^a	89 ^a

^a Koncentrace Fentonova činidla (2x). 1,2,3,4 – použitá barviva, viz text

Tabulka VII

Odstranění CHSK (%) pro odpadní vodu (Duslo Šala) za použití koncentrací Fentonova činidla (FČ) (1x), (3x) a (4x) a flokulantu

FČ ^a		η_{CHSK} [%] 0,5 h ^b	η_{CHSK} [%] 1 h ^b
1x	X	85	88
	Y	87	90
	Z	86	89
3x	X	77	82
	Y	86	88
	Z	81	85
4x	X	78	84
	Y	89	94
	Z	85	86

^a X, Y, Z – jako v případě tabulky IV, ^b čas usazování

Z uvedených výsledků vyplývá, že metoda je vhodná pro odbarvení modelových i reálných odpadních vod. Zdá se, že limitujícím faktorem jejího použití je z hlediska odstranění CHSK vysoká počáteční hodnota CHSK a cha-

rakter organického znečištění (srovnej odpadní vodu Duslo Šaľa a Merina Trenčín). V případě ještě vyšších počátečních hodnot CHSK (odpadní voda z celulózky Štúrovo, výchozí hodnota CHSK = 57000 mg.l⁻¹) a při aplikaci Fentonova činidla o koncentraci (3x) nedošlo ani k jejímu odbarvení. Hodnota CHSK se sice snížila na 43000 mg.l⁻¹, ale kal se nevytvořil. Ani přírůstek flokulantu (Zetag 57) nevedl k zlepšení. Tuto skutečnost lze vysvětlit vysokým obsahem humínových látek, které váží vznikající Fe³⁺ do stálých komplexů a proto nemůže dojít k jeho hydrolyze a následné koagulaci. Vysoká mineralizace a hlavně její charakter může významně ovlivnit účinnost Fentonovy reakce v pozitivním i negativním smyslu^{18,19}.

Závěr

V práci byly prozkoumány možnosti využití Fentonovy reakce pro degradaci vodných roztoků některých konvenčně používaných barviv firmy Bayer a Sandoz a pro reálné odpadní vody (Duslo Šaľa, Merina Trenčín a celulózka Štúrovo). V případě experimentů s jednotlivými barvami bylo dosaženo prakticky 100 %-ního odbarvení. Vysoké účinnosti odstranění CHSK (až 94 %) a úplné odbarvení bylo dosaženo i při čištění odpadních vod s nižšími vstupními hodnotami CHSK.

Odstranění CHSK a hlavně technologické parametry (struktura kalu, rychlost sedimentace) se značně zlepšily přidáním flokulantu (Zetag 57).

Ze získaných experimentálních údajů lze vyvodit následující optimální podmínky:

1. poměr H₂O₂ : Fe²⁺ = 1,75 : 1,00 až 1,75 : 2,00
2. hodnota pH = 3
3. doba průběhu Fentonovy reakce 1 h
4. laboratorní teplota (24 °C)
5. přírůstek flokulantu při neutralizaci
6. čas sedimentace 1 h.

Z výsledků vyplývá, že uvedená metoda je vhodná pro odbarvení modelových i reálných barevných odpadních vod. Limitujícím faktorem jejího použití bude vstupní hodnota CHSK, stupeň a charakter mineralizace a obsah humínových látek.

LITERATURA

1. Carey J. H.: Water Poll. Res. J. Canada 27, 1 (1992).
2. Prousek J.: Chem. Listy 90, 229 (1996).

3. Legrini O., Oliveros E., Braun A. M.: Chem. Rev. 93, 671 (1993).
4. Prousek J.: Chem. Listy 90, 307 (1996).
5. Prousek J.: Chem. Listy 89, 11 (1995).
6. Kuo W. G.: Water Res. 26, 881 (1992).
7. Achwal W. B.: Colourage 41, 48 (1994).
8. Solozhenko E. G., Soboleva N. M., Goncharuk V. V.: Water Res. 29, 2206 (1995).
9. Walling C., Kato S.: J. Amer. Chem. Soc. 93, 4275 (1971).
10. Horáková M., Lischke P., Grünwald A.: *Chemické a fyzikální metody analýzy vod*. SNTL, Praha 1986.
11. Brodíl J.: *Chemie užitá v laboratořích zemědělských technických škol*, str. 152. SZN, Praha 1958.
12. Barb W. G., Baxendale J. H., George P., Hargrave K. R.: Trans. Faraday Soc. 47, 462 (1951).
13. Barb W. G., Baxendale J. H., George P., Hargrave K. R.: Trans. Faraday Soc. 47, 591 (1951).
14. Luňák S., Vepřek-Šiška J.: Chem. Listy 77, 1121 (1983).
15. Baxendale J. H., George P., Hargrave K. R.: Nature 163, 692 (1949).
16. Baxendale J. H., Evans M. G., Park G. S.: Trans. Faraday Soc. 42, 255 (1946).
17. Gähr F., Hermanutz F., Oppermann W.: Water Sci. Technol. 30, 155 (1994).
18. Wells C. F., Salam M. A.: Trans. Faraday Soc. 63, 620 (1967).
19. Wells C. F., Salam M. A.: J. Chem. Soc. (A) 1968, 24.

J. Prousek, E. Ivanová and M. Kocmaníková (Department of Environmental Science, Faculty of Chemical Technology, Slovak Technical University, Bratislava, Slovak Republic): **Utilization of Fenton Reaction for the Degradation of Conventionally Used Dyes and Coloured Waste Waters**

of the some dyes produced by Bayer and Sandoz and waste waters from three plants were decolourized with Fenton's reagent. The reduction in chemical oxygen demand ranged from 60 to 89 % and from 24 to 94 % for individual dyes and waste waters, respectively. The mean decolourization of dye solutions was above 98 % and that of waste waters from Duslo, Šaľa and Merina, Trenčín was 100 %. The decolourization of pulp-mill waste waters (Štúrovo) was inefficient. The found efficient conditions of the treatment were: pH 3.0, H₂O₂-to-FeSO₄ ratio 1.75 : (1.00-2.00), Fenton reaction time at 24 °C 1 hour, pH for coprecipitation 7.0. Better results are obtained by addition of a flocculant during neutralization. Fenton's reagent is efficient in decolourizing waters that also contain dissolved organics.