

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Pokročilé oxidační procesy využívající peroxid vodíku

Bc. Olga Krupková

Diplomová práce

2020

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Olga Krupková**
Osobní číslo: **C18507**
Studijní program: **N2807 Chemické a procesní inženýrství**
Studijní obor: **Ochrana životního prostředí**
Téma práce: **Pokročilé oxidační procesy využívající peroxid vodíku**
Zadávací katedra: **Ústav environmentálního a chemického inženýrství**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární rešerši na oblast aplikace pokročilých oxidačních procesů využívajících peroxid vodíku při zpracování odpadních vod. Pozornost zaměřte především na reakční podmínky a faktory ovlivňující účinnost a efektivitu využití procesů a na možnosti jejich intenzifikace.
2. Vyberte vhodný modelový kontaminant a analytickou metodu pro jeho sledování v modelové odpadní vodě. Zvolte alespoň 2 pokročilé oxidační procesy, z nichž alespoň 1 bude využívat peroxid vodíku. Navrhněte sérii laboratorních experimentů tak, abyste mohla na zvolené modelové odpadní vodě porovnat jejich účinnost v závislosti na reakčních podmínkách. Zaměřte se na rychlost odbourávání zvoleného kontaminantu v oblasti pH 3-11.
3. Výsledky experimentů vhodným způsobem zpracujte, proveďte jejich diskuzi a vzájemně porovnejte účinnost a efektivitu vybraných oxidačních procesů. Pokuste se posoudit vhodnost jejich aplikace pro vámi vybraný kontaminant v průmyslovém měřítku.
4. Diplomovou práci zpracujte v souladu se Směrnicí UPa č. 9/2012 „Pravidla pro zveřejňování závěrečných prací a jejich základní jednotnou formální úpravu“ v platném znění.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Libor Dušek, Ph.D.

Ústav environmentálního a chemického inženýrství

Konzultant diplomové práce:

Mgr. Gabriela Kuchtová

Datum zadání diplomové práce:

5. února 2020

Termín odevzdání diplomové práce:

7. května 2020



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

L.S.



prof. Ing. Petr Mikulášek, CSc.
vedoucí katedry

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala Ing. Liborovi Duškovi, Ph.D. a Mgr. Gabriele Kuchtové za ochotu, odborné vedení, vstřícnost, trpělivost, obětavost a psychickou podporu při realizaci této diplomové práce. Dále děkuji své rodině, která mi byla oporou a poskytla nemalé finanční prostředky na mé studium.

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 27. 6. 2020

Bc. Olga Krupková

ANOTACE

Tato diplomová práce je zaměřena na vypracování literární rešerše, která postihuje problematiku pokročilých oxidačních procesů využívajících peroxid vodíku a jejich průmyslové využití při čištění procesních a odpadních vod. Jako modelový kontaminant bylo vybráno aminoantrachinonové barvivo Acid Blue 80, jehož odbourávání pomocí pokročilých oxidačních procesů, jako je Fentonova reakce, UV-C záření, UV-C/H₂O₂ a fotoFentonová reakce, je uvedeno a zhodnoceno ve výsledcích experimentální části této práce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pokročilé oxidační procesy, peroxid vodíku, Fentonova reakce, UV-C záření

TITLE

Advanced oxidation processes using hydrogen peroxide

ANNOTATION

This thesis is focused on the elaboration of a literature search, which covers the issue of advanced oxidation processes using hydrogen peroxide and their industrial use in process and wastewater treatment. The aminoanthraquinone dye Acid Blue 80 was selected as a model contaminant the degradation of Acid Blue 80 by advanced oxidation processes as Fenton reaction, UV-C radiation, UV-C/H₂O₂ and photoFenton reaction is presented and evaluated in the experimental part of this work.

KEYWORDS

Advanced oxidation processes, hydrogen peroxide, Fenton reaction, UV-C radiation

OBSAH

0 ÚVOD.....	13
TEORETICKÁ ČÁST	14
1 ZPŮSOBY GENEROVÁNÍ HYDROXYLOVÉHO RADIKÁLU.....	14
1.1 Peroxid vodíku	14
1.1.1 Popis tvorby hydroxylového radikálu z peroxidu vodíku	14
1.2 Fentonova reakce	15
1.3 Ozonizace.....	16
1.3.1 Peroxon.....	19
2 FOTOCHEMICKÉ OXIDAČNÍ PROCESY	21
2.1 Zdroje UV záření.....	21
2.2 Proces založený na systému UV/O ₃	22
2.3 Proces založený na systému UV/H ₂ O ₂	23
2.4 FotoFentonova reakce	25
2.4.1 Vliv teploty a pH na fotoFentonovu reakci	27
3 MODELOVÁ ORGANICKÁ LÁTKA ACID BLUE 80.....	29
4 POUŽITÁ ANALYTICKÁ METODIKA.....	30
4.1 Spektrofotometrie.....	30
5 KINETICKÉ ROVNICE PRO IZOLOVANÉ REAKCE	34
5.1 Reakce 0. řádu a určení rychlostní konstanty.....	34
5.2 Reakce I. řádu a určení rychlostní konstanty	34
5.3 Reakce II. a pseudoprvního řádu.....	35
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	38
6 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE	38
7 PŘÍPRAVA ROZTOKŮ.....	39
7.1 Příprava roztoků AB 80	39
7.2 Příprava roztoků	39

8 EXPERIMENTÁLNÍ VYBAVENÍ.....	40
9 POSTUPY MĚŘENÍ	44
9. 1 Sestavení závislosti absorpance Acid Blue 80 na molární koncentraci	44
9. 2 Dekolorizace modelové odpadní vody s Acid Blue pomocí Fentonovy reakce	45
9. 2. 1 Sestavení pH profilu dekolozace Acid Blue 80 Fentonovou reakcí	45
9. 2. 2 Vliv molárního poměru peroxidu vodíku a železnatého iontu na rychlost dekolozace Acid Blue 80 Fentonovou reakcí	46
9. 3 Dekolorizace modelové odpadní vody s Acid Blue 80 pomocí UV-C záření	46
9. 4 Dekolorizace modelové odpadní vody s Acid Blue 80 systémem UV/H ₂ O ₂	47
9. 5 Dekolorizace modelové odpadní vody s Acid Blue 80 fotoFentonovou reakcí.....	47
9. 6 Stanovení organického uhlíku během dekolozace Acid Blue 80 Fentonovou reakcí	48
10 VÝSLEDKY	49
10. 1 UV-VIS kalibrační závislost pro Acid Blue 80 v modelové vodě.....	49
10. 2 Dekolorizace modelové vody s Acid Blue 80 Fentonovou reakcí	50
10. 3 Závislost dekolozace AB 80 na poměru železnatého ionu a peroxidu vodíku	52
10. 4 Dekolorizace AB 80 pomocí UV-C záření	55
10. 5 Dekolorizace AB 80 pomocí systému UV-C/H ₂ O ₂	57
10. 6 Dekolorizace AB 80 pomocí fotoFentonové reakce	60
10. 7 Výsledky stanovení organického uhlíku během dekolozace Fentonovou reakcí	62
11 DISKUZE	64
12 ZÁVĚR	70
13 ZDROJE.....	72
13 PŘÍLOHY	76
13. 1 Experimentální data získaná při odbarvování modelové odpadní vody s AB 80 pomocí Fentonovy reakce použitá pro sestavení pH profilu.....	76
13. 2 Experimentální data získaná při odbarvování modelové odpadní vody s AB 80 pomocí Fentonovy reakce postihující vliv poměru železnatého iontu a peroxidu vodíku.....	80

13. 3 Experimentální data získaná při odbarvování modelové odpadní vody s AB 80 pomocí UV záření	88
13. 4 Experimentální data získaná při odbarvování modelové odpadní vody s AB 80 pomocí pomocí systému UV/H ₂ O ₂	97
13. 5 Experimentální data získaná při odbarvování modelové odpadní vody s AB 80 pomocí FotoFentonové reakce	104

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 - Schéma generování ozonu [8]	16
Obrázek 2 - Generování ozonu elektrolýzou vodných roztoků [8]	17
Obrázek 3 - Schéma bublinkového kontaktoru [8].....	18
Obrázek 4 - koncentrace ozonu v závislosti na čase peroxidové oxidace toluenu v různých poměrech H ₂ O ₂ /O ₃ (121: 1, 63:1 a 31:1) [10]	19
Obrázek 5 - Emisní spektrum střednětlaké UV lampy [13]	21
Obrázek 6 - Časové závislosti úbytku tetrachlorethylenu během ozonizace v závislosti na aplikované dávce ozonu [14]	22
Obrázek 7 - Schéma účinku fotoFentonové reakce v odpadní vodě [33].....	28
Obrázek 8 - Vzorec barviva Acid blue 80 [34]	29
Obrázek 9 - Schéma spektrofotometrie [37]	31
Obrázek 10 – UV/VIS spektra GA při pH> 7 [40].....	32
Obrázek 11 - UV/VIS spektra (A) GA polymerace v přítomnosti OV, (B) GA polymerace v nepřítomnosti OV a (C) OV [40]	33
Obrázek 12 - Spektrofotometr DR3900	40
Obrázek 13 - UV/VIS spektrometr Libra S22	41
Obrázek 14 - UV předřadník EB-G45105	42
Obrázek 15 - UV/VIS spektra a kalibrační závislost absorbance na koncentraci AB 80 získaná ve vodném prostředí při 25 °C, při $\lambda_{anal.} = 627 \text{ nm}$ [42].....	49
Tabulka 1 Souhrn reakcí v modelu degradace ozonu s rychlostními konstantami a rovnovážnými konstantami [10].....	20
Tabulka 2 - Seznam použitých chemikálií	38
Tabulka 3 - Hodnoty pro přípravu zásobních roztoků AB 80, navážky přepočteny na 100% barvivo	39
Tabulka 4 - Specifikace spektrofotometru DR3900	40
Tabulka 5 - Specifikace UV/VIS spektrometru Libra S22.....	41
Tabulka 6 - Specifikace pro UV předřadník EB-G45105 firmy AQUA.....	42
Tabulka 7 - Specifikace pro nízkotlaké rtuťové výbojky UV-C zdroj	43
Tabulka 8 - Přehled přípravy kalibračních roztoků AB 80 pro kalibrační závislosti jejich absorbance na koncentraci	44
Tabulka 9 - Přidávky H ₂ O ₂ a FeSO ₄ k jednotlivým poměrům	46

Tabulka 10 - Přehled vypočtených průměrných hodnot rychlostních konstant nultého, prvního a druhého řádu a jejich směrodatné odchylky získaná z kinetických experimentů dekolorizace modelové odpadní vody s počáteční koncentrací AB80 $c_0 \approx 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ při $t = 25^\circ\text{C}$	50
Tabulka 11 - Přehled vypočtených průměrných hodnot rychlostních konstant nultého, prvního a druhého řádu a jejich směrodatné odchylky získaný z kinetických experimentů dekolorizace modelové odpadní vody s počáteční koncentrací AB80 $c_0 \approx 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ při $t = 25^\circ\text{C}$	53
Tabulka 12 - Přehled vypočtených průměrných hodnot rychlostních konstant nultého, prvního a druhého řádu a jejich směrodatné odchylky získaná z kinetických experimentů dekolorizace modelové odpadní vody s počáteční koncentrací AB80 $c_0 \approx 5 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ při $t = 25^\circ\text{C}$	55
Tabulka 13 - Přehled vypočtených průměrných hodnot rychlostních konstant nultého, prvního a druhého řádu a jejich směrodatné odchylky získané z kinetických experimentů dekolorizace modelové odpadní vody pomocí reakčního systému UV-C/ H_2O_2 s počáteční koncentrací AB80 $c_0 \approx 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ při $t = 25^\circ\text{C}$	58
Tabulka 14 - Přehled vypočtených průměrných hodnot rychlostních konstant nultého, prvního a druhého řádu a jejich směrodatné odchylky získané z kinetických experimentů dekolorizace modelové odpadní vody pomocí fotoFentonovy reakce s počáteční koncentrací AB80 $c_0 \approx 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ při $t = 25^\circ\text{C}$	60
Tabulka 15 - Hodnoty TC, IC, TOC a TN naměřené ze vzorků modelové odpadní vody s počáteční koncentrací barviva AB 80 $c_0 = 2,275 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ během dekolorizace pomocí Fentonové reakce při $\text{pH} = 3$ odebíraných v určitých časových intervalech při $t = 25^\circ\text{C}$	63

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AOP	Pokročilé oxidační procesy
UV	Ultrafialové záření
UV-A	UV záření v oblasti vlnových délek od 315 do 400 nm
UV-B	UV záření v oblasti vlnových délek od 280 do 315 nm
UV-C	Krátkovlnné UV záření v oblasti vlnových délek pod 280 nm
VUV	Vakuové ultrafialové záření v oblasti vlnových délek pod 200 nm
TOC	Celkový organický uhlík
IC	Anorganický uhlík
TC	Celkový uhlík
TN	Celkový dusík
AB 80	Acid blue 80
UV/VIS	Ultrafialovo-viditelné záření
OV	Odpadní vody
GA	3,4,5-trihydroxybenzoová kyselina, známa též jako kyselina gallová
ϵ_{λ}	molární extinkční koeficient při vlnové délce λ [$\text{l}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$]
σ_{λ}	absorpční průřez

0 ÚVOD

Pokročilé oxidační procesy (Advanced Oxidation Processes – AOP) jsou procesy využívající hydroxylových radikálů, které mají silný oxidační účinek k odstranění jinak těžce rozložitelných látek. V 50. letech 20. století našly první průmyslové využití při oxidaci fenolů a jejich derivátů v odpadních vodách. Během nového tisíciletí vzrůstal zájem o tyto procesy, kvůli zprísněné celosvětové legislativě, zaměřené na ochranu životního prostředí a lidského zdraví. Hlavní problém v této oblasti je znečištění pitné vody tzv. mikropolutanty jako jsou zbytky léčiv, pesticidů, herbicidů, atd. Pokročilé oxidační procesy, využívající silný oxidační potenciál hydroxylových radikálů, jsou dnes aplikovány při čištění odpadních vod, kde se oxidační převážná část polutantů na méně toxické nebo netoxické produkty, například na oxid uhličitý nebo vodu [1].

U peroxidu vodíku, který vystupuje v určitých reakčních systémech jako součást AOP jsou jeho antimikrobiální a antiseptické vlastnosti známy již mnoho let. Je účinný proti široké škále bakterií, kvasinek, plísní, virů a organismů vytvářejících spory. Pro účely dezinfekce vody se stávají perzistentní vlastnosti peroxidu vodíku nevýhodou pro udržení kvality vody v distribučním systému. Jeho použití je však široce rozšířeno, protože je relativně levný, a nevytváří v upravované vodě toxická rezidua. V případě potřeby je možné jej katalyticky, fotochemicky či termicky rozložit na vodu a kyslík. Současně lze konstatovat, že s jeho vodárenským a sanačním využíváním je mnohaletá zkušenost a v praxi nepředstavuje významné riziko [2].

TEORETICKÁ ČÁST

1 ZPŮSOBY GENEROVÁNÍ HYDROXYLOVÉHO RADIKÁLU

Pro tvorbu hydroxylových radikálů využívají chemické oxidační procesy peroxid vodíku nebo O₃. Jedná se především o chemické reakce bez využití UV či jiného záření. Využívá se zde řada katalyzátorů jako jsou oxidy kovů (především heterogenní ozonizace) a ionty kovů jako jsou Mn²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, Mn⁴⁺ [3].

1.1 Peroxid vodíku

Peroxid vodíku je relativně silné oxidační činidlo. Jeho účinky vynikají především v kyselém prostředí, kde poskytuje standartní elektrochemický potenciál $E^\circ = 1,78 \text{ V}$. Má schopnosti vytvářet silně oxidační chemické látky, jako je hydroxylový radikál HO[•], který reaguje téměř se všemi biologickými molekulami. Zjednodušeně řečeno, útok radikálů HO[•] v přítomnosti kyslíku iniciuje komplexní kaskádu oxidačních reakcí, které vedou k rozkladu všech enzymů a organických sloučenin, jež jsou důsledkem roztržení buněčné membrány. Avšak konečná cesta k buněčným membránám je daleko složitější [4].

1.1.1 Popis tvorby hydroxylového radikálu z peroxidu vodíku

Při popisu vzniku hydroxylového radikálu z peroxidu vodíku je jednou z hlavních obtíží zahrnutí účasti železa nebo superoxidu železa v mechanismu tvorby HO[•] ($\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2$) dle rovnice 1 [4].



Tvorba hydroxylových radikálů se navrhuje podle následujících rovnic 2 - 6:

Propagace



Terminace



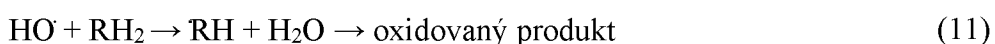
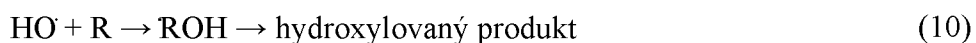
1. 2 Fentonova reakce

Fentonův proces představuje zástupce AOP využívající katalyzátor. Peroxid vodíku se v kyselém prostředí rozkládá pomocí železnatých iontů, a tím vznikají hydroxylové radikály. H_2O_2 se v přítomnosti Fe^{3+} katalyticky rozkládá za současné obnovy Fe^{2+} , který znovu reaguje s H_2O_2 podle rovnic 7 – 9 [5].



Fe^{2+} se oxiduje v přebytku H_2O_2 na Fe^{3+} během několika sekund. Tento proces je velmi účinný v tvorbě HO . Na každý Fe^{2+} připadá jeden HO , proto je potřeba vysoká koncentrace Fe^{2+} . Nevýhoda tohoto procesu je v tvorbě Fe^{3+} , který při úpravě odpadních vod tvoří železný kal, který se musí dále separovat [5].

Oxidace organických substrátů Fentonovou reakcí probíhají po vygenerování HO , nebo vznikem organického radikálu, doprovázeného transferem protonu, jak je uvedeno v rovnicích 10 a 11 [6].



V obou rovnicích se organické volné radikály vytvářejí jako přechodné meziprodukty. Intermediální radikály jsou dále oxidovány Fe^{3+} ionem, kyslíkem, peroxidem vodíku a HO za vzniku konečného, stabilního, oxidovaného produktu, např. dle rovnic 12 a 13 [6].



Pokud je oxidačním činidlem kyslík, pak se vytvoří buď peroxidový anion (O_2^-) nebo, v závislosti na pH ($\text{pK}_a = 4,9$), jemu odpovídající kyselina - perhydroxylový radikál (OOH). Perhydroxylový radikál je silné oxidační činidlo, které může vést ke vzniku dalších produktů nebo meziproduktů, v závislosti na povaze pufru a přítomnosti dalších přísad v reakčním médiu.

Pokud se přidají pouze stopová množství železitých solí vzhledem k peroxidu vodíku, potom může anion peroxidu vodíku působit jako redukční činidlo k regeneraci železnatých iontů a tím zahájit novou reakční sekvenci (rovnice 7). Železné iony vznikají také dle rovnice 12.

Při oxidaci organického substrátu pomocí vodíku (rovnice 11) může přechodný meziprodukt (RH) reagovat s kyslíkem (přenos atomů vodíku) za vzniku perhydroxylového radikálu (rovnice 14) a vytvářet stabilní organický radikál (R, který obsahuje dvojnou vazbu), nebo se může k meziproductu přidat kyslík (rovnice 15) za vzniku nového radikálového meziproductu (OORH; volný peroxylový radikál) [7]

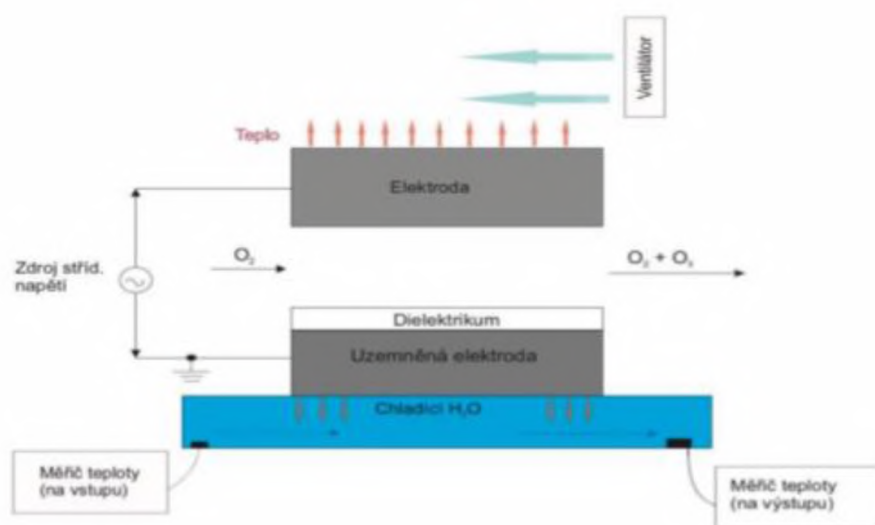


1. 3 Ozonizace

O₃ je bezbarvý plyn a jeho molekula je tvořena třemi atomy kyslíku. Jedná se o silné oxidační činidlo, jehož standartní elektrochemický potenciál E° = 2,07 V.

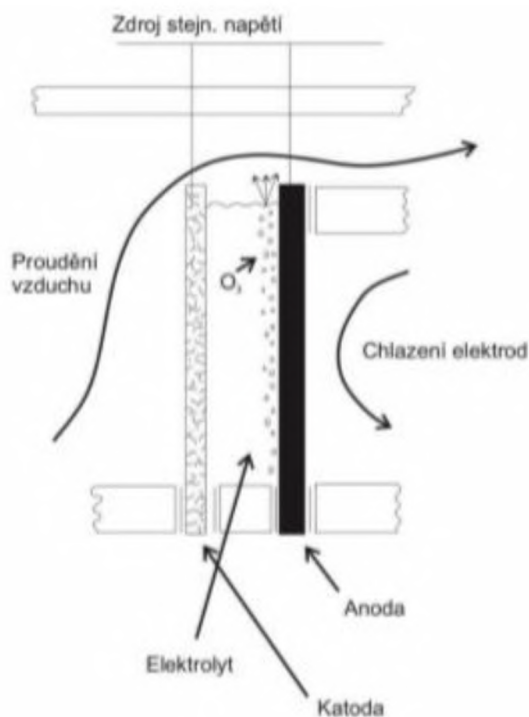
Velké průmyslové generátory vyrábějí ozon z kyslíku, po jeho použití se přemění zpět na čistý kyslík a zmizí beze stopy. Oproti jiným metodám nevznikají žádné vedlejší produkty.

Princip generování O₃ na obrázku 1, spočívá ve vytvoření kyslíku v kyslíkové věži za atmosférického tlaku, dochází k oddělení dusíku a kyslíku (zdroj O₂ je vzduch), tímto způsobem se získá kyslík s vysokou čistotou. Plynný kyslík ve vysokonapěťovém elektrickém poli pod střídavým koronovým výbojem a za atmosférického tlaku následně vygeneruje ozon [8].



Obrázek 1- Schéma generování ozonu [8]

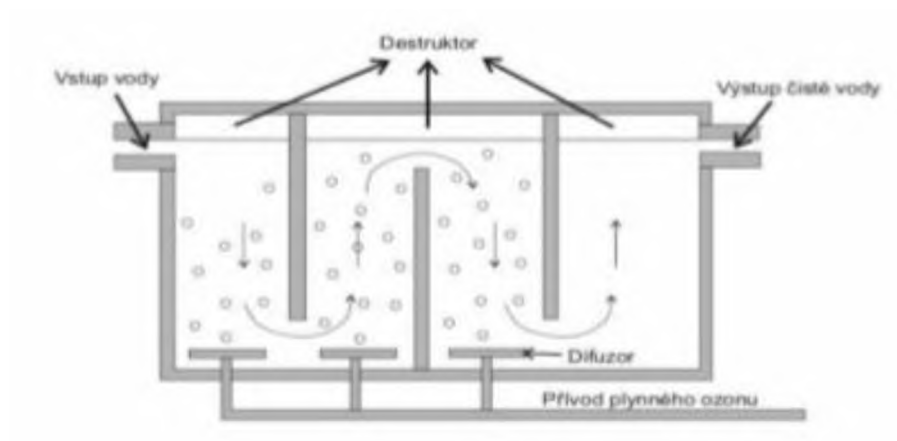
Ozon se může generovat i elektrolýzou vodných roztoků kyselin a zásad, která je znázorněna na obrázku 2. Po vložení elektrod do elektrolytu je na elektrody přiveden stejnosměrný proud. Vlivem elektrolýzy dochází u anody k vytváření radikálů kyslíku, které reagují s molekulárním kyslíkem a mohou vytvořit ozon. Napětí potřebné pro vytváření molekul ozonu činí 1,8–2,1 V [8, 9].



Obrázek 2 - Generování ozonu elektrolýzou vodných roztoků [8]

Generátory O_3 jsou řízená zařízení, která slouží například ke komplexnímu zajištění procesu úpravy vody. Obvykle obsahují např. zdroj na přípravu pracovního plynu, chladiče uzavřených chladících okruhů generátoru, analyzátory O_3 v plynu, automatické řízení dávky O_3 , systémy distribuce O_3 do více míst, zařízení pro vnos O_3 do vody, destruktory O_3 , analyzátory O_3 ve vodě a bezpečnostní zařízení.

Převádění ozonu O_3 do vody probíhá pomocí kontaktorů, např. bublinkovým kontaktem. Bublinky plynu probublávají skrz komoru naplněnou vodou. Bublinky ozonu jsou do komory přivedeny pomocí difuzorů. Poté dochází k reakci s nečistotami ve vodě a k jeho částečnému rozpuštění. Nevyužitý zbytek ozonu je odveden do destrukturu. Voda s ozonem putuje do další komory, kde se proces opakuje. Celý tento proces je zobrazen na obrázku 3 [8, 9].



Obrázek 3 - Schéma bublinkového kontaktoru [8]

Rozpad O_3 ve vodě probíhá reakcemi, které zahrnují iniciaci (rovnice 16 a 17), propagaci (rovnice 18 – 22) a zrušení řetězových reakčních kroků. Zvýšené pH urychluje rozklad O_3 , hlavně kvůli vyšší tvorbě $OH\cdot$ radikálů, což se nejvíce projevuje při $pH \geq 8$. Naopak při pH nižším než 7 je rozklad ozonu značně zpomalen, což vede k vyšším koncentracím molekulárního O_3 [9].

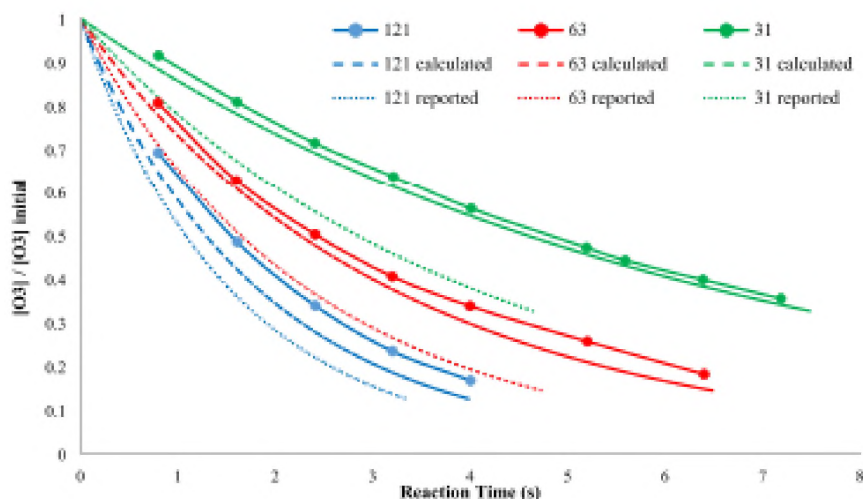


1. 3. 1 Peroxon

Aplikace O_3 spolu s H_2O_2 , běžně označovaná jako Peroxon, je široce zkoumaná technika čištění odpadních vod. Reakce $O_3 + H_2O_2$ podporuje rozklad O_3 a tím i tvorbu hydroxylových radikálů, viz reakce 23 – 27. Příklad aplikace procesu Peroxon na oxidaci toluenu popisuje obrázek 4. Souhrnný přehled reakcí při degradaci ozonem uvádí tabulka 1 [10].



Kombinace jednotlivých reakčních kroků nám umožňuje získat ze dvou molekul O_3 dva OH, dle rovnice 28 [11].



Obrázek 4 - koncentrace ozonu v závislosti na čase peroxidové oxidace toluenu v různých poměrech H_2O_2 / O_3 (121: 1, 63:1 a 31:1) [10]

Tabulka 1 Souhrn reakcí v modelu degradace ozonu s rychlostními konstantami a rovnovážnými konstantami [10].

Konstanta	Reakce	Hodnota	Jednotka
Rovnovážné a reverzibilní reakce			
K ₁	$\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$	$1 \cdot 10^{-14}$	
K ₂	$\text{OH}^- + \text{HO}^\cdot \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{O}^\cdot$	$1,2 \cdot 10^1$	
K ₃	$\text{O}^\cdot + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{O}_3^\cdot$	$k_F = 1,2 \cdot 10^9$ $1,8 \cdot 10^6$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₄	$\text{HO}_2 + \text{O}_2^\cdot \rightleftharpoons \text{HO}_4^\cdot$	$k_F = 3,5 \cdot 10^9$ $5 \cdot 10^2$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₅	$\text{HO}_2^\cdot + \text{O}_3^\cdot \rightleftharpoons \text{HO}_5^\cdot$	$k_F = 5 \cdot 10^9$ $5 \cdot 10^2$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
Iniciace			
K ₆	$\text{O}_3 + \text{OH}^- \rightarrow \text{HO}_4^\cdot$	$1,7 \cdot 10^2$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₇	$\text{O}_3 + \text{HO}_2^\cdot \rightarrow \text{HO}_5^\cdot$	$2,8 \cdot 10^6$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
Propagace			
K ₈	$\text{O}_3 + \text{HO}^\cdot \rightarrow \text{HO}_2 + \text{O}_2$	$2 \cdot 10^9$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₉	$\text{HO}_2^\cdot + \text{HO}^\cdot \rightarrow \text{HO}_2 + \text{OH}^-$	$5,6 \cdot 10^9$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₁₀	$\text{O}^\cdot + \text{HO}_2^\cdot \rightarrow \text{O}_2^\cdot + \text{OH}^-$	$1 \cdot 10^9$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₁₁	$\text{O}^\cdot + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3^\cdot$	$3,5 \cdot 10^9$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₁₂	$\text{O}_3 + \text{O}_2^\cdot \rightarrow \text{O}_3^\cdot + \text{O}_2$	$1,5 \cdot 10^9$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₁₃	$\text{O}_3^\cdot \rightarrow \text{O}^\cdot + \text{O}_2$	$1,9 \cdot 10^3$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₁₄	$\text{O}_3^\cdot + \text{O}_2^\cdot \rightarrow 2\text{O}_2^\cdot$	$7 \cdot 10^8$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₁₅	$\text{HO}_5^\cdot \rightarrow 2\text{O}_2 + \text{OH}^-$	$1 \cdot 10^7$	s^{-1}
K ₁₆	$\text{HO}_2^\cdot \rightarrow \text{O}_2^\cdot + \text{H}^+$	$3,2 \cdot 10^5$	s^{-1}
K ₁₇	$\text{O}_2^\cdot + \text{H}^+ \rightarrow \text{HO}_2^\cdot$	$2 \cdot 10^{10}$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₁₈	$\text{HO}_2^\cdot + \text{O}_3 \rightarrow \text{HO}^\cdot + 2\text{O}_2$	$4,6 \cdot 10^5$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₁₉	$\text{O}_3^\cdot + \text{H}^+ \rightarrow \text{HO}_3^\cdot$	$5,2 \cdot 10^{10}$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₂₀	$\text{HO}_3^\cdot \rightarrow \text{O}_3^\cdot + \text{H}^+$	$3,3 \cdot 10^2$	s^{-1}
K ₂₁	$\text{HO}_3^\cdot \rightarrow \text{HO}^\cdot + \text{O}_2$	$1,1 \cdot 10^5$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
Terminace			
K ₂₂	$\text{HO}^\cdot + \text{HO}_2^\cdot \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$	$6,6 \cdot 10^9$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₂₃	$\text{O}^\cdot + \text{O}_2^\cdot + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{OH}^-$	$6 \cdot 10^8$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₂₄	$\text{O}_3^\cdot + \text{HO}^\cdot \rightarrow \text{O}_3 + \text{OH}^-$	$2,5 \cdot 10^9$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₂₅	$\text{HO}^\cdot + \text{O}_2^\cdot \rightarrow \text{OH}^- + \text{O}_2$	$5 \cdot 10^9$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₂₆	$\text{HO}_2^\cdot + \text{O}_2^\cdot \rightarrow \text{HO}_2 + \text{O}_2$	$1 \cdot 10^8$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₂₇	$\text{HO}^\cdot + \text{HO}^\cdot \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$	$5,5 \cdot 10^9$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₂₈	$\text{O}^\cdot + \text{HO}^\cdot \rightarrow \text{HO}_2^\cdot$	$2 \cdot 10^{10}$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₂₉	$\text{O}_2^\cdot + \text{HO}^\cdot \rightarrow \text{OH}^- + \text{O}_2$	$7 \cdot 10^9$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₃₀	$\text{O}^\cdot + \text{O}^\cdot \rightarrow \text{O}_2^{2-}$	$8,4 \cdot 10^9$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
V přítomnosti pufru			
K ₃₁	$\text{HO}^\cdot + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{OH}^- + \text{CO}_3^\cdot$	$4,2 \cdot 10^8$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₃₂	$\text{HO}^\cdot + \text{HCO}_3^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3^\cdot$	$8,5 \cdot 10^6$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₃₃	$\text{CO}_3^\cdot + \text{O}_3^\cdot \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{O}_3$	$5,5 \cdot 10^7$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₃₄	$\text{HO}^\cdot + \text{HPO}_4^{2-} \rightarrow \text{OH}^- + \text{HPO}_4^\cdot$	$1,5 \cdot 10^5$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
K ₃₅	$\text{HO}^\cdot + \text{H}_2\text{PO}_4^- \rightarrow \text{OH}^- + \text{H}_2\text{PO}_4^\cdot$	$2 \cdot 10^4$	$\text{m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$

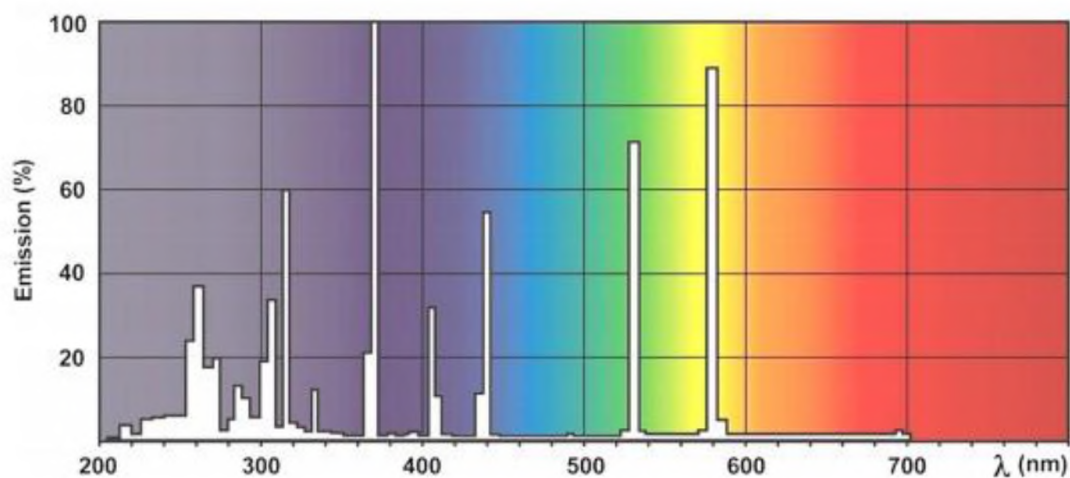
2 FOTOCHEMICKÉ OXIDAČNÍ PROCESY

K vyvolání fotochemických změn v molekule ozařujeme reakční systém v průběhu oxidačního procesu elektromagnetickým zářením v oblasti UV-VIS. Zatímco viditelné spektrum pokrývá vlnové délky mezi 400 a 800 nm, UV oblast se obvykle dále rozděluje do čtyř oblastí [12]:

- UV-A (nazývané také blízké UV záření, dlouhé vlny nebo černé světlo), jehož vlnové délky jsou v rozsahu od 315 do 400 nm.
- UV-B má rozsah vlnových délek od 280 do 315 nm.
- UV-C (krátké UV záření) zahrnuje vlnové délky kratší než 280 nm.
- VUV (vakuové ultrafialové světlo) má nižší vlnové délky než 200 nm, oficiálně se někdy zařazuje pod UV-C.

2.1 Zdroje UV záření

Zdroj UV, který by zajistil efektivní průběh oxidační reakce, by měl mít emisní spektrum vlnových délek pod 260 nm. To omezuje použití středotlakých UV lamp (jejich emisní spektrum je znázorněno na obrázku 6), které mají vlnové emisní spektrum od 200 do 700 nm. Vhodnějšími zdroji se pro procesy UV+ H₂O₂ jeví nízkotlaké rtuťové výbojky a UV-vakuové výbojky. Tyto zdroje emitují prakticky monochromatické záření při vlnové délce blízké 254 nm, respektive 180 nm [12, 13].



Obrázek 5 - Emisní spektrum střednětlaké UV lampy [13]

2. 2 Proces založený na systému UV/O₃

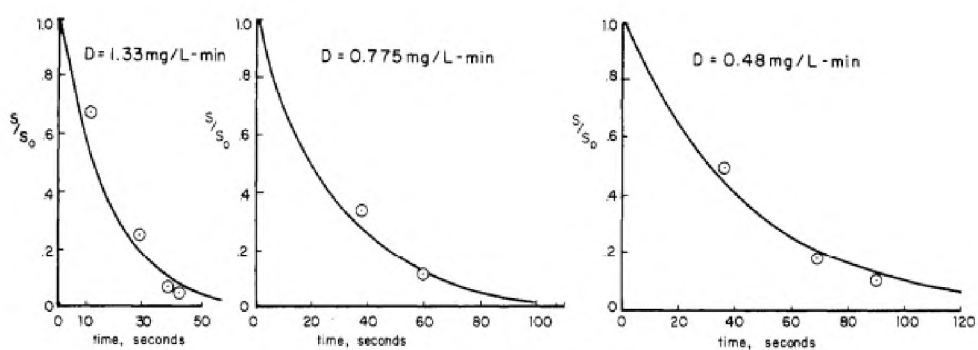
Ozon v plynné fázi a v roztoku absorbuje ultrafialové záření s maximem při 254 nm. Ve vodě, kde je rozptýlena plynná fáze, probíhá disociace na kyslík a na atom kyslíku ve stavu ¹D. Ten může reagovat s vodou za vzniku dvou hydroxylových radikálů (rovnice 29 a 30) [14].



Ve vodné fázi se radikály kombinují s rozpouštědlem. Současně vzniká peroxid vodíku, který také můžeme získat fotolýzou a kombinací s ozonem (rovnice 31 a 32) [14].



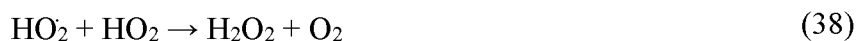
Systém O₃ + UV může také zahrnovat přímou excitaci substrátu s následnou reakcí nebo přímou ozonizaci, což poukazuje na synergii mezi přenosem ozonu a UV fotonu. Kinetika systému UV + O₃ je uvedena na obrázku č. 7. Ten popisuje závislosti koncentrace tetrachlorethylenu na čase pro ozonizaci v čištěné vodě. Nad každým grafem je uvedena dávka ozonu [15].



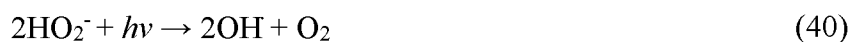
Obrázek 6 - Časové závislosti úbytku tetrachlorethylenu během ozonizace v závislosti na aplikované dávce ozonu [14]

2. 3 Proces založený na systému UV/H₂O₂

Tento proces závisí na produkci účinného oxidantu, jímž je v tomto případě hydroxylový radikál (OH), ozářením peroxidu vodíku ultrafialovým zářením. Fotoindukovaný rozklad peroxidu vodíku v čisté vodě probíhá radikálovým mechanismem, podle kterého hydroxylové radikály vzniklé homolytickým štěpením O-O vazby zahajují sled reakcí charakterizované iniciačním krokem, (rovnice 33). Následuje krok propagace, který popisují rovnice 34 a 35. Konečné terminační reakce zahrnují radikální rekombinaci, viz rovnice 36–38. Účinnost produkce OH radikálů závisí na schopnosti peroxidu vodíku absorbovat UV záření, jakož i na fyzikálních a chemických vlastnostech kapaliny, která je podrobena oxidačnímu procesu. Absorpce UV záření pomocí molekuly H₂O₂ závisí jak molárním extinkčním koeficientu ϵ , tak i na UV absorpčním průřezu σ [13, 16].



Tento problém lze do značné míry eliminovat, pokud fotolýzu provedeme ve vodně alkalickém prostředí, kdy rychlost fotolýzy H₂O₂ za přítomnosti OH⁻ iontů roste, jelikož produkují peroxidové anionty HO₂⁻, jejichž ϵ ve vodě je 240 l mol⁻¹ cm⁻¹ při 254 nm (rovnice 39 a 40) [17, 18].



Hydroxylové radikály jsou extrémně reaktivní a neselektivní přechodné oxidanty, které rychle reagují s většinou látek přítomných v odpadních vodách. K obvyklým mechanismům systému UV + H₂O₂ v odpadní vodě patří [19, 20]:

- Roztržení molekuly vodíku

Atom vodíku je odstraněn z kontaminantu podrobeného oxidačnímu procesu za vzniku organického radikálu. V tomto procesu odstraněný vodík reaguje s radikálem $\cdot\text{OH}$, což vede k tvorbě molekuly vody.

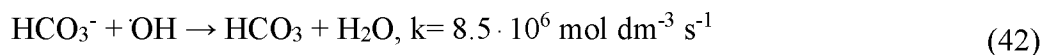
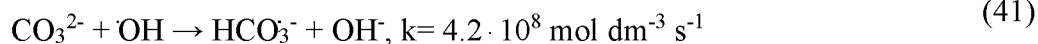
- Hydroxylová (elektrofilní) adice

Tento mechanismus se týká přidání hydroxylového radikálu na kontaminant. a využívá se pro dechlorace chlorovaných fenolů za vzniku chloridových iontů.

- Elektronový přenos

Radikál $\cdot\text{OH}$ funguje jako akceptor elektronů a je redukován na hydroxid. Toto je základní mechanismus běžné oxidační reakce.

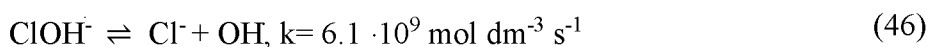
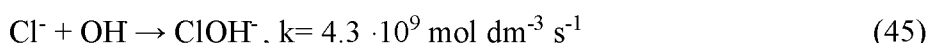
S rostoucím pH současně roste i koncentrace HCO₃⁻ a CO₃²⁻ iontů, které se chovají vůči hydroxylovému radikálu OH jako lapače a „požírají jej“, čímž vznikají radikálové produkty HCO₃ a CO₃⁻, dle reakcí 41 a 42. Jejich elektrochemický potenciál (E°= 1,59 V při pH 12) je oproti reaktivnímu hydroxylovému radikálu předurčuje spíše pro parciální a selektivní oxidaci modelového kontaminantu Acid Blue 80, než pro jeho mineralizaci [21, 22, 23].



Podobně jako uhličitanové či hydrogenuhličitanové ionty mohou vůči hydroxylovému radikálu vystupovat také síranové anionty, viz rovnice 43 a 44. Ty jsou často přítomny ve zpracovávaných odpadních vodách jako sekundární anorganické znečištění, například v roli pomocného elektrolytu [22].



Ačkoliv to nemusí být na první pohled zřejmé i chloridové anionty jak v přírodních, tak i v odpadních vodách ovlivňují koncentraci hydroxylových radikálů. K poklesu koncentrace HO^\cdot dochází po jeho reakci s chloridovým anionem, rovnice 45. Na druhou stranu vznikající ClOH^\cdot není stabilní a může vratnou reakcí poskytovat reaktivnější hydroxylový radikál ve smyslu rovnice 46, viz literatura [22].



Důsledkem výše uvedeného může v přítomnosti anorganických solí probíhat pouze parciální oxidace Acid Blue 80. Z praktického hlediska, se ovšem aplikace oxidačního procesu $\text{UV} + \text{H}_2\text{O}_2$ při čištění odpadních vod zaměřuje na úplnou mineralizaci cílových kontaminantů, kdy finálními produkty je oxid uhličitý, voda a anorganické soli [24].

2. 4 FotoFentonova reakce

Nejběžnějšími činidly používanými pro fotoFentonovu reakci jsou železnatý či železitý ion (používá se zpravidla síran železnatý (Fe^{2+}) nebo dusičnan železitý (Fe^{3+})) a peroxid vodíku. Účinnost procesu závisí na řadě parametrů, jako je pH, teplota, ale také koncentrace obou použitých činidel. Obecně platí, že vyšší koncentrace peroxidu vodíku a ionů železa způsobuje vyšší rychlost oxidace. Nicméně nadbytek iontů železa nebo H_2O_2 omezuje nebo inhibuje účinnost procesu. V takovém případě probíhají reakce, které snižují koncentraci hydroxylových radikálů, viz rovnice 47 a 48, literatura [25].

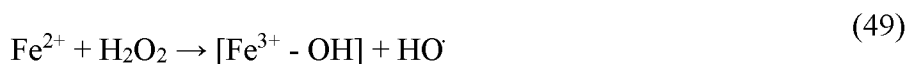


Typická koncentrace železa používaná pro fotoFentonovu reakci při dekontaminaci vody je v rozsahu od 0,01 do 1 mmol · l⁻¹, což zvyšuje rychlost reakce s rostoucí koncentrací ionů železa. Zpravidla je však koncentrace ionů Fe²⁺ na Fe³⁺ nižší než 0,2 mmol · l⁻¹. V důsledku vlivu pH na rozpustnost Fe²⁺ a Fe³⁺ se většina ionů železa vysráží při neutrálním nebo téměř neutrálním pH. Současně s vysrážením těchto ionů vznikají dispergované nerozpustné agregáty a barevné suspendované pevné látky bránící průchodu světla, což snižuje i účinnost mikrobiální oxidace [25].

Dalším klíčovým parametrem účinnosti fotoFentonové reakce je počáteční poměr ionů železa vůči H₂O₂. Běžné molární poměry Fe²⁺: H₂O₂ se u Fentonova činidla při oxidaci odpadních vod pohybují v rozmezí 1:2, 1:9, 1:14 až 1:18. Práce [26] však popisuje, že poměr 1:2 je dostačující pro dosažení dobrých výsledků oxidace dokonce i při sanaci odpadních vod s vysokou koncentrací stabilní komplexů, vázajících železitý kation s organickými látkami pocházejících z vylouženého půdního humusu.

Strategie provádění fotoFentonové reakce pro dezinfekci odpadních vod týkající se přidávání železa a H₂O₂. Lze je shrnout následovně:

- Strategie přidávání činidel na začátku procesu
Tato strategie je jednou z nejvíce běžně užívaných pro dezinfekci vody. Spočívá v přidání činidel do vzorku vody na začátku procesu. Tento proces je sledován z hlediska koncentrace mikroorganismů, peroxidu vodíku a koncentrace rozpuštěného železa přítomného ve vzorku po celou dobu experimentu. Protože se H₂O₂ spotřebovává během fotoFentona procesu (rovnice 49 a 50), jsou během procesu dramaticky zpomaleny nebo omezeny reakce, kde železo může reagovat s mikroorganismy [27, 28].

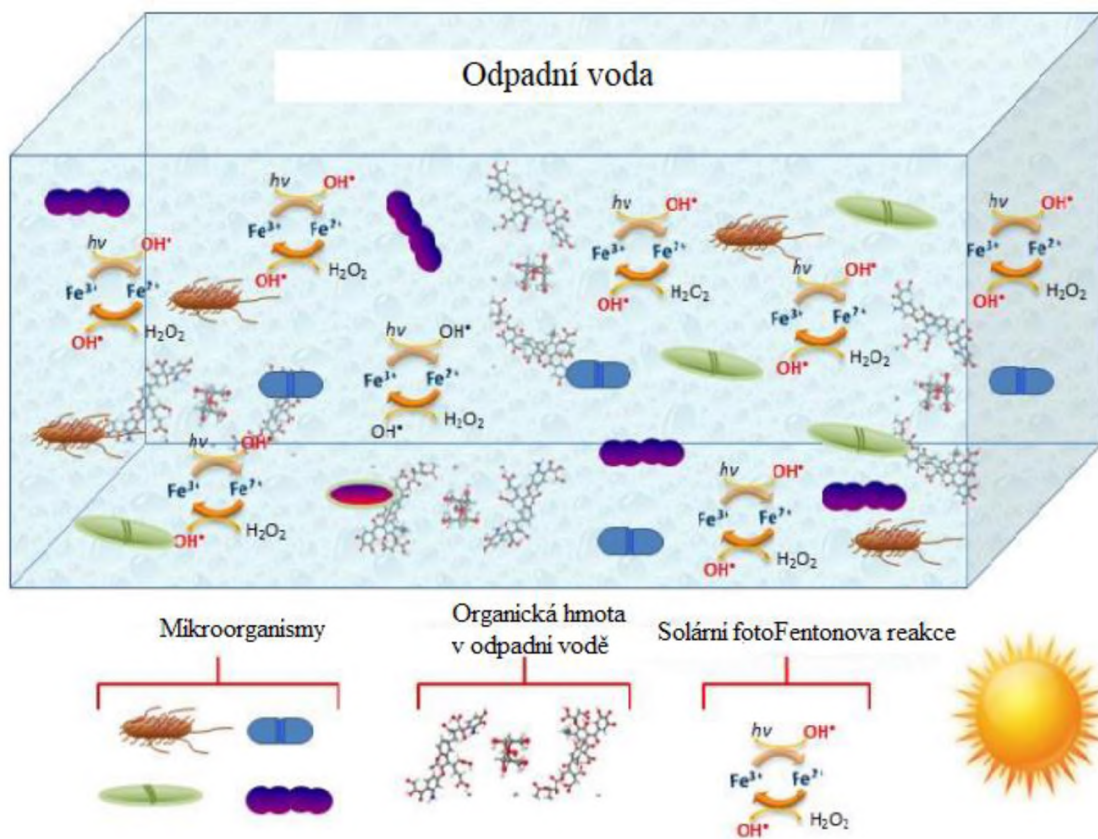


- Přidání ionů železa na začátku procesu a dávkování H_2O_2 během procesu
Tato strategie je nejpoužívanější pro dekontaminaci vody. Dávkování H_2O_2 během procesu zajišťuje, že reakce popsané rovnicemi 44 a 45 nejsou inhibovány ve schopnosti generovat HO^\bullet , a tím odstraňovat organické polutanty [29, 30].
- Dávkování železa během procesu
 H_2O_2 přidaný jako jediná počáteční dávka zpomalí rychlost dekontaminace s ohledem na jediný přírůstek ionů železa. Spotřeba peroxidu vodíku je při průběžném dávkování ionů železa vyšší než v případě jednorázového přírůstku, protože H_2O_2 reaguje se železem pokaždé, když je přidán čerstvý Fe^{2+} [30].
- Zvyšující se koncentrace peroxidu vodíku
Zvýšení koncentrace peroxidu vodíku může způsobit vyšší účinnost dekontaminace organického polutantů. Avšak tento růst účinnosti ani o něco zvýšená rychlost oxidace neodpovídá nárůstu koncentrace peroxidu vodíku. Pro reálné průmyslové aplikace není tato strategie praktická [31].
- Kontinuální přidávání činidel během procesu
Navolený poměr $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ se udržuje dávkováním dvou roztoků v průběhu procesu a po nadávkování celého množství činidel nastává fáze doreagování. Výsledkem je kontinuální rychlost procesu bez velkých výkyvů rychlosti a nenastává plýtvání chemikáliemi. Současně strategie kontinuálního přidávání činidel minimalizuje vedlejší reakce [31].

2. 4. 1 Vliv teploty a pH na fotoFentonovu reakci

Rozpustnost železnatých iontů se může lišit v závislosti na teplotě a pH vodného roztoku. Literatura uvádí zvýšenou rychlost degradace TOC fotoFentonovou reakcí při teplotách od 20 do 50 °C a při kyselějším pH prostředí (ideálně pH 3). Účinnost procesu se snižuje při překročení teploty 50 °C a pH 7, kdy se železnaté ionty sráží. Pro H_2O_2 se uvádí ideální teplota okolo 30 °C, nad tuto hodnotu má H_2O_2 tendenci se rozložit na H_2O a O_2 [31].

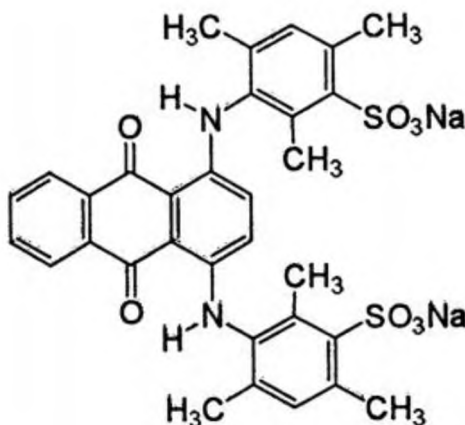
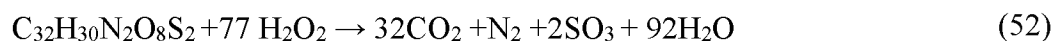
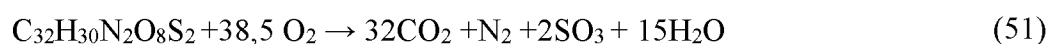
Vysoká teplota také drasticky snižuje životaschopnost mikroorganismů v důsledku ztráty integrity proteinů, enzymů a genetického materiálu. Optimální teplota pro většinu bakterií je mezi 35 a 40 °C, zatímco pro většinu hub 28 °C. Schéma účinku fotoFentonovy reakce je uvedeno na obrázku 7, literatura [25, 32].



Obrázek 7 - Schéma účinku fotoFentonové reakce v odpadní vodě [33]

3 MODELOVÁ ORGANICKÁ LÁTKA ACID BLUE 80

Barvivo Acid Blue 80, známé také pod obchodním názvem Rybacidová modř R 150, je antrachinonové barvivo. Toto vodorozpustné barvivo, v diplomové práci použité jako modelová znečišťující organická látka, se používá pro barvení vlny a nylonu. Strukturální vzorec barviva uvedený na obrázku 8 udává, že barvivo je přítomno ve formě disodné soli. Tomu odpovídá také sumární molekulový vzorec barviva $C_{32}H_{28}N_2Na_2O_8S_2$ a jeho molekulová hmotnost $678,68 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Acid Blue 80 je značně odolná vůči biologické degradaci. Proto musí být taková barviva degradována pomocí pokročilých oxidačních procesů. Ve vodném prostředí vykazuje absorpční maximum při vlnové délce λ_{max} je 627 nm. Rychlost oxidace za přítomnosti ve vodě rozpuštěného kyslíku ve smyslu rovnice 51 je bohužel zcela nedostačující a barvivo zůstává i po několika měsících expozice beze změny barevnosti. Teprve přidavek peroxidu vodíku vede k oxidaci až mineralizaci tohoto barviva podle rovnice 52, literatura [34].



Obrázek 8 - Vzorec barviva Acid blue 80 [34]

4 POUŽITÁ ANALYTICKÁ METODIKA

4.1 Spektrofotometrie

Spektrofotometrie je analytická metoda založená na interakci elektromagnetického záření s analyzovaným roztokem, kdy je záření absorbováno částicemi vzorku. Absorpcí fotonu se mění energie molekuly a vzniká excitovaný atom, kdežto část záření projde roztokem a je následně detekováno přístrojem. Množství světla propuštěného, odraženého nebo pohlceného jistou látkou je závislé na vlnové délce záření a na koncentraci zkoumané látky. Jelikož je intenzita prošlého světla vždy menší než intenzita světla na látku dopadajícího, je zavedena veličina transmitance popisující právě toto zeslabení. Může nabývat hodnot 0 (veškeré záření pohlceno) až 1 (veškeré záření prošlo) a někdy se udává v procentech.

Ve spektrofotometrii se setkáváme také s veličinou charakterizovanou záporným dekadickým logaritmem transmitance nazývanou absorbance. Absorbance vyjadřuje schopnost molekul látky pohlcovat elektromagnetické záření určité vlnové délky.

Výsledkem spektrofotometrického měření je tzv. absorpční spektrum, které charakterizuje vlastnosti prostředí. Jedná se o grafickou závislost absorbance nebo energie na vlnové délce. Zobrazené křivky jsou charakteristické svým tvarem a polohou maxima.

Spektrofotometrie je založena na Lambert-Beerově zákoně, který popisuje vztah mezi koncentrací látky v roztoku a její absorbancí, viz rovnice 53, literatura [35, 36].

$$A_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} \cdot l \cdot c \quad (53)$$

Ze zákona vyplývá, že při dané vlnové délce je absorbance přímo úměrná koncentraci látky c a tloušťce absorbující vrstvy l , tedy šířce květy.

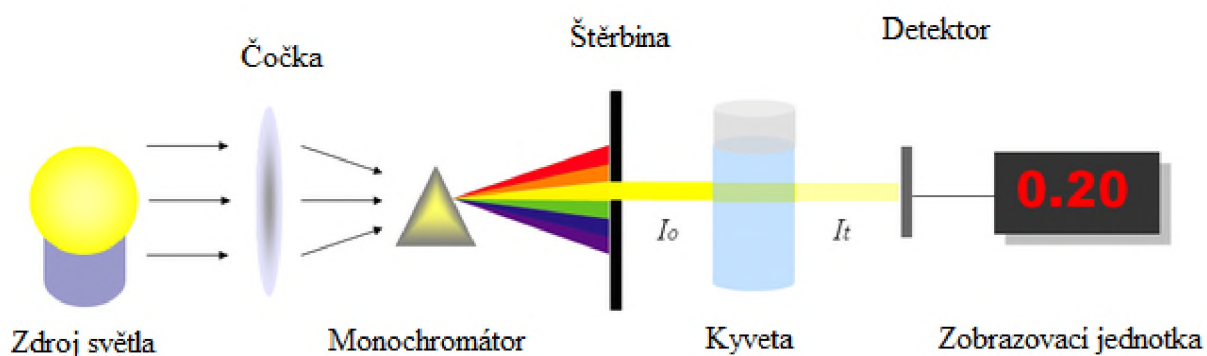
Spektrofotometry jsou přístroje plně ovladatelné pomocí počítače pro spektrofotometrická stanovení, které umožňují vlnovou délku monochromatického světla libovolně nastavit nebo měřit část absorpčního spektra v určitém úseku vlnových délek. Spektrofotometry se využívají k měření absorpčních spekter anebo ke stanovení kvantitativních měření, ale umožňují také měření kinetiky jednoduchých reakcí [35, 36].

Spektrofotometry se dělí podle počtu paprsků na:

- Jednopaprskové
Měří pouze vystupující tok záření, proto se nejprve musí provést referenční měření rozpouštědla a teprve potom se může měřit vzorek.
- Dvoupaprskové
Měří jedním paprskem slepý vzorek, tzv. BLANK (rozpuštědlo bez stanovované látky, které tvoří spektrální pozadí), zatímco druhým paprskem se měří zkoumaný vzorek [36].

Části spektrofotometru (souhrnně na obrázku 9) [36, 37]:

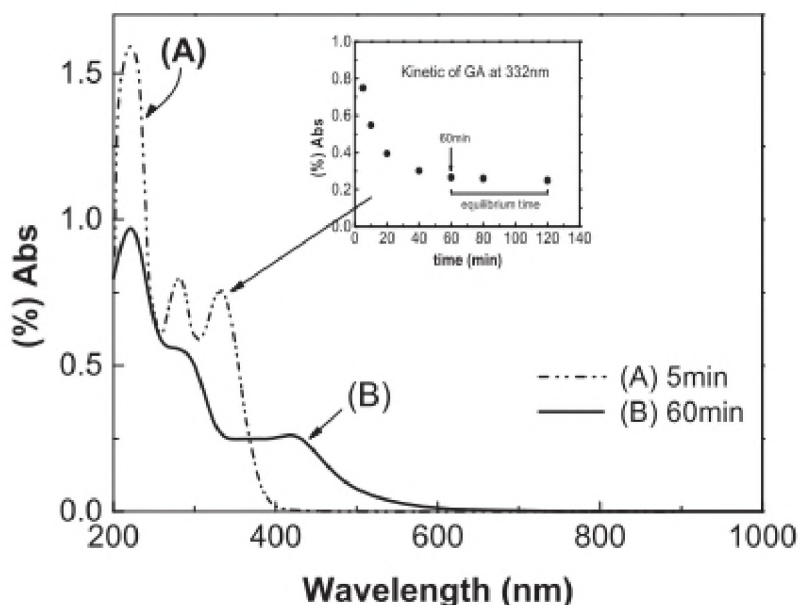
- Zdroj záření – žárovka nebo halogenová lampa
- Čočky a zrcadla
- Monochromátor – zařízení propouštějící pouze světlo určité vlnové délky (vytvoří z polychromatického záření monochromatické, rozkladným prvkem může být hranol).
- Kyvetový prostor
- Detektor – CCD kamera nebo fotodioda
- Výstupní zařízení – software na analýzu dat



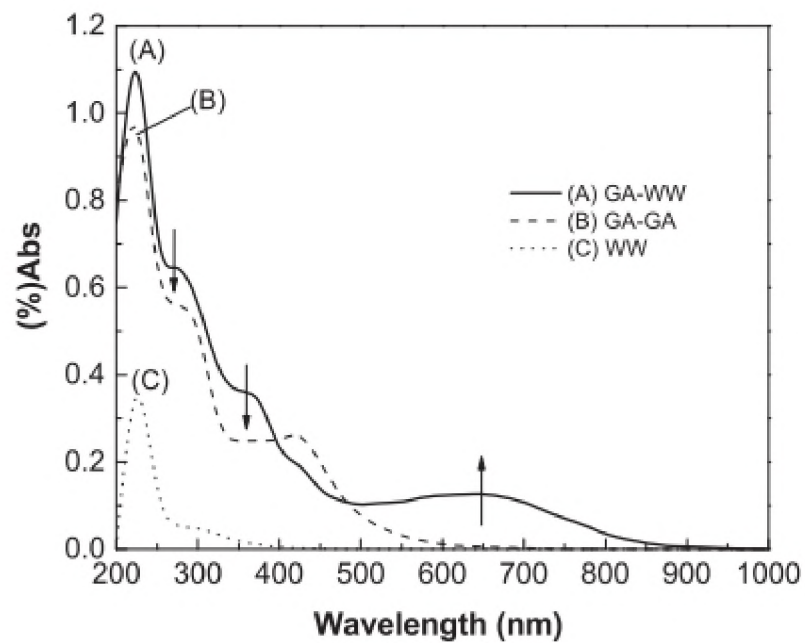
Obrázek 9 - Schéma spektrofotometrie [37]

Ultrafialovo-viditelná spektroskopie (zkratka UV/VIS spektroskopie) je metoda patřící mezi elektromagnetické spektroskopické metody využívající absorpci elektromagnetického záření v oblasti ultrafialového a viditelného spektra. Je to jedna z nejběžnějších variant spektrofotometrie. Používá se zejména při měření útlumu intenzity světla při průchodu roztokem podle Lambertova-Beerova zákona což, při známém koeficientu absorpce měřené látky, umožňuje stanovit její koncentraci v roztoku. Je obzvláště vhodná pro stanovování koncentrací organických i anorganických barviv a makromolekul. Nejrozšířenější metoda UV/VIS spektroskopie je UV/VIS spektrofotometrie, kde se využívá rozsah vlnových délek 200–800 nm [38].

Tato metoda je vhodná pro zkoumání oxidace komunálních odpadních vod (OV). Například studie E. Giannakopoulos a kol. byla zaměřena na oxidaci komunálních odpadních vod mechanismem volných radikálů a tento proces byl měřen pomocí UV/VIS spektroskopie. Oxidační produkty vytvořené z 3,4,5-trihydroxybenzoové kyseliny (známé také pod triviálním názvem kyselina gallová – ve zkratce GA) přítomné v odpadní vodě při $\text{pH} > 7$ byly monitorovány UV/VIS spektroskopii. Na obrázku 10 a 11 jsou znázorněny významné změny ve spektrech pro přítomnost GA v odpadní vodě při $\text{pH} > 7$. Oxidace polyfenolických sloučenin závisí na pH , teplotě a atmosférickém kyslíku, kdy při $\text{pH} > 7$ byla přítomná GA rychle oxidovaná atmosférickým kyslíkem [39].



Obrázek 10 – UV/VIS spektra GA při $\text{pH} > 7$ [40]



Obrázek 11 - UV/VIS spektra (A) GA polymerace v přítomnosti OV, (B) GA polymerace v nepřítomnosti OV a (C) OV [40]

5 KINETICKÉ ROVNICE PRO IZOLOVANÉ REAKCE

5.1 Reakce 0. řádu a určení rychlostní konstanty

Pro reakce 0. řádu je typické, že rychlostní konstanta je nezávislá na koncentraci výchozích látek. Jedná se o reakce typické pro systémy obsahující katalyzátor. Rychlostní konstanta se vypočítá dle rovnice 54, která po integraci přechází na rovnici 55. Čas reakce, kde poklesne koncentrace výchozí látky na polovinu množství, které bylo na počátku, se nazývá poločas reakce ($\tau_{1/2}$). Poločas reakce 0. řádu je dán rovnicí 56 [40].

$$k = -\frac{dc}{dt} \quad (54)$$

$$c_A = -kt \cdot c_0 \quad (55)$$

$$t_{1/2} = \frac{c_0}{2k} \quad (56)$$

5.2 Reakce I. řádu a určení rychlostní konstanty

U reakcí I. řádu jedna molekula výchozí látky reaguje za vzniku produktů (viz rovnice 57). Kinetická rovnice pro reakce I. řádu má tvar dle rovnice 58 [40, 41]



$$-\frac{dc_A}{dt} = k \cdot c_A \quad (58)$$

Řešením rovnice 58 získáme tvar dle rovnice 59 a dále rovnicí 60

$$\ln c_A - \ln c_{A0} = -k \cdot t \quad (59)$$

$$k = -\frac{\ln c_A - \ln c_{A0}}{t} \quad (60)$$

Koncentrace výchozích látek u reakcí I. řádu s časem klesá exponenciálně. Poločas reakce se vypočítá dle rovnice 61 [41].

$$\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} \quad (61)$$

5.3 Reakce II. a pseudoprvního řádu

Reakce II. a pseudoprvního řádu jsou bimolekulární reakce dle rovnic 62 a 63 [41].



Rovnice 64 je kinetická rovnice pro typ reakce $2 A \rightarrow \text{Produkty}$, kdy spolu reagují dvě molekuly stejného druhu [42].

$$-\frac{1}{2} \cdot \frac{dc_A}{dt} = k \cdot c_A^2 \quad (64)$$

Řešením rovnice 64 (integrace v mezích od počátku reakce v čase 0 s do daného času t) získáme tvar rovnice 65 [41].

$$\frac{1}{c_A} - \frac{1}{c_{A0}} = 2 \cdot k \cdot t \quad (65)$$

Poločas reakce typu $2 A \rightarrow \text{Produkty}$ má tvar dle rovnice 66.

$$\tau_{1/2} = \frac{1}{2 \cdot k \cdot c_{A0}} \quad (66)$$

Pro typ reakce $A + B \rightarrow \text{Produkty}$, kde $c_{A0} = c_{B0}$, má kinetická rovnice tvar dle rovnice 67. Řešením této rovnice získáme rovnici 68 [41].

$$-\frac{dc_A}{dt} = k \cdot c_A^2 \quad (67)$$

$$\frac{1}{c_A} - \frac{1}{c_{A0}} = k \cdot t \quad (68)$$

U reakce typu $A + B \rightarrow \text{Produkty}$, kde $c_{A0} \neq c_{B0}$, má kinetická rovnice tvar dle rovnice 69, z této rovnice získáme tvar rovnice 70 a poločas reakce tohoto typu se vypočítá podle rovnice 71 [41].

$$-\frac{dc_A}{dt} = k \cdot c_A \cdot c_B \quad (69)$$

$$\frac{1}{c_{B0} - c_{A0}} \cdot \ln \frac{c_{A0} \cdot c_B}{c_{B0} \cdot c_A} = k \cdot t \quad (70)$$

$$\tau_{1/2} = \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{c_{B0} - c_{A0}} \cdot \ln \left(2 - \frac{c_{A0}}{c_{B0}} \right) \quad (71)$$

Reakce pseudoprvního řádu má tvar $A + B \rightarrow \text{produkty}$, kde $c_{A0} \ll c_{B0}$. Jedná se sice o reakce II. řádu, ale řídí se kinetickou reakcí I. řádu. Jde o případ, kdy jedna výchozí látka je v takovém nadbytku nad druhou výchozí látkou, že i když látka A vlivem reakce zmizí, koncentrace nadbytkové látky B se prakticky nezmění, respektive lze tuto změnu zanedbat. Kinetická rovnice pro reakci pseudoprvního řádu má tvar dle rovnice 72, z této rovnice získáme

tvár rovnice 73. Rychlostní konstanta reakce pseudoprvního řádu k' je závislá na koncentraci látky v nadbytku a je ovlivnitelná změnou složení reakční směsi, viz rovnice 74, literatura [41].

$$-\frac{dc_A}{dt} = k \cdot c_A \cdot c_B = k \cdot c_{B0} \cdot c_A = k' \cdot c_A \quad (72)$$

$$\ln c_A - \ln c_{A0} = -k' \cdot t \quad (73)$$

$$k' = k \cdot c_{B0} \quad (74)$$

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

6 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE

Pro přípravu zásobních roztoků, roztoku modelové organické látky a roztoků pro úpravu pH byly použity chemikálie uvedené v tabulce 2. Všechny použité chemikálie s výjimkou Acid Blue 80 byly v čistotě p. a. 99 % pro analýzu. Toto barvivo bylo získáno jako nabídkový vzorek o čistotě 90 % od firmy Synthesia a.s., kde je vyráběno pod komerčním názvem Rybacidová modř R 150.

Tabulka 2 - Seznam použitých chemikálií

Název	Molekulový vzorec	CAS	M_m (g mol ⁻¹)	Původ
Rybacidová modř R 150 (obchodní název Acid blue 80)	$C_{32}H_{28}N_2O_8S_2Na_2$	4474-24-2 61585	678,68	Synthesia a.s.
síran železnatý	$FeSO_4$	7782-63-0	151,91	Penta
peroxid vodíku	H_2O_2	7722-84-1	34,02	Penta
hydroxid sodný	$NaOH$	1310-73-2	40,00	Penta
kyselina dusičná (65%)	HNO_3	7697-37-2	63,01	Penta

7 PŘÍPRAVA ROZTOKŮ

7.1 Příprava roztoků AB 80

Během kinetických experimentů se pracovalo především s modelovou organickou látkou s obchodním názvem Acid blue 80. Byly použity výchozí koncentrace $5 \cdot 10^{-5}$ až $1 \cdot 10^{-4}$ $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$, viz tabulka 3. Roztoky byly připraveny navážením vypočteného množství barviva, viz tabulka 3 a jeho kvantitativním převedením do odměrných baněk, které byly doplněny po rysku destilovanou vodou.

Tabulka 3 - Hodnoty pro přípravu zásobních roztoků AB 80, navážky přepočteny na 100% barvivo

Koncentrace ($\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$)	Objem (l)	Navážka (g)
$1 \cdot 10^{-4}$	0,25	0,0170
$3 \cdot 10^{-4}$	0,25	0,0509
$5 \cdot 10^{-5}$	5	0,1697
$1 \cdot 10^{-4}$	5	0,3393

7.2 Příprava zásobních roztoků

Jako katalyzátor byl ve všech experimentech použit FeSO_4 o koncentraci $0,5 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$, který byl připraven do odměrné baňky o objemu 25 ml. Navážka na analytické váze činila 1,8987 g FeSO_4 a baňka byla doplněna destilovanou vodou po rysku.

Pro úpravu pH roztoku AB 80 byla použita $0,1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ HNO_3 . Ta byla připravena odměřením 0,1 ml 65 % HNO_3 , přelitím do odměrné baňky o objemu 25 ml a jejím postupným pomalým doplněním po rysku destilovanou vodou.

Na úpravu pH, kde bylo nutné pracovat s vyššími hodnotami pH (u pH profilu AB 80), byl použit $0,1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztok NaOH . Roztok byl připraven navážením 0,1 g NaOH , kvantitativním přemístěním navážky do 25 ml odměrné baňky a jejím následným doplněním po rysku destilovanou vodou.

8 EXPERIMENTÁLNÍ VYBAVENÍ

spektrofotometr DR3900 (Hach Lange s.r.o.), uveden na obrázku 12, jehož specifikace jsou uvedeny v tabulce 4, byl použit pro měření doby dekolorizace AB 80.



Obrázek 12 - Spektrofotometr DR3900

Tabulka 4 - Specifikace spektrofotometru DR3900

Režim měření	Absorbance, transmittance (%) a koncentrace, funkce skenování
Světelný zdroj	Halogenová lampa
Optická dráha světla	Technologie spektrálního referenčního paprsku
Rozsah vlnových délek	320–1100 nm
Přesnost vlnové délky	±1,5 nm (rozsah vlnové délky od 340 do 900 nm)
Reprodukovatelnost vlnové délky	±0,1 nm
Rozlišení vlnové délky	1 nm
Spektrální šířka pásma	5 nm
Fotometrický rozsah měření	±3,0 Abs (vlnová délka od 340 do 900 nm)
Fotometrická přesnost	5 mAbs při 0,0 až 0,5 Abs, 1 % při 0,5 až 2,0 Abs
Fotometrická linearita	<0,5 % až 2 Abs, 1 % při >2 Abs s neutrálním filtrem při 546 nm
Rozptýlené světlo	0,1 % při 340 nm s NaNO ₂
Displej	Barevná dotyková sedmipalcová obrazovka TFT WVGA (800 × 480 pixelů)
Kompatibilní měřicí kyvety	13 mm kulatá kyveta, 1 cm a 5 cm hranatá kyveta, jednopalcová kulatá kyveta, jednopalcová hranatá kyveta

UV/VIS spektrofotometr Libra S22, viz obrázek 13, od firmy Biochrom (Spojené království Velké Británie a Severního Irska) využívá jako zdroj světla pulzní xenonovou lampu, která má delší životnost. Umožňuje měřit absorbanci, transmitanci, koncentraci a umožňuje též posouzení spektrálních křivek k determinaci analytu. Specifikace jsou uvedeny v tabulce 5.



Obrázek 13 - UV/VIS spektrofotometr Libra S22

Tabulka 5 - Specifikace UV/VIS spektrometru Libra S22

Zdroj světla	Xenonová lamp
Šířka vlnového pásma	3 nm nebo lepší
Rozpětí vlnových délek pro měření	190 až 1100 nm
Přesnost nastavení na vlnovou délku	± 1 nm
Možný rozsah absorbancí	± 3 A
Přesnost	$\pm 0,5$ % nebo $\pm 0,003$ A do 3,000A při 546 nm
Monochromátor	1200 čar/mm (aberrace korigována konkávní mřížkou)
Maximální rychlost skenování	$3000 \text{ nm} \cdot \text{min}^{-1}$
Reprodukovatelnost vlnové délky	$\pm 0,5$ nm
Detektor	Dvě křemenné fotodiody
Stabilita	$\pm 0,001 \text{ A} \cdot \text{hod}^{-1}$ (při 340 nm a 0 A)
Displej	Grafický LCD
Úroveň šumu	$\pm 0.001 \text{ A}$ při 0 A, $\pm 0.002 \text{ A}$ při 2 A (oboje při 600 nm)

Kinetické experimenty, jež byly závislé na UV zdroji, byly prováděny na průtokové laboratorní aparatuře s 5 l elektromagneticky míchaným zásobním rezervoárem modelové odpadní vody. Tato aparatura byla vybavena nízkotlakou rtuťovou výbojkou, zapouzdřenou v nerezovém plášti, umožňujícím její chlazení protékající vodou a UV předřadníkem EB-G45105 od firmy AQUA, viz obrázek 14. Podrobnější specifikace předřadníku je uvedena v tabulce 6, nízkotlaké rtuťové výbojky pak v tabulce 7.



Obrázek 14 - UV předřadník EB-G45105

Tabulka 6 - Specifikace pro UV předřadník EB-G45105 firmy AQUA

Výkon UV lampy	42 - 105 W
Proud	1,1 - 1,3 A
Okolní teplota	-15 - 40 °C

Aparatura byla opatřena membránovým čerpadlem s bypassem, umožňujícím regulovat průtok vody přes UV-C laboratorní zdroj v rozmezí 0,25-1,3 l · min⁻¹. Pro kinetické experimenty byl ve všech dále popisovaných případech nastaven konstantní průtok modelové odpadní vody $\dot{V} = 0,33 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$.

Tabulka 7 - Specifikace pro nízkotlaké rtuťové výbojky UV-C zdroj

Průtok	0,25-1,3 l · min ⁻¹
Příkon nízkotlaké rtuťové výbojky	48 W
Energie záření pro vlnové délky 185 nm	6,702 eV
Energie záření pro vlnové délky 254 nm	4,881 eV
Zářivý výkon	13 W
Plošná hustota zářivého toku pro 185 nm	0,256 W · m ⁻²
Plošná hustota zářivého toku pro 254 nm	1,2 W · m ⁻²

pH metr GRYF 208 L - jedná se o analogový ruční měřicí přístroj. Měření pH probíhá pomocí kombinované elektrody. Rozsah měření činí 0 - 14 pH, dosažitelná přesnost je $\pm 0,01$. Přístroj umožňuje teplotní korekci v rozmezí 10 ÷ 70 °C.

automatický titrátor TitraLab 856 - během kinetických experimentů bylo zapotřebí korigovat pH prostředí. K tomu byl využíván dvoukanálový **automatický titrátor TitraLab 856** (Radiometer analytical SAS) s možností přímého pH měření v reakčním prostoru, který je možno naprogramovat jako dvoukanálový pH stat. Díky tomu bylo pH prostředí v průběhu kinetických měření stabilizované a nekolísalo od nastavené výchozí hodnoty o více než $\pm 0,2$ jednotky.

Magnetické míchadlo Heidolph Hei-Standard s ohřevem o výkonu 800 W umožňujícím pracovat s teplotou pracovní ploch v rozmezí 20 – 300 °C a teplotou míchaného média do 250 °C. Míchadlo umožňuje regulaci otáček v rozsahu 100 – 1400 ot · min⁻¹ a umožňuje míchání kapalin s viskozitou podobné vodě do objemu cca 20 l.

9 POSTUPY MĚŘENÍ

9.1 Sestavení závislosti absorbance Acid Blue 80 na molární koncentraci

Nejprve bylo připraveno 250 ml zásobního roztoku Acid Blue 80 o koncentraci $3 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$, viz tabulka 3. Z tohoto zásobního roztoku byla připravena postupným ředěním zásobního roztoku do 25 ml odměrných baněk kalibrační řada roztoků. Před samotným měřením absorbance byly všechny baňky doplněny po rysku destilovanou vodou a promíchány. Výsledné koncentrace kalibračních roztoků a pipetované objemy zásobního roztoku AB 80 jsou uvedeny v tabulce 8.

Následně byla na UV/VIS spektrofotometru Libra S 22 pro kalibrační roztoky proměřena UV-VIS spektra. Po vyhledání absorpčních maxim jsem se rozhodla provést kalibraci závislosti absorbance barviva Acid Blue 80 v závislosti na jeho molární koncentraci při $\lambda_{\text{anal.}} = 627 \text{ nm}$. Při této vlnové délce odpovídající intenzivnějšímu ze dvou absorpčních maxim je totiž kalibrační závislost nejcitlivější, viz obrázek 15. Kalibrační závislost byla získána vnesením hodnot absorbance ředěných roztoků při $\lambda_{\text{anal.}} = 627 \text{ nm}$ proti aktuální koncentraci.

Tabulka 8 - Přehled přípravy kalibračních roztoků AB 80 pro kalibrační závislosti jejich absorbance na koncentraci.

$c (\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}) \cdot 10^{-5}$	V zásobního roztoku (ml)	V H ₂ O (ml)
1,5	1,25	23,75
2,0	1,60	23,40
5,0	4,16	20,84
8,0	7,00	18,00
10,0	8,30	16,70
15,0	12,5	12,50

9. 2 Dekolorizace modelové odpadní vody s Acid Blue pomocí Fentonovy reakce

Fentonova reakce je osvědčeným oxidačním procesem pro dekontaminaci i dekolizaci odpadních vod. V diplomové práci jsem se zaměřila na prozkoumání vlivu pH prostředí na rychlost odbarvování modelové odpadní vody s AB 80 a vliv molárního poměru $\text{H}_2\text{O}_2 : \text{Fe}^{2+}$. Obě série experimentů byly sledovány při teplotě 25 °C, jelikož jak výchozí reakční směs, tak i kyvetový prostor použitého spektrofotometru byly temperovány pomocí termostatu. Požadovaná hodnota pH reakční směsi byla před započítáním kinetického experimentu nastavena přidáním kyseliny dusičné či roztokem hydroxidu sodného. V průběhu experimentu bylo pH modelové odpadní vody udržováno v rozmezí $\pm 0,2$ jednotky pomocí dvoukanálového automatického titrátoru TitraLab 856, naprogramovaného jako dvoukanálový pH stat.

9. 2. 1 Sestavení pH profilu dekolizace Acid Blue 80 Fentonovou reakcí

Pro sestavení pH profilu odbarvení modelové odpadní vody obsahující Acid Blue 80 jsem provedla sérii experimentů, ke kterým jsem využila spektrofotometr DR3900. Kinetická měření probíhala přímo v křemenné 10 mm kyvetě o objemu 3 ml, do které jsem nejprve předložila 2 ml roztoku o $c \approx 1 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ AB 80, jehož pH bylo předem upraveno na hodnotu 3, 5, 7, 9 nebo 11. Poté byl nejprve mikropipetou nadávkován přírůstek 2 μl 30% H_2O_2 a uzavřená kyveta byla opakovaným obrácením dnem vzhůru promíchána. Nakonec jsem do reakční směsi Acid Blue 80 a peroxidu vodíku vstříkla pomocí mikropipety 3,5 μl 0,5 $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ čerstvě připraveného roztoku FeSO_4 , kyvetu opět promíchala a neprodleně spustila kinetické měření. Měření probíhalo při $\lambda_{\text{max}} = 627 \text{ nm}$ a roztok byl temperován v držáku kyvety na teplotu 25 °C. Aplikované dávky chemikálií zajistily, aby množství peroxidu vodíku bylo v 10% molárním nadbytku vůči množství potřebného ke kvantitativní oxidaci Acid Blue 80 na oxid uhličitý a vodu. Množství síranu železnatého, respektive katalyzujícího Fe^{2+} iontu, bylo voleno během všech měření tak, aby na počátku reakce byl výchozí molární poměr peroxidu vodíku a Fe^{2+} 1:10. Pro výpočet dekolizace byla použita rovnice 75.

$$D \% = \left(1 - \left(\frac{c}{c_0} \right) \right) \cdot 100 \quad (75)$$

9. 2. 2 Vliv molárního poměru peroxidu vodíku a železnatého iontu na rychlost dekolorizace Acid Blue 80 Fentonovou reakcí

Další sérii kinetických experimentů jsem provedla za účelem studia závislosti vlivu molárního poměru peroxidu vodíku a železnatého iontu. Pro zkoumání optimálního molárního poměru $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$ v 50 ml $1 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ roztoku barviva AB 80 byl použit UV/VIS spektrometr Libra S22. Za stálého míchání byly sledovány časové závislosti změny absorbance při molárních poměrech $\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4$ 1:0, 1:5, 1:10, 1:25, 1:50, 1:75, 1:100, 1:200 a 1:300. V tabulce 9 jsou uvedeny přídavky H_2O_2 a FeSO_4 k jednotlivým poměrům.

Tabulka 9 - Přídavky H_2O_2 a FeSO_4 k jednotlivým poměrům.

	$\text{FeSO}_4(\mu\text{l})$	$\text{H}_2\text{O}_2 (\mu\text{l})$
1:0	0	4
1:5	45	27
1:10	85	55
1:25	85	100
1:50	85	216
1:75	85	325
1:100	85	432
1:200	85	865
1:300	85	1290

9. 3 Dekolorizace modelové odpadní vody s Acid Blue 80 pomocí UV-C záření

Dekolorizace modelové odpadní vody s počáteční koncentrací Acid Blue 80 $c_0 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ pomocí UV-C probíhala na průtokové aparatuře vybavené bypassem a nízkotlakou rtuťovou výbojkou při konstantě nastaveném průtoku $\dot{V} = 0,33 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Počáteční pH modelové odpadní vody se pohybovalo v rozmezí 3-11. Na přípravu 5 l modelové odpadní vody o $c \approx 5 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ bylo naváženo 0,1697 g (0,25 mmol) barviva AB 80 (přepočítáno na 100% čistotu barviva). Jakmile byl roztok dostatečně promíchán a upraven na požadované pH, byla zahájena samotná dekolorizace roztoku. Po zjištění počáteční absorbance byla zapnuta UV lampa a dále byl pomocí spektrofotometru DR 3900 a uzavřeného okruhu vytvořeného

peristaltickým čerpadlem a průtokovou kyvetou (průtok kyvetou činil $\dot{V} = 0,005 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$) sledován pokles absorbance při $\lambda_{\text{anal.}} = 627 \text{ nm}$ v závislosti na čase až do ustálení.

9. 4 Dekolorizace modelové odpadní vody s Acid Blue 80 systémem UV/H₂O₂

Tato kapitola popisuje kinetická měření odbarvování modelové odpadní vody s přítomností Acid Blue 80 v závislosti na pH prostředí v rozsahu pH 3-11. Uspořádání experimentů byla až na přídavek peroxidu vodíku shodné jako v kapitole 9.3. Dekolorizace roztoku AB 80 s počáteční koncentrací $c_0 \approx 1 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ pomocí systému UV/H₂O₂ probíhala při pH 3, 5, 6, 7, 9, 10 a 11. Na 5 l roztoku o koncentraci $1 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ bylo naváženo 0,3394 g barviva AB 80 (0,50 mmol), přepočítáno na 100% barvivo, viz tabulka 3. Jakmile byl roztok dostatečně promíchán a upraven na pH, při kterém se právě měřilo, byla zahájena samotná dekolozace roztoku. Po zjištění počáteční absorbance bylo přidáno 4,35 ml 30 % roztoku H₂O₂. Po promíchání H₂O₂ v roztoku barviva a zjištění absorbance v jeho přítomnosti byla zapnuta UV lampa a dále byl pomocí spektrofotometru DR 3900 a uzavřeného okruhu vytvořeného peristaltickým čerpadlem a průtokovou kyvetou (průtok kyvetou činil $\dot{V} = 0,005 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$) sledován pokles absorbance při $\lambda_{\text{anal.}} = 627 \text{ nm}$ v závislosti na čase až do ustálení.

9. 5 Dekolorizace modelové odpadní vody s Acid Blue 80 fotoFentonovou reakcí

Dekolorizace modelové odpadní vody o počáteční koncentraci AB 80 $c_0 \approx 1 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ pomocí fotoFentonové reakce probíhala při pH 3, 5 a 7. Na 5 l roztoku o koncentraci $1 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ bylo naváženo 0,3394 g barviva AB 80 (0,50 mmol), přepočítáno na 100% barvivo, viz tabulka 3. Jakmile byl roztok dostatečně promíchán a upraven na požadované pH, byla zahájena samotná dekolozace roztoku. Po zjištění počáteční absorbance bylo nejprve přidáno 4,35 ml 30 % roztoku H₂O₂. Po promíchání peroxidu vodíku s roztokem barviva a zjištění počáteční absorbance v jeho přítomnosti bylo přidáno 8,5 ml $0,5 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ FeSO₄. Následně bylo zapnuto čerpadlo a reakční směs byla čerpána konstantním průtokem $\dot{V} = 0,33 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ do mezipláště předem zapnuté nízkotlaké rtuťové výbojky – zdroje UVC. Pomocí spektrofotometru DR 3900 a uzavřeného okruhu vytvořeného peristaltickým čerpadlem a průtokovou kyvetou (průtok kyvetou činil $\dot{V} = 0,005 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$), byl průběžně sledován pokles absorbance při 627 nm v závislosti na čase do ustálení.

9. 6 Stanovení organického uhlíku během dekolorizace Acid Blue 80 Fentonovou reakcí

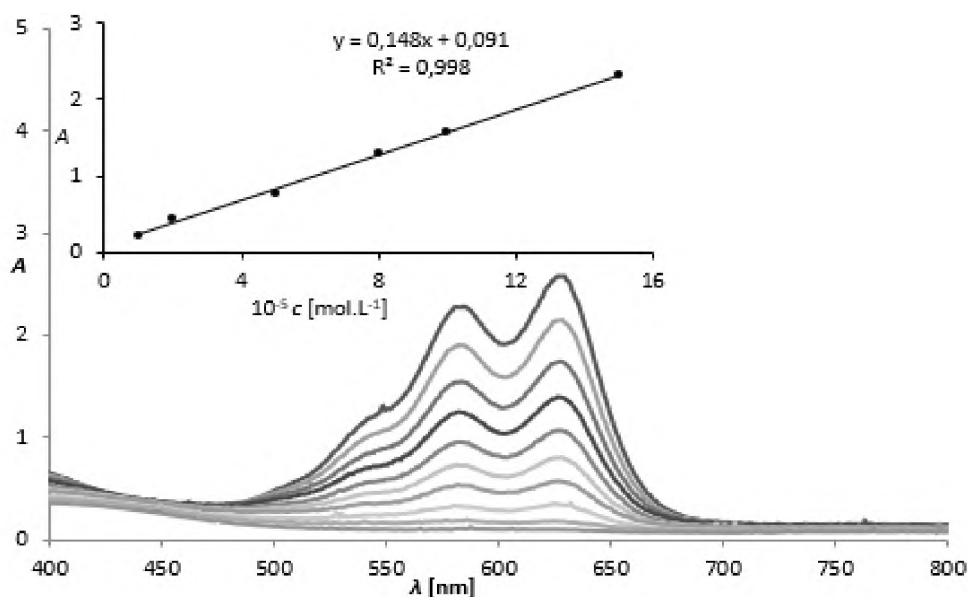
U modelové odpadní vody s AB 80 během oxidačního procesu dochází k postupnému odbarvení, což znamená, že se rozpadá chromofor molekuly barviva. Nic to však nenapovídá, do jaké míry oxidace proběhla. Abych zjistila do jaké míry je odbarvení modelové odpadní vody spojeno s oxidací AB 80, využila jsem servisní stanovení organického uhlíku.

Pro dekolorizaci barviva AB 80 v přítomnosti H_2O_2 a FeSO_4 byly stanoveny hodnoty celkového organického uhlíku TOC, celkového anorganického uhlíku IC, celkového uhlíku TC a celkového dusíku TN. Reakční směs pro odběr vzorků na analýzu byla připravena z 50 ml roztoku barviva AB 80 o koncentraci $2,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ jehož pH bylo upraveno na hodnotu 3 a do kterého byly přidány 5 μl H_2O_2 a 8 μl FeSO_4 . Z tohoto roztoku byly odebírány vzorky v různých časových intervalech. Hodnoty TOC, IC, TC a TN byly stanoveny pomocí analyzátoru Formacs TOC/TN (Skalar Analytical B.V., Nederland) prof. Ing. Jaromírou Chýlkovou, CSc.

10 VÝSLEDKY

10. 1 UV-VIS kalibrační závislost pro Acid Blue 80 v modelové vodě

V průběhu kinetických měření bylo zapotřebí průběžně sledovat klesající koncentraci zvoleného kontaminantu – Acid Blue 80 v závislosti na čase. Pro tento účel jsem zvolila UV-VIS spektroskopii, které mi umožnila sledovat koncentraci AB 80, při použití průtočné kyvety a peristaltického čerpadla v uzavřeném okruhu, v reálném čase experimentu. Abych mohla použít tuto analytickou metodu, bylo nejprve nezbytné proměřit UV-VIS spektrum AB 80, vybrat vhodnou vlnovou délku a ověřit platnost Lambert-Beerova zákona v rozsahu aplikovaných koncentrací AB 80 $0-1,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. S ohledem na dostupnost vhodné metodiky i kalibrace jsem tuto převzala, viz lit. [42], ověřila její platnost a přizpůsobila ji pro průtokovou měřicí kyvetu. Získaná UV-VIS spektra a kalibrační závislost absorbance modelové odpadní vody v závislosti na koncentraci AB 80 popisuje obrázek 15.



Obrázek 15 - UV/VIS spektra a kalibrační závislost absorbance na koncentraci AB 80 získaná ve vodném prostředí při 25 °C, při $\lambda_{\text{anal.}} = 627 \text{ nm}$ [42].

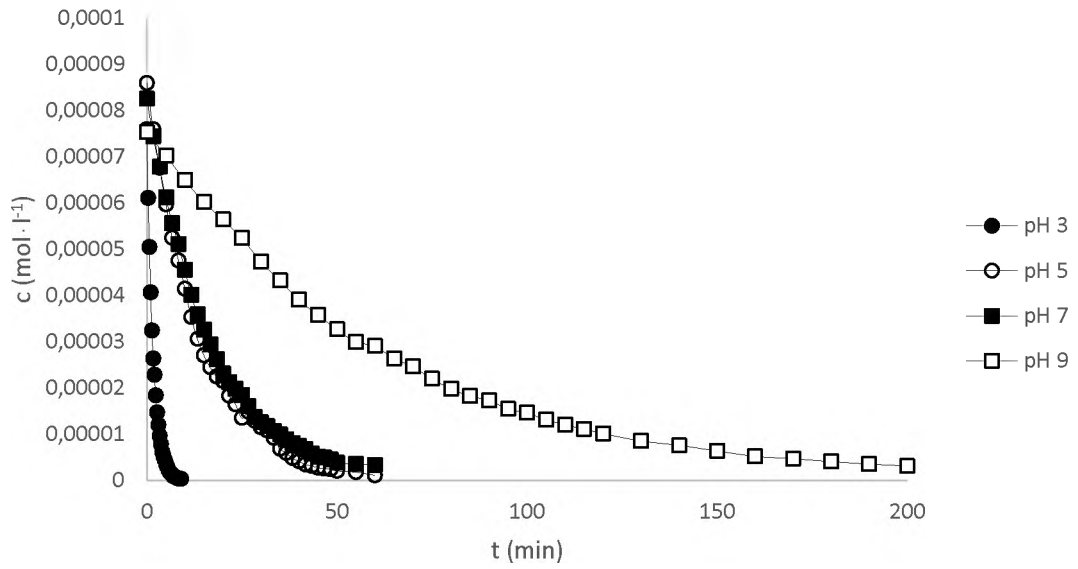
10. 2 Dekolorizace modelové vody s Acid Blue 80 Fentonovou reakcí

Experimentální a vypočtená data absorbance, koncentrace, dekolozace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád, získané během odbourávání AB 80 pomocí Fentonovy reakce pro pH 3, 5, 7 a 9, jsou uvedené v přílohových tabulkách P 1-P 4. V tabulce 10 jsou uvedeny vypočítané průměrné hodnoty rychlostních konstant pro nultý, první a druhý řád pro každé pH. Dle hodnot směrodatných odchylek u vypočtených konstant je zřejmé, že dekolozizační proces nejlépe popisují rychlostní konstanty pro výpočet prvního řádu. Závislost koncentrace barviva na čase pro vybraná pH je uvedena na grafu 1. Graf 2 nám ukazuje závislost dekolozace na čase pro vybraná pH a graf 3 znázorňuje pH profil reakce. Vyplývá z něj, že v kyselém oblasti pH = 3-5 reakce probíhala nejrychleji. Při měření pH 11 docházelo již ke srážení železnatých iontů, tím pádem nemohla Fentonova reakce probíhat a příslušná rychlostní konstanta není ani v pH profilu, viz graf 3 ani v tabulce 10 pro tuto hodnotu pH uvedena. Reakce probíhaly při 10 % nadbytku 30 % H₂O₂ vůči AB 80.

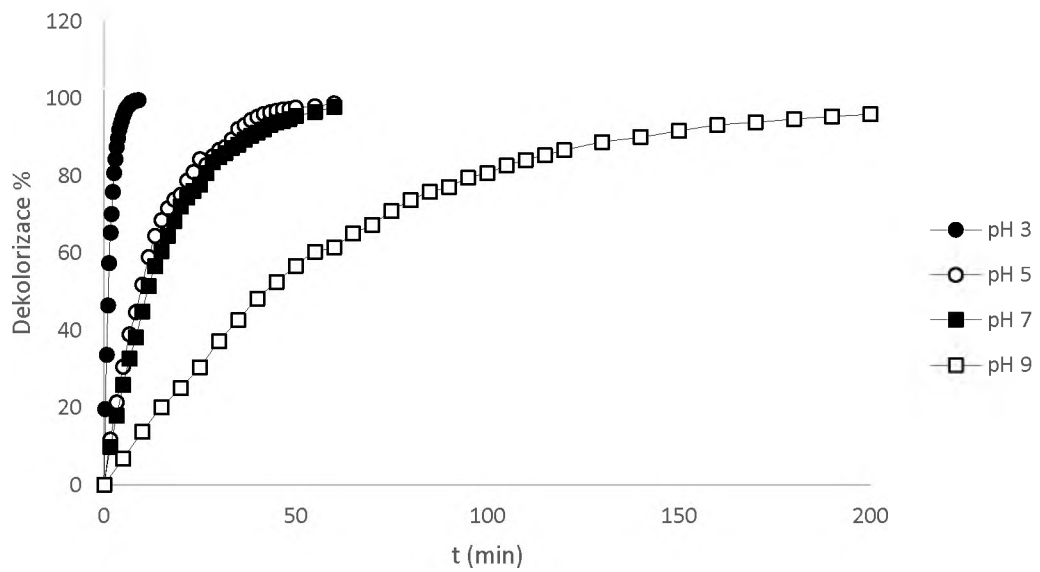
Tabulka 10 - Přehled vypočtených průměrných hodnot rychlostních konstant nultého, prvního a druhého řádu a jejich směrodatné odchylky získaná z kinetických experimentů dekolozace modelové odpadní vody s počáteční koncentrací AB80 $c_0 \approx 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ při $t = 25^\circ\text{C}$.

pH	$k_0 \text{ (mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	$k_1 \text{ (s}^{-1}\text{)}$	$k_2 \text{ (mol}^{-1} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$
3	$1,25 \cdot 10^{-1} \pm 1,22 \cdot 10^{-1}$	$1,04 \cdot 10^{-2} \pm 2,02 \cdot 10^{-4}$	$1,55 \cdot 10^3 \pm 1,65 \cdot 10^3$
5	$6,99 \cdot 10^{-3} \pm 4,58 \cdot 10^{-3}$	$1,21 \cdot 10^{-3} \pm 5,75 \cdot 10^{-5}$	$6,66 \cdot 10^6 \pm 5,81 \cdot 10$
7	$4,87 \cdot 10^{-3} \pm 2,37 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-3} \pm 2,21 \cdot 10^{-5}$	$4,43 \cdot 10 \pm 3,06 \cdot 10$
9	$1,05 \cdot 10^{-3} \pm 5,86 \cdot 10^{-4}$	$2,68 \cdot 10^{-4} \pm 1,30 \cdot 10^{-5}$	$7,58 \pm 6,27 \cdot 10^{-6}$

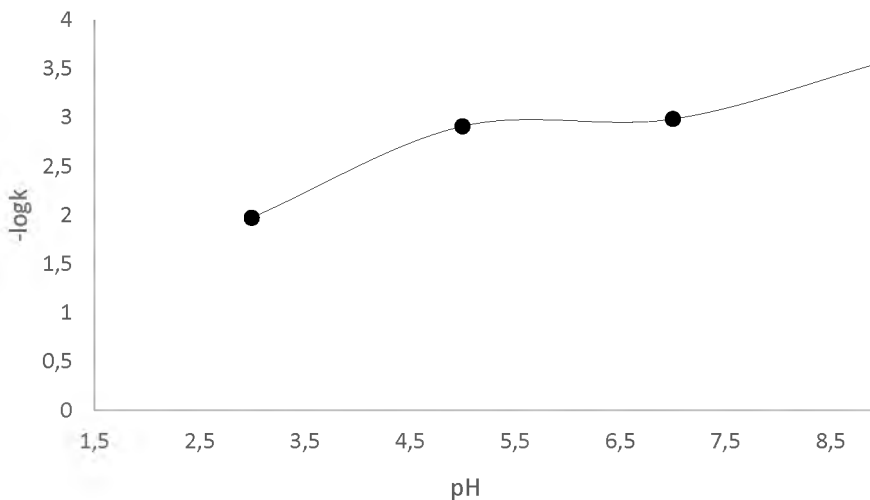
Graf 1 - Závislost koncentrace barviva AB 80 na čase při dekolORIZACI pomocí Fentonovy reakce při vybraných hodnotách pH a při $t = 25^{\circ}\text{C}$.



Graf 2 - Závislost dekolORIZACE AB 80 na čase pomocí Fentonovy reakce pro předem upravené hodnoty pH reakčního prostředí při $t = 25^{\circ}\text{C}$.



Graf 3 – pH profil sestavený z rychlostních konstant pro první řád pro oblast pH 3-9 pro dekolorizaci modelové vody s Acid Blue 80 pomocí Fentonovy reakce.



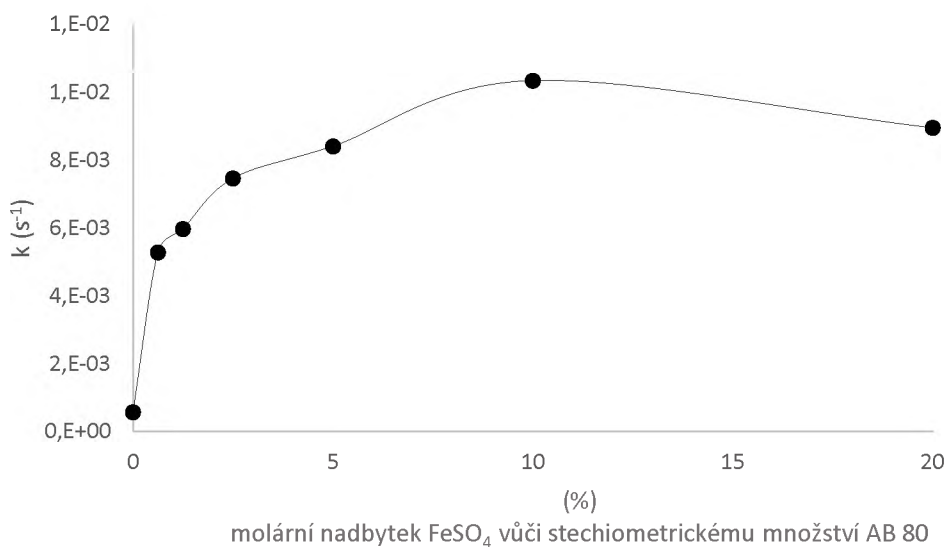
10. 3 Závislost dekolorizace AB 80 na poměru železnatého ionu a peroxidu vodíku

Pro tento experiment jsou experimentální a vypočtená data, včetně absorbance, koncentrací, dekolorizace a rychlostních konstant s poločasy pro nultý, první a druhý řád získané během odbourávání barviva AB 80 při různých poměrech $\text{FeSO}_4:\text{H}_2\text{O}_2$ uvedeny v přílohách P1 a P 5-P 12. Dekolorizace byla měřena při poměrech 1:0, 1:5, 1:10, 1:25, 1:50, 1:75, 1:100, 1:200, 1:300 a při pH 3. V tabulce 11 jsou uvedeny vypočítané průměrné hodnoty rychlostních konstant pro nultý, první a druhý řád. Z vypočtených konstant je zřejmé, že realitu procesu nejlépe popisují rychlostní konstanty vypočtené dle rovnic pro reakce prvního řádu. Na grafu 4 je znázorněna závislost rychlostních konstant pro první řád na vybraných poměrech $\text{FeSO}_4:\text{H}_2\text{O}_2$, který uvádí při jakém procentním nadbytku 30 % H_2O_2 vůči FeSO_4 probíhá reakce nejrychleji. Na grafu 5 je uvedena závislost koncentrace barviva na čase při různých poměrech $\text{FeSO}_4:\text{H}_2\text{O}_2$ a graf 6 prezentuje závislost dekolorizace na čase.

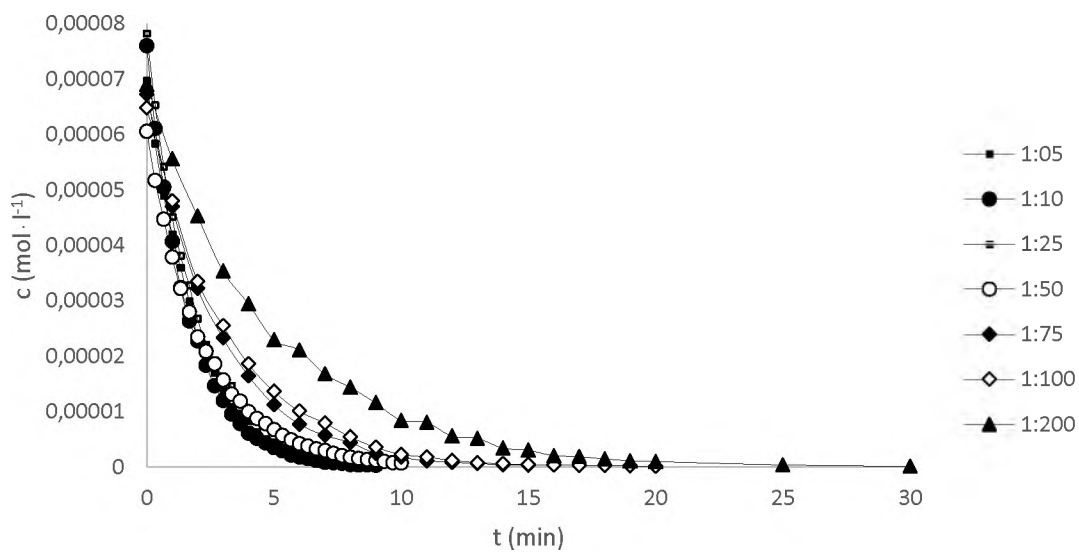
Tabulka 11 - Přehled vypočtených průměrných hodnot rychlostních konstant nultého, prvního a druhého řádu a jejich směrodatné odchylky získané z kinetických experimentů dekolorizace modelové odpadní vody s počáteční koncentrací AB80 $c_0 \approx 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ při $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Poměr	$k_0 \text{ (mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	$k_1 \text{ (s}^{-1}\text{)}$	$k_2 \text{ (mol}^{-1} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$
1:0	$3,01 \cdot 10^{-4} \pm 2,011 \cdot 10^{-4}$	$5,65 \cdot 10^{-5} \pm 1,148 \cdot 10^{-6}$	$2,24 \pm 2,109 \cdot 10$
1:5	$7,43 \cdot 10^{-2} \pm 5,898 \cdot 10^{-2}$	$8,95 \cdot 10^{-3} \pm 2,565 \cdot 10^{-4}$	$9,62 \cdot 10^2 \pm 8,994 \cdot 10^2$
1:10	$1,25 \cdot 10^{-1} \pm 1,215 \cdot 10^{-1}$	$1,04 \cdot 10^{-2} \pm 2,050 \cdot 10^{-4}$	$1,55 \cdot 10^3 \pm 1,649 \cdot 10^3$
1:25	$6,69 \cdot 10^{-2} \pm 5,034 \cdot 10^{-2}$	$8,41 \cdot 10^{-4} \pm 3,989 \cdot 10^{-4}$	$7,71 \cdot 10^2 \pm 6,874 \cdot 10^2$
1:50	$4,89 \cdot 10^{-2} \pm 3,284 \cdot 10^{-2}$	$7,46 \cdot 10^{-3} \pm 2,142 \cdot 10^{-4}$	$6,97 \cdot 10^2 \pm 5,913 \cdot 10^2$
1:75	$6,89 \cdot 10^{-2} \pm 6,715 \cdot 10^{-2}$	$5,97 \cdot 10^{-3} \pm 1,335 \cdot 10^{-4}$	$9,69 \cdot 10^2 \pm 1,026 \cdot 10^3$
1:100	$9,96 \cdot 10^{-2} \pm 1,068 \cdot 10^{-1}$	$5,28 \cdot 10^{-3} \pm 2,026 \cdot 10^{-4}$	$1,49 \cdot 10^3 \pm 1,673 \cdot 10^3$
1:200	$3,79 \cdot 10^{-2} \pm 6,002 \cdot 10^{-2}$	$3,48 \cdot 10^{-3} \pm 1,344 \cdot 10^{-4}$	$5,09 \cdot 10^2 \pm 8,828 \cdot 10^2$
1:300	$9,43 \cdot 10^{-2} \pm 1,406 \cdot 10^{-1}$	$1,52 \cdot 10^{-3} \pm 6,795 \cdot 10^{-5}$	$1,37 \cdot 10^3 \pm 2,055 \cdot 10^3$

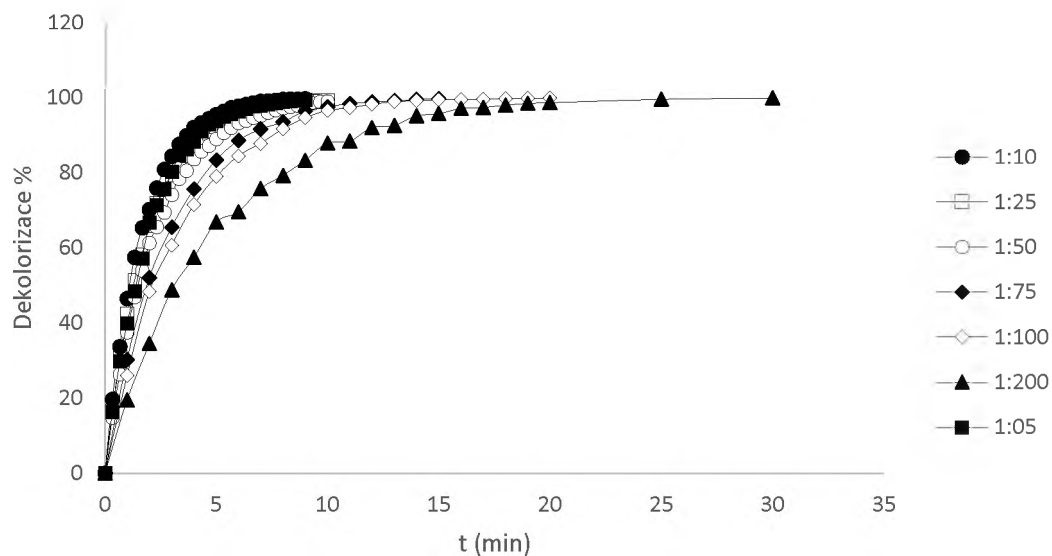
Graf 4 – Závislost reakční rychlosti dekolorizace modelové vody s Acid Blue 80 pomocí Fentonovy reakce, sestavená z rychlostních konstant pro první řád, na molárním nadbytku FeSO_4 . Závislost byla měřena při konstantním $\text{pH} = 3$ a $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.



Graf 5 - Závislost koncentrace barviva na čase při dekolorizaci AB 80 při různých poměrech $\text{FeSO}_4:\text{H}_2\text{O}_2$. Závislost byla měřena při $\text{pH} = 3$ a $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$.



Graf 6 - Závislost dekolorizace AB 80 na čase, při vybraných molárních poměrech $\text{FeSO}_4:\text{H}_2\text{O}_2$. Měřeno při konstantním $\text{pH} = 3$ a $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$.



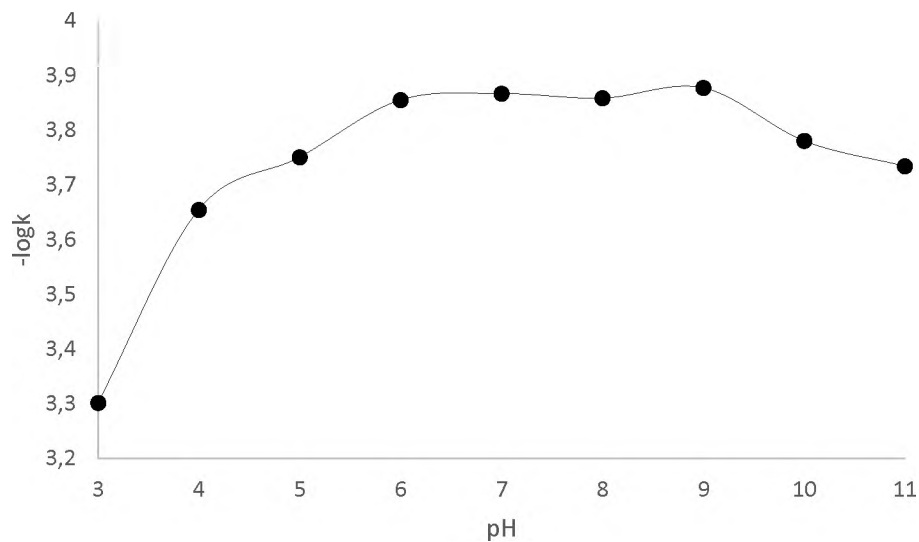
10. 4 Dekolorizace AB 80 pomocí UV-C záření

Experimentální data získaná z kinetických měření rychlosti odbarvování modelové odpadní vody s AB 80 pomocí UV-C záření jsou uvedeny v přílohových tabulkách P 13-P 21. Odbourávání AB 80 probíhalo při pH prostředí 3 až 11. Souhrnný přehled vypočtených průměrných rychlostních konstant pro nultý, první a druhý řád v závislosti na pH prostředí obsahuje tabulka 12. I v tomto případě jsou nejnižší směrodatné odchylky u rychlostních konstant prvního řádu, které nejlépe zachycují průběh reakce. Na grafu 7 je vyobrazen pH profil reakce odbarvování Acid Blue 80 pomocí UV-C záření. Graf 8 pak zachycuje graficky časovou změnu koncentrace barviva pro vybrané hodnoty pH. Tato závislost má praktické využití při hledání optimálních podmínek odbourávání barviva pomocí UV-C. Časová závislost dekolozace barviva pro vybraná pH modelových vod je uvedena na grafu 9.

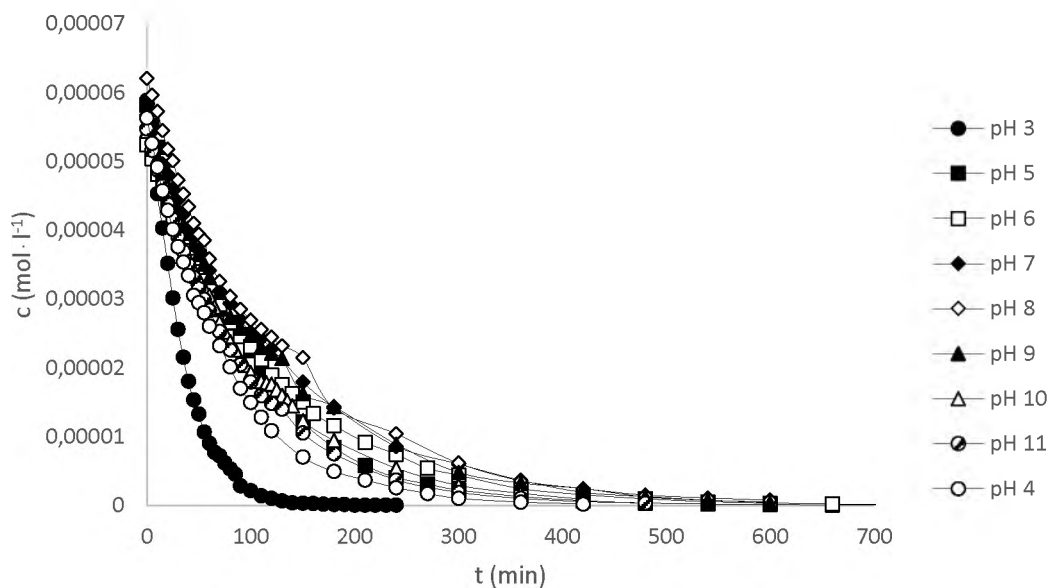
Tabulka 12 - Přehled vypočtených průměrných hodnot rychlostních konstant nultého, prvního a druhého řádu a jejich směrodatné odchylky získaná z kinetických experimentů dekolozace modelové odpadní vody s počáteční koncentrací AB80 $c_0 \approx 5 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ při $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

pH	$k_0 \text{ (mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	$k_1 \text{ (s}^{-1}\text{)}$	$k_2 \text{ (mol}^{-1} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$
3	$1,29 \cdot 10^{-8} \pm 6,442 \cdot 10^{-9}$	$4,99 \cdot 10^{-4} \pm 4,266 \cdot 10^{-5}$	$272 \pm 464,3$
4	$7,52 \cdot 10^{-9} \pm 3,049 \cdot 10^{-9}$	$2,22 \cdot 10^{-4} \pm 5,985 \cdot 10^{-6}$	$21 \pm 39,97$
5	$5,89 \cdot 10^{-9} \pm 3,169 \cdot 10^{-9}$	$1,78 \cdot 10^{-4} \pm 1,229 \cdot 10^{-5}$	$71,9 \pm 209,8$
6	$4,47 \cdot 10^{-9} \pm 1,833 \cdot 10^{-9}$	$1,40 \cdot 10^{-4} \pm 3,342 \cdot 10^{-6}$	$18,8 \pm 35,56$
7	$5,21 \cdot 10^{-9} \pm 2,011 \cdot 10^{-9}$	$1,36 \cdot 10^{-4} \pm 6,062 \cdot 10^{-6}$	$8,80 \pm 13$
8	$5,81 \cdot 10^{-9} \pm 2,247 \cdot 10^{-9}$	$1,39 \cdot 10^{-4} \pm 1,089 \cdot 10^{-5}$	$6,97 \pm 8,483$
9	$4,86 \cdot 10^{-9} \pm 1,779 \cdot 10^{-9}$	$1,33 \cdot 10^{-4} \pm 5,402 \cdot 10^{-6}$	$90,1 \pm 14,17$
10	$6,02 \cdot 10^{-9} \pm 1,719 \cdot 10^{-9}$	$1,66 \cdot 10^{-4} \pm 6,116 \cdot 10^{-6}$	$7,17 \pm 7,810$
11	$6,48 \cdot 10^{-9} \pm 2,410 \cdot 10^{-9}$	$1,85 \cdot 10^{-4} \pm 3,842 \cdot 10^{-6}$	$14,5 \pm 23,23$

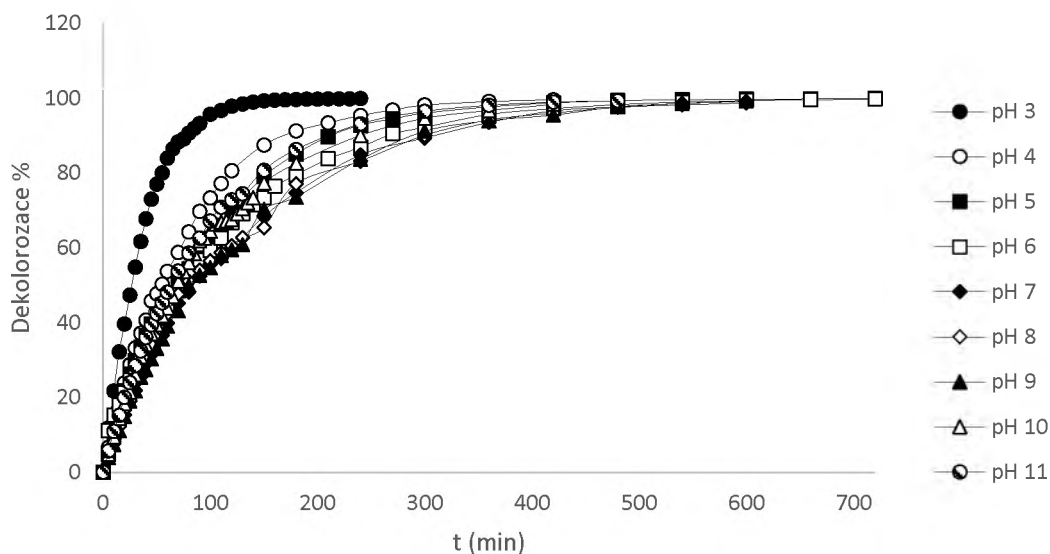
Graf 7 - pH profil dekolorizace modelové vody s Acid Blue 80 pomocí UV-C, sestavený z rychlostních konstant prvního řádu pro oblast pH 3-11. Měřeno při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Graf 8 - Závislost koncentrace barviva AB 80 na čase při jeho odbourávání pomocí UV-C při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Graf 9 - Závislost dekolorizace AB 80 na čase při odbourávání barviva pomocí UV-C při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a různých hodnotách pH prostředí.



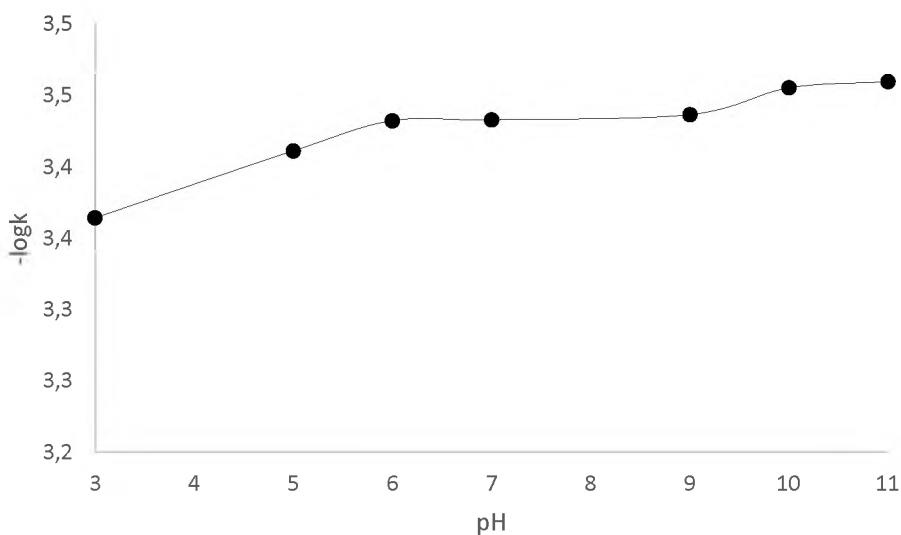
10. 5 Dekolorizace AB 80 pomocí systému UV-C/H₂O₂

Odbourávání barviva AB 80 pomocí systému UV-C/H₂O₂ probíhalo při hodnotách pH 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11. Tabulka 13 uvádí souhrnný přehled vypočtených průměrných hodnot rychlostních konstant nultého, prvního a druhého řádu pro každou hodnotu pH. Z výsledků je patrné, že směrodatné odchylky jsou nejnižší u rychlostních konstant vypočtených dle kinetických rovnic pro reakce prvního řádu. Na grafu 10 je zobrazen pH profil odbarvování modelové odpadní vody pomocí reakčního systému UV-C/H₂O₂. Pro jeho sestavení jsem použila rychlostní konstanty prvního řádu. Graf 11 obsahuje závislost změny koncentrace barviva na čase při různých hodnotách pH a na grafu 12 je uvedena závislost dekolorizace AB 80 na čase. Všechna experimentální a vypočtená data včetně absorbancí, koncentrací, dekolorizace, rychlostních konstant s příslušnými poločasů jsou uvedeny v přílohových tabulkách P 22-P 28.

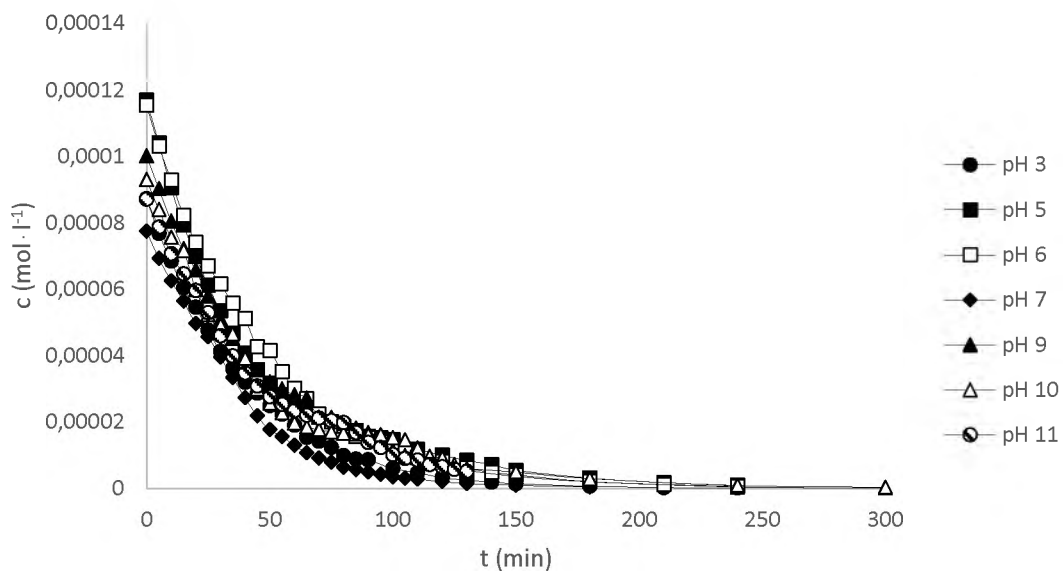
Tabulka 13 - Přehled vypočtených průměrných hodnot rychlostních konstant nultého, prvního a druhého řádu a jejich směrodatné odchylky získané z kinetických experimentů dekolorizace modelové odpadní vody pomocí reakčního systému UV-C/H₂O₂ s počáteční koncentrací AB80 $c_0 \approx 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ při $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

pH	$k_0 \text{ (mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	$k_1 \text{ (s}^{-1}\text{)}$	$k_2 \text{ (mol}^{-1} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$
3	$1,82 \cdot 10^{-8} \pm 7,635 \cdot 10^{-9}$	$4,32 \cdot 10^{-4} \pm 1,964 \cdot 10^{-5}$	$52,6 \pm 107,3$
5	$2,39 \cdot 10^{-8} \pm 1,050 \cdot 10^{-8}$	$3,88 \cdot 10^{-4} \pm 4,002 \cdot 10^{-5}$	$13,2 \pm 14,74$
6	$2,21 \cdot 10^{-8} \pm 8,628 \cdot 10^{-9}$	$3,70 \cdot 10^{-4} \pm 1,307 \cdot 10^{-5}$	$16,7 \pm 24,75$
7	$3,62 \cdot 10^{-8} \pm 3,033 \cdot 10^{-8}$	$4,63 \cdot 10^{-4} \pm 6,086 \cdot 10^{-5}$	$35,6 \pm 41,46$
9	$1,88 \cdot 10^{-8} \pm 7,474 \cdot 10^{-9}$	$3,61 \cdot 10^{-4} \pm 1,411 \cdot 10^{-5}$	$29,2 \pm 74,09$
10	$1,74 \cdot 10^{-8} \pm 6,774 \cdot 10^{-9}$	$3,51 \cdot 10^{-4} \pm 4,134 \cdot 10^{-5}$	$17,8 \pm 30,23$
11	$1,60 \cdot 10^{-8} \pm 6,106 \cdot 10^{-9}$	$3,47 \cdot 10^{-4} \pm 2,271 \cdot 10^{-5}$	$18,8 \pm 29,62$

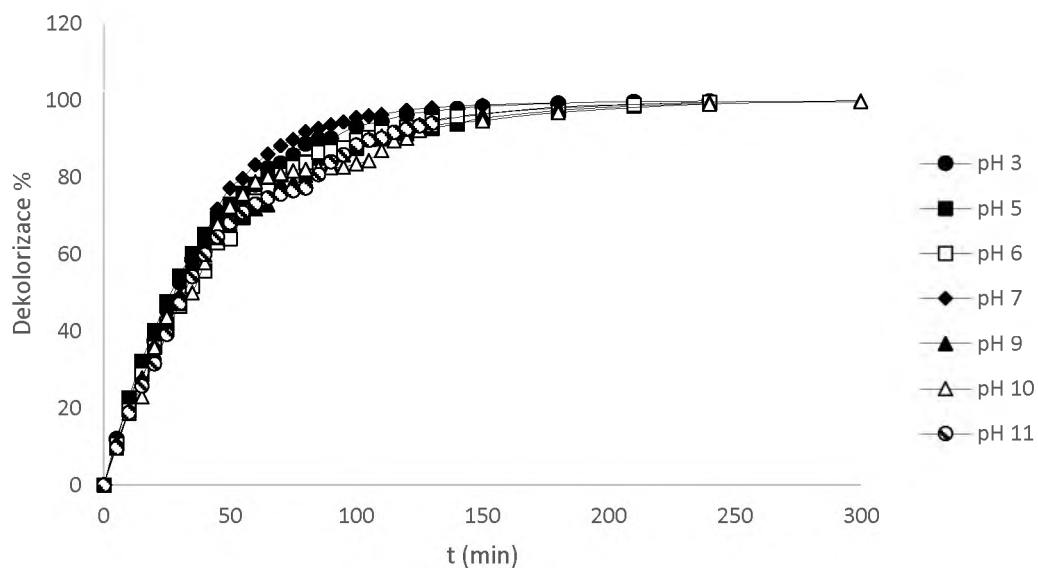
Graf 10 - pH profil dekolorizace modelové vody s Acid Blue 80 pomocí systému UV-C/H₂O₂, sestavený z rychlostních konstant prvního řádu pro oblast pH 3- 11. Měřeno při $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.



Graf 11 - Závislost koncentrace barviva AB 80 na čase při jeho odbourávání pomocí systému UV-C/H₂O₂ při teplotě t= 25 °C.



Graf 12 - Závislost dekolorizace AB 80 na čase pomocí systému UV-C/H₂O₂ při t 25 °C.



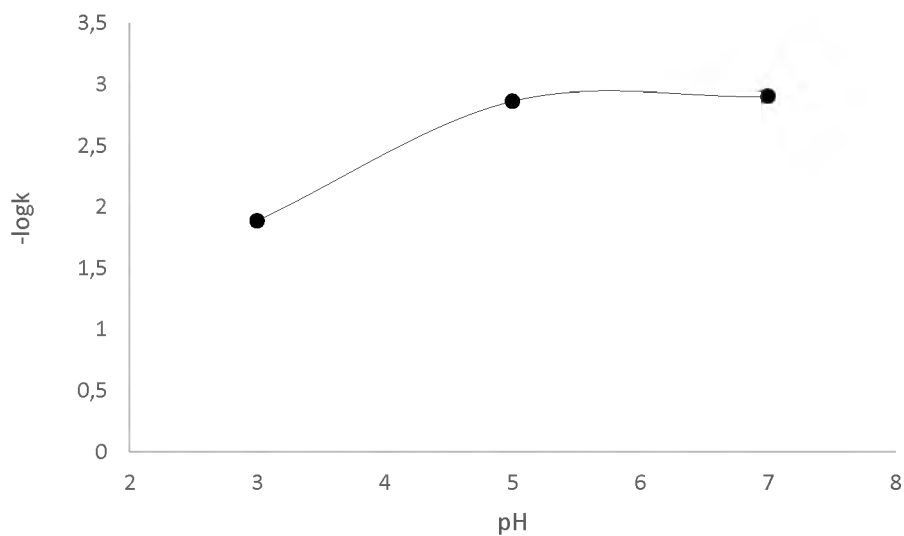
10. 6 Dekolorizace AB 80 pomocí fotoFentonové reakce

Odbourávání barviva AB 80 pomocí fotoFentonovy reakce probíhalo při pH 3, 5 a 7. Při vyšších hodnotách pH jsem pozorovala srážení Fe^{2+} iontu. Na základě toho pozorování kinetické měření při těchto hodnotách pH neprobíhalo. V tabulce 14 jsou uvedené vypočtené průměrné hodnoty rychlostních konstant nultého, prvního a druhého řádu pro každé měřené pH. Při porovnání těchto konstant je patrné, že reálný průběh experimentu opět nejlépe popisují rychlostní konstanty vypočtené z rovnic pro reakci prvního řádu. Na grafu 13 je pH profil sestavený pro odbarvování modelové odpadní vody s AB 80, pro jehož sestavení jsem použila konstanty prvního řádu. Graf 14 obsahuje časovou změnu závislosti koncentrace barviva při vybraných hodnotách pH a na grafu 15 je uvedena závislost dekolozace AB 80 na čase. Všechna experimentální a vypočtená data včetně absorbancí, koncentrací, dekolozace, rychlostních konstant s příslušnými poločasy jsou uvedeny v přílohových tabulkách P 29-P 31.

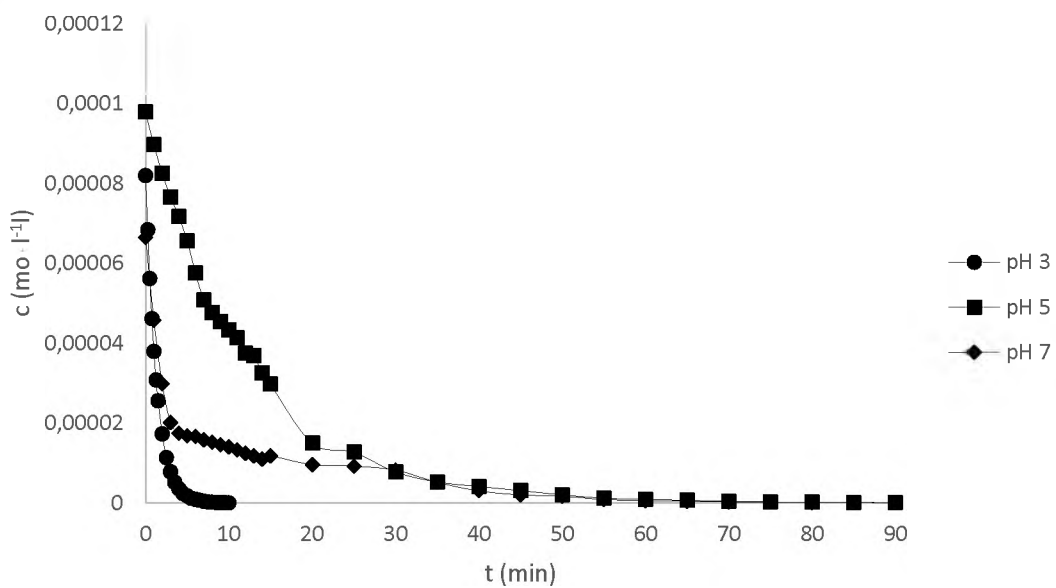
Tabulka 14 - Přehled vypočtených průměrných hodnot rychlostních konstant nultého, prvního a druhého řádu a jejich směrodatné odchylky získané z kinetických experimentů dekolozace modelové odpadní vody pomocí fotoFentonovy reakce s počáteční koncentrací $\text{AB80 } c_0 \approx 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ při $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

pH	$k_0 \text{ (mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	$k_1 \text{ (s}^{-1}\text{)}$	$k_2 \text{ (mol}^{-1} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$
3	$3,95 \cdot 10^{-7} \pm 2,479 \cdot 10^{-7}$	$1,28 \cdot 10^{-2} \pm 2,939 \cdot 10^{-4}$	$6,31 \cdot 10^3 \pm 9,790 \cdot 10^3$
5	$6,75 \cdot 10^{-8} \pm 3,735 \cdot 10^{-8}$	$1,36 \cdot 10^{-3} \pm 8,060 \cdot 10^{-5}$	$2,83 \cdot 10^2 \pm 5,670 \cdot 10^2$
7	$3,34 \cdot 10^{-8} \pm 1,453 \cdot 10^{-8}$	$1,24 \cdot 10^{-3} \pm 7,504 \cdot 10^{-5}$	$3,50 \cdot 10^2 \pm 6,084 \cdot 10^2$

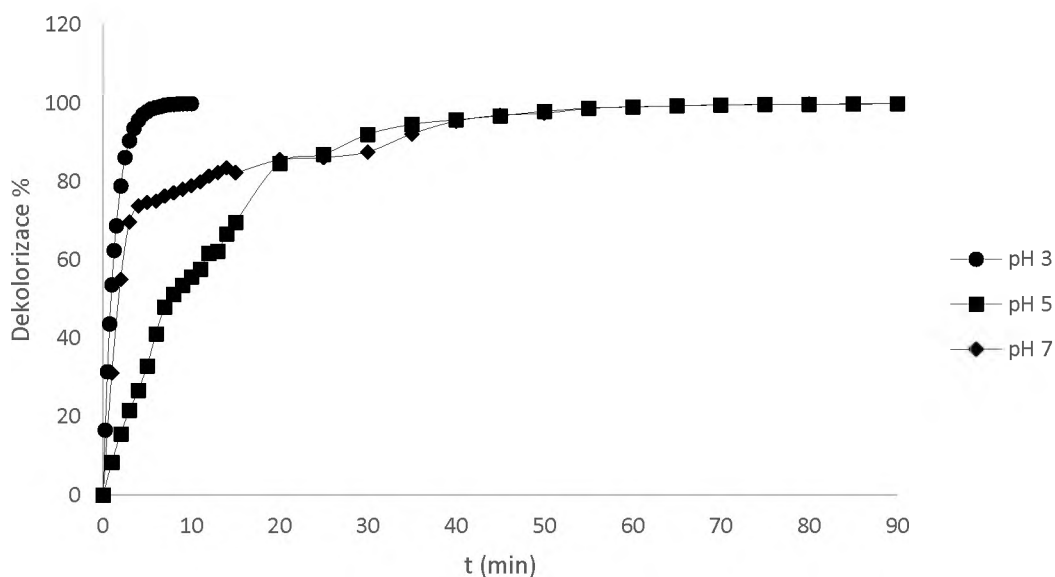
Graf 13 - pH profil dekolorizace modelové vody s Acid Blue 80 pomocí fotoFentonové reakce, sestavený z rychlostních konstant prvního řádu pro oblast pH 3-7. Měřeno při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Graf 14 - Závislost koncentrace barviva AB 80 na čase při odbarvování fotoFentonovou reakcí při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Graf 15 - Závislost dekolorizace AB 80 pomocí fotoFentonové na čase měřená při $t = 25^{\circ}\text{C}$.



10. 7 Výsledky stanovení organického uhlíku během dekolorizace

Fentonovou reakcí

Při stanovení organického uhlíku v průběhu odbarvování modelové odpadní vody obsahující AB 80 byla výchozí koncentrace barviva $c_0 = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ cca 2-3 vyšší než u ostatních kinetických experimentů. Bylo to z důvodu vyšší počáteční hodnoty TOC a tedy i vyšší citlivosti rozlišení úbytku organického uhlíku v průběhu Fentonovy oxidace. Kromě organického uhlíku byl stanoven i uhlík anorganický a celkový, i když vzhledem k faktu, že reakce probíhala při $\text{pH} \approx 3$, nebyla vysoká koncentrace uhličitánů a hydrogenuhličitánů očekávána, což získané výsledky měření potvrzují. Kromě toho byl stanoven i celkový dusík TN, který v průběhu oxidace kontinuálně klesá. Stejně tak v průběhu času s postupující oxidací barviva klesá i koncentrace organického uhlíku, viz tabulka 15. Výchozí hodnota TOC $87,46 \text{ mg l}^{-1}$ odpovídá víceméně vstupní koncentraci AB 80. Po cca 2 h oxidace, kdy již došlo k totálnímu odbarvení modelové odpadní vody, klesla hodnota TOC o 8,9% na $79,71 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Po 12 h oxidace klesla hodnota TOC na $49,31 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, což představuje mineralizaci barviva ze 43,6 %.

Tabulka 15- Hodnoty TC, IC, TOC a TN naměřené ze vzorků modelové odpadní vody s počáteční koncentrací barviva AB 80 $c_0=2,275 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ během dekolorizace pomocí Fentonové reakce při pH= 3 odebíraných v určitých časových intervalech při $t = 25^\circ\text{C}$.

t (hod)	TC ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	IC ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	TOC ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	TN ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)
0	0,00	2,04	87,46	11,89
2	80,61	0,90	79,71	13,27
4	74,55	0,99	73,56	15,55
6	72,97	1,48	71,49	14,27
8	70,9	1,02	69,88	14,09
8,5	68,33	1,47	66,86	13,64
10	68,2	2,08	66,12	13,30
10,5	67,43	1,76	65,67	11,75
12	50,78	1,47	49,31	10,87

11 DISKUZE

V rámci zadání diplomové práce jsem posuzovala vliv pokročilých oxidačních procesů využívajících peroxid vodíku na rychlost dekolorizace aminoantrachinonového barviva Acid Blue 80. Jako analytickou metodu pro levné a rychlé průběžné stanovení aktuální koncentrace tohoto modelového kontaminantu jsem zvolila UV-VIS spektroskopii, kdy jsem si pro svou potřebu upravila již opublikovanou metodiku, lit. [42]. Pro oxidační dekolorizaci Acid Blue 80 jsem použila standardní Fentonovu reakci, fotochemickou oxidaci pomocí nízkotlaké rtuťové výbojky jako parciálního UV-C zdroje (zdroj emituje UV záření s maximy 185 nm a 254 nm), fotochemickou oxidaci UV-C zdrojem s přidavkem peroxidu vodíku v 10% nadbytku vůči molárnímu množství peroxidu potřebného k totální mineralizaci AB 80. Posledním testovaným procesem byla fotoFentonova reakce.

Pokud byl pro oxidační dekolorizaci použit peroxid vodíku, bylo to vždy pouze v 10% nadbytku vůči stechiometrickému množství potřebného pro totální mineralizaci. Všechny kinetické experimenty byly provedeny při teplotě 25 °C a pH bylo vždy upraveno na počáteční hodnotu a v průběhu reakce pak udržováno potenciostatem tak, aby jeho hodnota v průběhu reakce kolísala v rozmezí $\pm 0,25$ od výchozí hodnoty. Díky tomuto opatření je možné rychlostní konstanty oxidační dekolorizace Acid Blue 80 vůči sobě porovnávat a činit závěry o rychlosti a efektivitě odbourávání výše uvedenými procesy.

Společným rysem všech kinetických experimentů bylo, že bez ohledu na zvolený reakční systém, pro popis jejich reakční rychlost nejlépe vyhovovaly kinetické rovnice prvního, respektive pseudoprvního řádu. Je to patrné jak z tabulek 10-14 ve výsledkové části, tak i při detailnějším porovnání naměřených kinetických dat v přílohových tabulkách P 1-P 31. Ačkoliv byly pro každé měření vypočteny rovněž rychlostní konstanty nultého a druhého řádu, z hodnot směrodatných odchylek je patrné, že kinetické rovnice nultého řádu, kdy rychlost reakce je nezávislá na koncentraci činidla, jsou pro popis reálných kinetických dat nevhodné. Podobně nevyhovující jsou také rychlostní konstanty druhého řádu, kdy by reakční rychlost závisela na kvadrátu koncentrací reakčních činidel. Z těchto důvodů jsou vůči sobě v navazující části diskuze a závěru diplomové práce porovnávány pouze rychlostní konstanty prvního řádu a jim odpovídající reakční poločasy.

Při Fentonově reakci byl nejprve vynesemím zlogaritmovaných rychlostních konstant k_1 proti pH sestaven pH profil pro oxidační odbourávání AB 80, viz graf 3. Pro kinetické experimenty, které byly použity pro sestavení tohoto profilu, platí, že probíhaly v 10% molárním nadbytku peroxidu vodíku, nezbytnému k mineralizaci AB 80. Současně byl molární

poměr peroxidu vodíku vůči katalyzujícím Fe^{2+} ionům vždy v poměru 10:1. Z pH profilu je jasně patrné, že reakční rychlost vyjádřená hodnotou $k_1 = 1,04 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($t_{1/2} = 67 \text{ s}$) je nejvyšší při $\text{pH} = 3$, zatímco v oblasti $\text{pH} 5-7$ reakční rychlost víceméně stagnuje (reakční poločas se pohybuje od 9,5 do 11,3 minut a k_{obs} nabývá hodnot od $1,21 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ do $1,02 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$) a v alkalické oblasti při $\text{pH} = 9$ dále klesá, $k_1 = 2,68 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ($t_{1/2} = 2\,596 \text{ s}$). V ještě alkaličtější oblasti při $\text{pH} = 11$ pak již nedocházelo k dekolorizaci modelové odpadní vody ani po 24 h, z čehož lze vyvodit, že nedochází k rozpadu chromoforu Acid Blue 80.

Pro pochopení výše pozorovaného poklesu reakční rychlosti dekolorizace s rostoucím pH prostředí je třeba si uvědomit, že výsledná rychlost dekolorizace, vyjádřená rychlostní konstantou k_{obs} , je složena z dílčích procesů oxidace AB 80 samotným peroxidem vodíku a současně i oxidací hydroxylovým radikálem. k_{obs} lze tedy vyjádřit jako příspěvek obou procesů ve smyslu rovnice (76):

$$k_{\text{obs}} = k_{\text{H}_2\text{O}_2} + k_{\text{OH}} \quad (76)$$

V kyselé oblasti je oxidace peroxidem vodíku ve smyslu rovnice (77) účinnější, jak vyplývá i z odpovídajícího elektrochemického potenciálu $E^\circ = +1,776 \text{ V}$. S rostoucí hodnotou pH klesá společně s E° i oxidační účinek peroxidu, rovnice (78) a v alkalické oblasti nabývá deprotonovaný peroxid vodíku $E^\circ = +0,878 \text{ V}$ respektive $-0,245 \text{ V}$ a stává se nakonec redukčním činidlem, viz rovnice (79) až (80).



To vysvětluje klesající podíl samotného peroxidu vodíku na dekolorizaci AB 80 s rostoucím pH prostředí.

Pokud jde o oxidaci hydroxylovým radikálem OH^\cdot , je jeho vznik ve smyslu Fentonovy reakce (viz rovnice 7 - 9) podmíněn současnou přítomností peroxidu vodíku a rozpustné formy katalyzujícího Fe^{2+} iontu. Koncentrace rozpuštěného a nerozpuštěného železa ve vodě závisí především na pH , oxidačně-redukčním potenciálu a přítomnosti komplexotvorných látek. Pro Fentonovu reakci je rozhodující přítomnost železa v oxidačním stupni II. Část Fe^{2+} je v modelové odpadní vodě ovšem oxidována na Fe^{3+} rozpuštěným kyslíkem. Koncentrace zbývajících množství Fe^{II} je limitována rozpustností $\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$ a $\text{FeCO}_3(\text{s})$.

Rozpustnost $\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$ postupně klesá s rostoucím pH. Přesto ještě při $\text{pH} \approx 7$ je $\log c\text{Fe}(\text{OH})_2 = -1$, při $\text{pH} \approx 9$ je hodnota $\log c\text{Fe}(\text{OH})_2 = -5$ a minima dosahuje při $\text{pH} \approx 10,5-11,0$, kdy $\log c\text{Fe}(\text{OH})_2 = -7$. Pokud jde o přítomnost oxidu uhličitého ve vodě a s tím související vznik $\text{FeCO}_3(\text{s})$, je jeho vliv v kyselé i neutrální oblasti na reakční rychlost Fentonovy reakce zanedbatelný, neboť jeho koncentrace je minimálně o 2 řády nižší a navíc se v podobě sideritu vylučuje z vodných roztoků velice pomalu a až po značném přesycení. V alkalické oblasti při $\text{pH} \geq 10,5$ se již $\text{FeCO}_3(\text{s})$ nevyskytuje a Fe^{II} je přítomno v podobě $\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$. Vezmeme-li v úvahu počáteční koncentraci AB 80 cca $1 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$, lze konstatovat, že pokles reakční rychlosti Fentonovy reakce v neutrálním a alkalickém prostředí je způsoben nízkou koncentrací Fe^{2+} iontu.

Výše uvedený závěr potvrdila série experimentů, kdy jsem dekolorizaci modelové vody s obsahem AB 80 prováděla Fentonovou reakcí při $\text{pH} \approx 3$ s konstantním 10% stochiometrickým přebytkem peroxidu vodíku při různém molárním poměru $\text{Fe}^{2+} : \text{H}_2\text{O}_2$. Tento poměr nabýval hodnot 0, 1:300, 1:200, 1:100, 1:75, 1:50, 1:25, 1:10 a 1:5. Pokud nebyl během oxidace přidán Fe^{2+} ion, odpovídala rychlost dekolorizace AB 80, vyjádřená rovnicí (76), pouze příspěvku $k_{\text{H}_2\text{O}_2}$, kdy tato rovnice nabývá tvaru $k_{\text{obs}} = k_{\text{H}_2\text{O}_2} = 5,65 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, viz tabulka 11. Poločas odbarvení modelového roztoku Acid Blue 80 v tomto případě činí cca 3,4 h.

Ze závislosti na grafu 4 ($\log k_{\text{obs}}$ na koncentraci Fe^{2+} ionu) plyne, že hodnota pozorované rychlostní konstanty k_{obs} s rostoucí koncentrací Fe^{2+} roste. Maximální rychlosti dekolorizace je dosaženo při molárním poměru $\text{Fe}^{2+} : \text{H}_2\text{O}_2 = 1:10$ a poté dochází k poklesu při poměru 1:5. To odpovídá závěrům, které učinil Pozzo a kol. [43]. Během odstraňování fosforečných sloučenin zjistili optimální koncentraci Fe^{2+} 50-150 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Další zvyšování obsahu Fe^{2+} vedlo k nežádoucím vedlejší reakci, při které došlo ke spotřebování OH^- a zpomalení oxidačních procesů, rovnice 81, literatura [44]:



V nadbytku by ale neměl být ani peroxid vodíku, neboť dochází opět ke spotřebování OH^- a jejich rekombinaci dle rovnic (82-84), lit. [45]



HO_2^- z rovnice 82 je také oxidant, ale má mnohem menší oxidační potenciál než OH^- (1,65 V). Teoretický ideální poměr R obou reagensů lze vypočítat z míry pohlcování vznikajících OH^- , viz rovnice 85:

$$k_{\text{železnatý iont}} [\text{Fe}^{2+}] [\text{OH}^-] = k_{\text{peroxid vodíku}} [\text{H}_2\text{O}_2] [\text{OH}^-] \quad (85)$$

Optimální koncentraci získáme z rovnice 86:

$$R = [\text{Fe}^{2+}] / [\text{H}_2\text{O}_2] = k_{\text{H}_2\text{O}_2} / k_{\text{Fe}^{2+}} = 3,3 \cdot 109 / (3,0 \cdot 108) = 11 \quad (86)$$

Pozzo a kol. [59] však také dokázali, že teoretický poměr se může značně lišit od experimentálního. Při odstraňování fosforanu např. zjistili, že jeho oxidace dosahuje maxima při poměru 2. Tato skutečnost byla vysvětlována spotřebou Fe^{2+} iontů vedlejšími reakcemi.

Samostatný experiment odbarvování AB 80 o výchozí koncentraci $2,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ v modelové odpadní vodě jsem provedla za účelem zjištění stupně oxidace, respektive mineralizace AB 80 během Fentonovy oxidace. Zjištěná výchozí hodnota TOC $87,46 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ odpovídá víceméně vstupní koncentraci AB 80. Po cca 2 h oxidace, kdy již došlo k totálnímu odbarvení modelové odpadní vody, poklesla hodnota TOC o 8,9% na $79,71 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Po 12 h oxidace klesla hodnota TOC na $49,31 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, což představuje mineralizaci barviva ze 43,6 %. V této fázi oxidace, bylo sledování úbytku organického uhlíku přerušeno. Úbytek hodnot TOC byl doprovázen poklesem hodnot TN, což naznačuje, že dochází k oxidaci aminoskupin barviva AB 80 až na elementární dusík, který uniká z reakční směsi.

Pro fotochemickou dekolorizaci Acid Blue 80 byla použita nízkotlaká rtuťová výbojka o příkonu 48 W. Jde o kombinovaný VUV-UVC zdroj, emitující záření o 185 nm, (čemuž odpovídá energie $6,7 \text{ eV}$ neboli $647 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) a vlnové délce 253,7nm představuje záření o energii $4,9 \text{ eV}$ respektive $471 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Energie použitého zdroje je tedy dostačující, aby zajistila jak přímou a efektivní tvorbu OH^- z peroxidu vodíku (disociační energie vazby -O-O- je cca $142 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ neboli $1,47 \text{ eV}$), tak i štěpení vazeb přicházejících u Acid Blue 80 v úvahu např. vazby C-C v alkanech ($347\text{-}377 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ neboli $3,6\text{-}3,9 \text{ eV}$), vazby C-S ($272 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $2,82 \text{ eV}$), -N-H ($386 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $4,0 \text{ eV}$) a to včetně vazeb kondenzovaných aromatických kruhů C-Carom= ($540 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ čili $5,6 \text{ eV}$), vazby -S=O v solubilizujících sulfonových skupinách ($522 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ čili $5,41 \text{ eV}$). Výjimku představují pouze násobné vazby C=O ($799 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $8,28 \text{ eV}$), C=C ($837 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $8,67 \text{ eV}$), C≡N ($875 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $9,07 \text{ eV}$) a velice pevné vazbě oxidu uhelnatého C≡O ($1077 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $11,16 \text{ eV}$). Ionizující záření navíc

současně ničí i viry a bakterie, což umožňuje vynechání či snížení koncentrace biocidních látek při recyklaci technologických proudů procesních vod.

Při dekolorizaci Acid Blue 80 pomocí UV-C záření se pro popis závislosti poklesu koncentrace v závislosti na čase nejlépe osvědčily rychlostní konstanty prvního řádu. Byla pozorována závislost reakční rychlosti na pH prostředí, viz pH profil v Grafu 7. Nejvyšší rychlost dekolorizace byla pozorována při pH 3, kdy poločas reakce $t_{1/2}$ činí cca 23 minut – $k_{\text{obs}} = 4,99 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. V oblasti pH 6-9 je reakční rychlost víceméně konstantní a reakční poločas se pohybuje okolo 83 minut, kdy $k_{\text{obs}} \approx 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. V alkalické oblasti byla rychlost dekolorizace opět vyšší, ovšem nijak významně, jelikož např. při pH = 11 byl odpovídající reakční poločas cca 63 minut a odpovídající $k_{\text{obs}} = 1,85 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. Bez ohledu na pH však ve všech případech, pokud byla doba reakce dostatečná, docházelo ke kvantitativnímu odbarvení modelové vody. To vypovídá o tom, že samotné UV-C záření štěpí chromofor barviva.

Následující série experimentů byla zaměřena na fotochemickou oxidaci Acid Blue 80 systémem UVC/H₂O₂. Fotoindukovaný rozklad peroxidu vodíku generující hydroxylové radikály jsem popsala v kapitole 2.3, viz rovnice 33-38. Hydroxylové radikály představují velice silné, neselektivní oxidační činidlo, které je schopné oxidovat většinu organických polutantů. Tyto reakce probíhají většinou řetězově za tvorby méně toxických intermediátů, které jsou nadále mineralizovány až na netoxické produkty CO₂ a H₂O. Výhodou této dekontaminace je, že je neselektivní a je možno ji použít na širokou škálu organických polutantů. Rovněž jsem oproti samotné dekolorizaci UVC zářením očekávala vyšší reakční rychlost odbarvování modelové vody s AB 80.

Tento předpoklad se během kinetického měření naplnil, neboť v oblasti pH 3-11, pro kterou jsem kinetická měření prováděla, se poločas reakce $t_{1/2}$ měnil od 26,8 min při pH =3 do cca 33 v alkalické oblasti s pH \approx 10-11. Tomu odpovídají pozorované rychlostní konstanty pohybující se v rozmezí $k_{\text{obs}} = 4,32 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ až $3,51 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. V této souvislosti lze tvrdit, že zřejmě vlivem přítomnosti uhličitanů a hydrogenuhličitanů, lapající hydroxylový radikál, došlo k menšímu zpomalení dekolorizace. Obecně lze konstatovat, že přídavek peroxidu vodíku ve spojení s UV-C zdrojem učinil rychlost dekolorizace modelové vody s Acid Blue 80 méně závislou na pH prostředí a v neutrálním a alkalickém pH se 2-3 x urychlil proti odbarvování za účasti pouze UV-C záření. Rychlost odbarvování při pH = 3 zůstala u obou systémů prakticky totožná (reakční poločas 23 minut pro UV-C a necelých 27 minut pro UV-C/H₂O₂).

Poslední série experimentů odbarvování modelové vody s AB 80 jsem provedla pomocí Foto-Fentonovy reakce, kdy k předcházejícímu reakčnímu systému UV-C/H₂O₂ byly přidány katalyzující ionty Fe²⁺. Tento přídavek zapříčinil značný nárůst rychlosti odbarvování zejména při pH = 3, kdy $t_{1/2} = 54,3$ s a $k_{obs} = 1,28 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$. To překonává i dekolorizaci Fentonovou reakcí, kdy bylo za stejných podmínek ovšem bez zapnutého UV-C zdroje dosaženo reakčního poločasu $t_{1/2} = 67$ s a tomu odpovídající $k_{obs} = 1,04 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$. V oblasti pH 5-7 došlo sice ke zpomalení dekolorizace, zřejmě v důsledku vysrážení či oxidace katalyzujícího Fe²⁺ iontu, ale i přesto se reakční poločasy dekolorizace pohybovaly mezi 8,5-9,3 minuty a k_{obs} nabývala hodnot od $1,36 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ do $1,24 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$. Při vyšším pH již nebyla kinetická měření možná z důvodu nehomogenity měřené reakční směsi, avšak lze předpokládat další pokles reakční rychlosti v důsledku úbytku Fe²⁺ iontu, záchytu hydroxylového radikálu uhličitany a hydrogenuhličitany a také nižším elektrochemickým potenciálem peroxidu vodíku v alkalickém prostředí a jeho rozkladem vlivem UV-C záření a ionů železa.

12 ZÁVĚR

Dle zadání jsem se při vypracování diplomové práce zaměřila na vypracování literární rešerše postihující problematiku pokročilých oxidačních procesů využívajících peroxid vodíku a faktory ovlivňující účinnost, efektivitu a případnou intenzifikaci těchto procesů, umožňující jejich průmyslové využití při čištění procesních a odpadních vod. Jako modelový kontaminant jsem si vybrala aminoantrachinonové barvivo Acid Blue 80 a pomocí UV-VIS spektrofotometrie jsem studovala jeho kinetický rozpad ve vodném prostředí. K dekolORIZACI jsem využila Fentonovu reakci, UV-C záření, jehož zdrojem byla nízkotlaká rtuťová výbojka, oxidační proces UVC/H₂O₂ a Foto-Fentonovu reakci vycházející z procesu UVC/H₂O₂/Fe²⁺.

Pro porovnání efektivit jednotlivých procesů jsem provedla řady kinetických experimentů, kde jsem posuzovala vliv pH prostředí a v případě Fentonovy reakce pak i vliv koncentrace katalyzujících Fe²⁺ iontu na rychlost dekolORIZACE modelové odpadní vody. Ve všech případech se pro popis reakční rychlosti nejlépe osvědčily rychlostní konstanty prvního řádu, ač jsem zkoušela aplikovat také kinetické rovnice nultého a druhého řádu. Jelikož je poločas reakce prvního řádu v závislosti na reakční době konstantní, lze z dále odvozeného snadné určit potřebný celkový reakční čas. U všech testovaných oxidačních procesů bylo možné dosáhnout kvantitativního odbarvení modelového roztoku. Aby bylo dosaženo cca 98,4% účinnosti je zapotřebí alespoň 6 reakčních poločasů. V případě požadavku na 99,6% účinnost se reakční doba prodlužuje již na 8 poločasů.

Modelový roztok Acid Blue 80 je ve vodném prostředí v přítomnosti rozpuštěného kyslíku a slunečního záření stabilní. Pokud snížíme pH na 3 a přidáme 10% molární přebytek peroxidu vodíku vůči molárnímu množství potřebnému k totální oxidaci barviva, je poločas odbarvení 3,4 h. Pokud jsem přidala k tomuto systému UV-C záření, poločas rozpadu se zkrátil na 23 minut. Pokud byl navíc přidán katalyzující ion Fe²⁺ v optimálním molárním poměru H₂O₂/Fe²⁺ = 10:1, vznikl reakční systém UV-C/H₂O₂/Fe²⁺ a poločas reakce klesl na 54 s. Obdobného výsledku s poločasem 67 s bylo dosaženo i Fentonovou reakcí. Z tohoto pohledu se zdá volba optimálního procesu zřejmá. V praxi ovšem je třeba zohlednit i provozní náklady na elektrickou energii pro UV-C zdroj, náklady spojené s dávkováním peroxidu vodíku a jeho manipulací. Rovněž je třeba zohlednit i skutečnost, že přítomnost ionů železa je pro určité reakční systémy nežádoucí a rovněž ne vždy je možné pracovat v kyselé či alespoň neutrální oblasti pH. Pak i třeba prostá dekolORIZACE odpadní vody s Acid Blue 80 při pH okolo 7 procesem UV-C poskytujícím reakční poločas 1,92 h či procesem UV-C/H₂O₂ s poločasem 25,5 minuty může být pro technologickou praxi čištění odpadních vod přínosná.

V této souvislosti je však třeba zdůraznit, že sledováním poklesu organického uhlíku v průběhu Fentonovy oxidace AB 80 jsem zjistila, že po 2 h, kdy již došlo ke kvantitativnímu odbarvení modelové odpadní vody a tedy i rozpadu chromoforu AB 80, bylo toto barvivo mineralizované pouze z cca z 9% a po 12h z cca 44%.

13 ZDROJE

1. BENEŠ, Jiří. Pokročilé oxidační procesy - AOP. In: *Sborník konference Pitná voda: Pitná voda*. České Budějovice: W&ET Team, 2008, s. 135-140. ISBN 978-80-254-2034-8.
2. SILVA, Laís G. M., Francisca C. MOREIRA, Antônio A. U. SOUZA, Selene M. A. G. U. SOUZA, Vítor J. P. VILAR a Rui A.R. BOAVENTURA. Chemical and electrochemical advanced oxidation processes as a polishing step for textile wastewater treatment: A study regarding the discharge into the environment and the reuse in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*. 2018, **198**, 430-442. DOI: doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.001.
3. DENG, Y., ZHAO, R. Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment. *Curr Pollution Rep* **1**, 167–176 (2015). <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0015-z>.
4. LITTER, M. I., CANDAL, R., MEICHTRY, M. *Advanced Oxidation Technologies Sustainable Solutions for Environmental Treatments*. 1. London: CRC Press, 2014. ISBN 9781138072886.
5. JOSEPH, J., PIGNATELLO, E. OLIVEROS & A. MACKAY. Advanced Oxidation Processes for Organic Contaminant Destruction Based on the Fenton Reaction and Related Chemistry, *Critical Reviews in Environmental. Science and Technology*. 2006, **36**, 1–84.
6. Yoo, H. C., CHO, S. H., and KO, S. O. Modification of coagulation and Fenton oxidation processes for cost-effective leachate treatment. *J. Environ. Sci. Health A*. 2001, **36**, 39–48.
7. TAKEMURA, Y., SENO-O, K., MUKAI, T., SUZUKI, M. Decomposing organic chlorine compounds in dry cleaning wastewater by Fenton's reaction on reticulated iron. *Water Sci. Technol*. 1994, **30**, 129–137.
8. ŘEDINA, D. Sestavení a testování zařízení pro výrobu ozónované vody a její aplikace na čištění křemíkových desek. Brno, 2017. Diplomová práce. VUT.
9. FENDRYCH, A. Samovolný rozpad ozonu rozpuštěného ve vodě. Brno, 2008. Diplomová práce. VUT.
10. STEFAN, MICHAELA I. *Advanced Oxidation Processes for Water Treatment*. London: IWA Publishing, 2018. 9781780407197.
11. ESFAHANI, M., P., GATES, I., DE VISSCHER, A. Kinetic Modeling of Ozone Decomposition and Peroxone Oxidation of Toluene in an Aqueous Phase Using ab Initio

- Calculations, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2019, **58** (51), 22934-22941. DOI: 10.1021/acs.iecr.9b04960.
12. LITTER, M. I. Introduction to Photochemical Advanced Oxidation Processes for Water Treatment. *Hdb Env Chem Vol. 2, Part M* (2005): 325–366, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005.
 13. JOSE, C., MIERZWA, RODRIGUES. R., ANTONIO, C. S. C. UV hydrogen peroxide processes. Teixeira University of Salo Paulo, Brazil, 2018, chapter 2, 13- 49.
 14. PEYTON, G., R., HUNG, F., Y., BURLESON, J., L., and GLAZE, W., H. Destruction of Pollutants in Water with Ozone in Combination with Ultraviolet Radiation. 1, General Principles and Oxidation of Tetrachloroethylene. *Environ. Sci. Technol.* 1982, **16** (8), 448-453.
 15. MOHAMED, A. HASAAN, AHMED EL NEMR, Advanced Oxidation Processes for Textile Wastewater Treatment. *J. Photochem. Photobiol. A*, 2017. **2(3)**: 85-93.
 16. AFONSO-OLIVARES, C., FERNANDEZ - RODRIGUEZ, C., OJEDA-GONZALES, R. J., SOS-FERRERA, Z., SANTANA-RODRIGUEZ, J. J., DONA RODRIGUEZ, J. M. Estimation of kinetic parameters and UV doses necessary to remove twenty-three pharmaceuticals from pre-treated urban wastewater by UV/H₂O₂. *J. Photochem. Photobiol. A*, 2016, **329**, 130-138.
 17. ANDREOZZI, R., CAPRIO, V., INSOLA, A., MAROTTA, R. Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. *Catal. Today*, 1999, **53**, 51-59.
 18. ANTONOPOULOU, M., EVGENIDOU, E., LAMBROPOULOU, D., KONSTANTINOU, I. A review on advanced oxidation processes for the removal of taste and odor compounds from aqueous media. *Water Res.* 2014, **53**, 215-234.
 19. BOLTON, J. R., CATER, S. R. Homogeneous photodegradation of pollutants in contaminated water: an introduction. In: Helz, G. R. (Ed.), *Aquatic and Surface Photochemistry*. 1st. Edition Lewis Publishers, Boca Raton, 1994., p. 467-490. e-Book, ISBN 9781351069847, doi.org/10.1201/9781351069847.
 20. CATALDO, F. Hydrogenperoxide photolysis with different UV light sources including a new UV-Led light source. *New Front. Chem.*, 2014, **23** (2), 99-110.
 21. CELDAT, B., DE BAUER, C., METIVITER, H., DUMONT, N., TUTUNDJAN, R. Are UV photolysis and UV/H₂O₂ process efficient to treat estrogens in waters? Chemical and biological assessment at pilot scale. *Water Res.*, 2016, **100**, 357-366.

22. ZUO, Z., CAI, Z., KATSUMURA, Y., CHITOSE, N., MUROYA, Y. Reinvestigation of the acid-base equilibrium of the (bi)carbonate radical and pH dependence of its reactivity with inorganic reactants. *Radiat. Phys. Chem.*, 1999, **55**, 15-23.
23. MITROVIĆ, J., VUCIC, R. M., KOSTIC, M., VELINOV, N., NAJDANOVI, S., D., BOJIC, A. Sulfate radicals-based degradation of antraquinone textile dye in a plug flow photoreactor. *J. Serb. Chem. Soc.*, 2019, **84**, 1041-1054.
24. CRITTENDEN, J. C., HU, S., HAND, D. W., GREEN, S. A. A kinetic model for H₂O₂/UV process in a completely mixed batch reactor. *Water Res.*, 1999, 33 (10), 2315-2328.
25. GARCIA-FERNANDEZ, M., POLO-LOPEZ, I., OLLER, P. FERNANDEZ, I. Bacteria and fungi inactivation using Fe³⁺/sunlight, H₂O₂/sunlight and near neutral photo-Fenton: A comparative study. *Applied Catalysis B. Environmental.*, 2012, **121**. 20-29.
26. NDOUNLA, J., KENFACK, S., WETHÉ, J., PULGARIN, C. Relevant impact of irradiance (vs. dose) and evolution of pH and mineral nitrogen compounds during natural water disinfection by photo-Fenton in a solar CPC reactor. *Applied. Catalysis. B: Environmental*. 2014, **148**, 144 -153.
27. NDOUNLA, J., SPUHLER D., KENFACK, S., WETHÉ, J., PULGARIN, C. Inactivation by solar photo-Fenton in pet bottles of wild enteric bacteria of natural well water: Absence of re-growth after one week of subsequent storage. *Applied. Catalysis. B: Environmental.*, 2013, **129**. 309-317.
28. NDOUNLA, J., PULGARIN, C. *Science of the Total Environment*. 2014, **493**, 229-238.
29. VOELKER, B. M., MOREL, F. M., SULZBERGER, B. *Environ. Sci. Technol.*, 1997, **31**. 1004-1011.
30. POLO-LOPEZ, M. I., CASTRO-ALFÉREZ, M., OLLER, I., FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P. *Chem. Eng. J.*, 2014, **257**. 122-130.
31. GERNJAK, W., FUERHACKER, M., FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P., BLANCO, J., MALATO, S. *Applied. Catalysis B: Environmental*, 2006, **64**, 121-130.
32. NDOUNLA, J., PULGARIN, C. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2015, **22**, 17082-17094.
33. GIANNAKISA, S., POLO-LOPEZ, M. I., SPUHLERA, D., SÁNCHEZ PÉREZC, J. A. FERNÁNDEZ-IBÁÑEZB, P., PULGARINA, C. Solar disinfection is an augmentable, in situ-generated photo-Fenton reaction – Part 2: A review of the applications for drinking water and wastewater disinfection. *Applied. Catalysis B: Environmental.*, 2016, **198**, 431-446.

34. BIANCO PREVOT, A., BRUSSINO, M. C., PRAMAURO, E., SAVARINO, P., AUGUGLIARO, V., MARCÍ, G., PALMISANO, L. Photocatalytic Degradation of Acid Blue 80 in Aqueous Solutions Containing TiO₂ Suspensions. *Environ. Sci. Technol.*, 2001, **35**, 971-976.
35. Spektrofotometrie; 2. Lékařská fakulta UK [26.3.2020], dostupné na: [https://www.wikiskripta.eu/w/Spektrofotometrie_\(2._LF_UK\)](https://www.wikiskripta.eu/w/Spektrofotometrie_(2._LF_UK)).
36. ČERNOHORSKÝ, T., JANDERA, P.; Atomová spektroskopie, Univerzita Pardubice, 1997, s. 40-49. ISBN 80-7194-114-X.
37. What is psectropfotometer? (26.32020) dsotupné na: <https://www.quora.com/What-is-a-spectrophotometer>.
38. WERNER, M., ERHAN, D. UV-VIS Absorption Spectroscopy: Lambert-Beer reloaded. 2016., doi:10.1016/j.saa.2016.09.03
39. GIANNAKOPOULOS, E., ISARI, E., BOURIKAS, K., KARAPANAGIOTI, H. K., PSARRAS, G., ORON, G., KALAVROUZIOS, I. K. Oxidation of municipal wastewater by free radicals mechanism. A UV/VIS spectroscopy study. *Journal of Environmental Management*. 2016. 1-9.
40. ČEČÁKOVÁ, M. Odbarvování odpadních vod pomocí elektrochemické oxidace. Pardubice, 2010. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, FCHT.
41. ČIČMANEC, Pavel, Martin HÁJEK, Helena DROBNÁ a Karel FROLICH. Fyzikální chemie pro bakalářské studium. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2016. ISBN 978-80-7560-006-6.
42. KUCHTOVÁ, G., CHÝLKOVÁ, J., VÁŇA, J., VOJS, M., DUŠEK, L. Electro-oxidative Decolorization and Treatment of Model Wastewater Containing Acid Blue 80 on Boron Doped Diamond and Platinum Anodes. *J. Electroanal. Chem.*, 2020, **863**, 114036.
43. POZZO, A.D., FERRANTELLI, P., MERLI, C., PETRUCCI, E. Oxidation efficiency in the electro-Fenton process. *J. Appl. Electroch.*, 2005. **35**. 391-398.
44. JIANG, Ch., ZHANG, J. Progress and prospect in electro-Fenton process for wastewater treatment. *Zhejiang Univ. Scien.*, 2007, **8**, 1118-1125.
45. ROSALES, E., PAZOS, M., SANROMÁN, M. A. Electro-Fenton Process for Remediation of Recalcitrant Organic Compounds. *Chem. Eng. Technol.* 2012. **35**, 609–617.

13 PŘÍLOHY

13. 1 Experimentální data získaná při odbarvování modelové odpadní vody s AB 80 pomocí Fentonovy reakce použítá pro sestavení pH profilu

Tabulka P 1 *Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z odbourávání Acid Blue 80 pomocí Fentonovy reakce při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 3$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 2,83$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_o = 7,6 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku a katalyzujícího Fe^{2+} ionu bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80: FeSO_4 : $\text{H}_2\text{O}_2=0,9:1:10$.*

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 ½} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 ½} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 ½} (s)
0,00	0	1,216	7,60E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
0,33	20	0,995	6,11E-05	19,64	6,229E-02	6,102E-04	1,095E-02	63,32	1,610E+02	4,722E-07
0,67	40	0,838	5,05E-05	33,60	3,763E-02	1,010E-03	1,023E-02	67,74	1,663E+02	4,570E-07
1,00	60	0,694	4,07E-05	46,40	3,109E-02	1,222E-03	1,039E-02	66,69	1,898E+02	4,005E-07
1,33	80	0,571	3,24E-05	57,33	2,930E-02	1,297E-03	1,065E-02	65,09	2,210E+02	3,439E-07
1,67	100	0,482	2,64E-05	65,24	2,877E-02	1,321E-03	1,057E-02	65,60	2,469E+02	3,079E-07
2,00	120	0,428	2,28E-05	70,04	2,782E-02	1,366E-03	1,005E-02	69,00	2,563E+02	2,965E-07
2,33	140	0,363	1,84E-05	75,82	2,955E-02	1,286E-03	1,014E-02	68,34	2,947E+02	2,579E-07
2,67	160	0,308	1,47E-05	80,71	3,240E-02	1,173E-03	1,028E-02	67,40	3,440E+02	2,210E-07
3,00	180	0,268	1,20E-05	84,27	3,531E-02	1,076E-03	1,027E-02	67,46	3,914E+02	1,942E-07
3,33	200	0,233	9,59E-06	87,38	3,962E-02	9,594E-04	1,035E-02	66,97	4,554E+02	1,669E-07
3,67	220	0,207	7,84E-06	89,69	4,408E-02	8,622E-04	1,033E-02	67,13	5,201E+02	1,462E-07
4,00	240	0,182	6,15E-06	91,91	5,151E-02	7,378E-04	1,048E-02	66,15	6,228E+02	1,220E-07
4,33	260	0,168	5,20E-06	93,16	5,620E-02	6,763E-04	1,032E-02	67,20	6,887E+02	1,104E-07
4,67	280	0,156	4,39E-06	94,22	6,181E-02	6,149E-04	1,018E-02	68,08	7,661E+02	9,922E-08
5,00	300	0,143	3,51E-06	95,38	7,212E-02	5,270E-04	1,025E-02	67,64	9,049E+02	8,401E-08
5,33	320	0,134	2,91E-06	96,18	8,176E-02	4,648E-04	1,020E-02	67,94	1,035E+03	7,348E-08
5,67	340	0,123	2,16E-06	97,16	1,034E-01	3,676E-04	1,047E-02	66,21	1,322E+03	5,752E-08
6,00	360	0,118	1,82E-06	97,60	1,157E-01	3,284E-04	1,036E-02	66,90	1,486E+03	5,115E-08
6,33	380	0,114	1,55E-06	97,96	1,287E-01	2,953E-04	1,024E-02	67,71	1,659E+03	4,582E-08
6,67	400	0,109	1,22E-06	98,40	1,562E-01	2,433E-04	1,034E-02	67,05	2,023E+03	3,758E-08
7,00	420	0,104	8,78E-07	98,84	2,060E-01	1,845E-04	1,062E-02	65,27	2,679E+03	2,837E-08
7,33	440	0,103	8,11E-07	98,93	2,131E-01	1,784E-04	1,032E-02	67,16	2,773E+03	2,741E-08
7,67	460	0,101	6,76E-07	99,11	2,446E-01	1,554E-04	1,027E-02	67,51	3,189E+03	2,384E-08
8,00	480	0,098	4,73E-07	99,38	3,348E-01	1,135E-04	1,058E-02	65,50	4,377E+03	1,737E-08
8,33	500	0,097	4,05E-07	99,47	3,750E-01	1,013E-04	1,047E-02	66,22	4,907E+03	1,549E-08
8,67	520	0,097	4,05E-07	99,47	3,606E-01	1,054E-04	1,006E-02	68,87	4,718E+03	1,611E-08
9,00	540	0,096	3,38E-07	99,56	4,167E-01	9,122E-05	1,003E-02	69,11	5,457E+03	1,393E-08
Průměrná hodnota					1,250E-01	6,433E-04	1,035E-02	67,01	1,550E+03	1,514E-07
Směrodatná odchylka					1,215E-01	4,496E-04	2,050E-04	1,31	1,649E+03	1,439E-07

Tabulka P 2 *Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z odbourávání Acid Blue 80 pomocí Fentonovy reakce při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 5$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 4,85$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 8,6 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku a katalyzujícího Fe^{2+} ionu bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80: FeSO_4 : $\text{H}_2\text{O}_2=0,9:1:10$.*

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm^{-3})	D (%)	k_0 ($\text{mol dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{0\frac{1}{2}}$ (s)	k_1 (s^{-1})	$t_{1\frac{1}{2}}$ (s)	k_2 ($\text{mol}^{-1}\text{dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{2\frac{1}{2}}$ (s)
0	0	1,364	8,60E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
1,67	100	1,215	7,59E-05	11,70	1,133E-02	3,797E-03	1,245E-03	556,82	1,541E+01	5,581E-06
3,33	200	1,092	6,76E-05	21,37	6,359E-03	6,764E-03	1,202E-03	576,72	1,580E+01	5,445E-06
5,00	300	0,975	5,97E-05	30,56	4,800E-03	8,959E-03	1,216E-03	570,22	1,705E+01	5,044E-06
6,67	400	0,868	5,25E-05	38,96	4,096E-03	1,050E-02	1,234E-03	561,60	1,855E+01	4,636E-06
8,33	500	0,795	4,76E-05	44,70	3,616E-03	1,189E-02	1,185E-03	585,08	1,879E+01	4,577E-06
10,00	600	0,704	4,14E-05	51,85	3,461E-03	1,243E-02	1,218E-03	569,11	2,086E+01	4,123E-06
11,67	700	0,614	3,53E-05	58,92	3,477E-03	1,237E-02	1,271E-03	545,45	2,382E+01	3,611E-06
13,33	800	0,544	3,06E-05	64,41	3,513E-03	1,224E-02	1,292E-03	536,68	2,631E+01	3,270E-06
15,00	900	0,492	2,71E-05	68,50	3,527E-03	1,219E-02	1,284E-03	540,04	2,809E+01	3,062E-06
16,67	1000	0,453	2,45E-05	71,56	3,517E-03	1,223E-02	1,257E-03	551,22	2,926E+01	2,940E-06
18,33	1100	0,424	2,25E-05	73,84	3,475E-03	1,238E-02	1,219E-03	568,58	2,983E+01	2,883E-06
20,00	1200	0,409	2,15E-05	75,02	3,336E-03	1,289E-02	1,156E-03	599,66	2,910E+01	2,956E-06
21,67	1300	0,362	1,83E-05	78,71	3,613E-03	1,190E-02	1,190E-03	582,47	3,307E+01	2,601E-06
23,33	1400	0,334	1,64E-05	80,91	3,742E-03	1,149E-02	1,183E-03	585,97	3,520E+01	2,444E-06
25,00	1500	0,291	1,35E-05	84,29	4,243E-03	1,014E-02	1,234E-03	561,76	4,158E+01	2,068E-06
26,67	1600	0,31	1,48E-05	82,80	3,633E-03	1,184E-02	1,100E-03	630,11	3,497E+01	2,460E-06
28,33	1700	0,282	1,29E-05	85,00	3,921E-03	1,097E-02	1,116E-03	621,21	3,874E+01	2,220E-06
30,00	1800	0,261	1,15E-05	86,65	4,160E-03	1,034E-02	1,119E-03	619,70	4,191E+01	2,052E-06
31,67	1900	0,251	1,08E-05	87,43	4,188E-03	1,027E-02	1,092E-03	635,01	4,257E+01	2,021E-06
33,33	2000	0,227	9,19E-06	89,32	4,680E-03	9,189E-03	1,118E-03	619,86	4,860E+01	1,770E-06
35,00	2100	0,192	6,82E-06	92,07	6,002E-03	7,166E-03	1,207E-03	574,43	6,424E+01	1,339E-06
36,67	2200	0,179	5,95E-06	93,09	6,575E-03	6,541E-03	1,214E-03	570,75	7,116E+01	1,209E-06
38,33	2300	0,162	4,80E-06	94,42	7,795E-03	5,517E-03	1,255E-03	552,32	8,558E+01	1,005E-06
40,00	2400	0,152	4,12E-06	95,21	8,695E-03	4,946E-03	1,266E-03	547,54	9,625E+01	8,937E-07
41,67	2500	0,142	3,45E-06	95,99	9,984E-03	4,307E-03	1,287E-03	538,61	1,114E+02	7,719E-07
43,33	2600	0,137	3,11E-06	96,39	1,064E-02	4,041E-03	1,277E-03	542,75	1,193E+02	7,211E-07
45,00	2700	0,132	2,77E-06	96,78	1,150E-02	3,740E-03	1,272E-03	544,74	1,294E+02	6,648E-07
46,67	2800	0,128	2,50E-06	97,09	1,229E-02	3,500E-03	1,264E-03	548,53	1,387E+02	6,201E-07
48,33	2900	0,126	2,36E-06	97,25	1,254E-02	3,429E-03	1,239E-03	559,33	1,418E+02	6,066E-07
50,00	3000	0,121	2,03E-06	97,64	1,414E-02	3,041E-03	1,249E-03	554,82	1,606E+02	5,357E-07
55,00	3300	0,117	1,76E-06	97,96	1,484E-02	2,899E-03	1,179E-03	587,86	1,690E+02	5,090E-07
60,00	3600	0,107	1,08E-06	98,74	2,210E-02	1,946E-03	1,216E-03	570,16	2,537E+02	3,390E-07
Průměrná hodnota					6,993E-03	8,308E-03	1,214E-03	572,16	6,658E+01	2,343E-06
Směrodatná odchylka					4,576E-03	3,748E-03	5,745E-05	28,08	5,809E+01	1,568E-06

Tabulka P 3 *Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z odbourávání Acid Blue 80 pomocí Fentonovy reakce při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 7$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 6,77$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 8,26 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku a katalyzujícího Fe^{2+} ionu bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80: FeSO_4 : $\text{H}_2\text{O}_2=0,9:1:10$.*

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0,00	0	1,313	8,26E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
1,67	100	1,193	7,45E-05	9,82	1,109E-02	3,723E-03	1,034E-03	670,60	1,319E+01	6,261E-06
3,33	200	1,095	6,78E-05	17,84	6,086E-03	6,784E-03	9,825E-04	705,50	1,315E+01	6,280E-06
5,00	300	0,997	6,12E-05	25,86	4,496E-03	9,182E-03	9,973E-04	694,99	1,408E+01	5,864E-06
6,67	400	0,914	5,56E-05	32,65	3,712E-03	1,112E-02	9,882E-04	701,41	1,468E+01	5,625E-06
8,33	500	0,847	5,11E-05	38,13	3,233E-03	1,277E-02	9,604E-04	721,72	1,493E+01	5,530E-06
10,00	600	0,765	4,55E-05	44,84	3,022E-03	1,366E-02	9,917E-04	698,96	1,641E+01	5,031E-06
11,67	700	0,685	4,01E-05	51,39	2,939E-03	1,405E-02	1,031E-03	672,62	1,829E+01	4,514E-06
13,33	800	0,622	3,59E-05	56,55	2,877E-03	1,435E-02	1,042E-03	665,30	1,970E+01	4,191E-06
15,00	900	0,574	3,26E-05	60,47	2,811E-03	1,469E-02	1,031E-03	672,07	2,059E+01	4,010E-06
16,67	1000	0,526	2,94E-05	64,40	2,809E-03	1,470E-02	1,033E-03	671,07	2,191E+01	3,768E-06
18,33	1100	0,479	2,62E-05	68,25	2,863E-03	1,442E-02	1,043E-03	664,61	2,367E+01	3,489E-06
20,00	1200	0,433	2,31E-05	72,01	2,978E-03	1,386E-02	1,061E-03	653,18	2,597E+01	3,179E-06
21,67	1300	0,405	2,12E-05	74,30	2,994E-03	1,379E-02	1,045E-03	663,13	2,694E+01	3,065E-06
23,33	1400	0,384	1,98E-05	76,02	2,979E-03	1,386E-02	1,020E-03	679,52	2,743E+01	3,010E-06
25,00	1500	0,364	1,84E-05	77,66	2,984E-03	1,383E-02	9,992E-04	693,71	2,807E+01	2,942E-06
26,67	1600	0,328	1,6E-05	80,61	3,223E-03	1,281E-02	1,025E-03	676,17	3,146E+01	2,625E-06
28,33	1700	0,293	1,36E-05	83,47	3,559E-03	1,160E-02	1,059E-03	654,65	3,597E+01	2,295E-06
30,00	1800	0,277	1,26E-05	84,78	3,650E-03	1,131E-02	1,046E-03	662,77	3,748E+01	2,203E-06
31,67	1900	0,264	1,17E-05	85,84	3,718E-03	1,110E-02	1,029E-03	673,66	3,865E+01	2,136E-06
33,33	2000	0,249	1,07E-05	87,07	3,867E-03	1,068E-02	1,023E-03	677,68	4,078E+01	2,025E-06
35,00	2100	0,238	9,93E-06	87,97	3,959E-03	1,043E-02	1,008E-03	687,32	4,218E+01	1,958E-06
36,67	2200	0,222	8,85E-06	89,28	4,240E-03	9,736E-03	1,015E-03	682,89	4,585E+01	1,801E-06
38,33	2300	0,210	8,04E-06	90,26	4,465E-03	9,247E-03	1,013E-03	684,48	4,881E+01	1,692E-06
40,00	2400	0,200	7,36E-06	91,08	4,671E-03	8,838E-03	1,007E-03	688,30	5,153E+01	1,602E-06
43,33	2600	0,176	5,74E-06	93,04	5,529E-03	7,466E-03	1,025E-03	676,09	6,231E+01	1,325E-06
45,00	2700	0,167	5,14E-06	93,78	5,955E-03	6,932E-03	1,029E-03	673,80	6,764E+01	1,221E-06
46,67	2800	0,163	4,86E-06	94,11	6,062E-03	6,811E-03	1,011E-03	685,42	6,909E+01	1,195E-06
48,33	2900	0,157	4,46E-06	94,60	6,385E-03	6,466E-03	1,006E-03	688,73	7,315E+01	1,129E-06
50,00	3000	0,147	3,78E-06	95,42	7,274E-03	5,676E-03	1,028E-03	674,51	8,406E+01	9,823E-07
51,67	3100	0,143	3,51E-06	95,74	7,581E-03	5,446E-03	1,018E-03	680,63	8,790E+01	9,393E-07
53,33	3200	0,140	3,31E-06	95,99	7,793E-03	5,297E-03	1,005E-03	689,61	9,060E+01	9,113E-07
55,00	3300	0,134	2,91E-06	96,48	8,612E-03	4,794E-03	1,014E-03	683,40	1,006E+02	8,205E-07
60,00	3600	0,119	1,89E-06	97,71	1,212E-02	3,405E-03	1,049E-03	660,83	1,435E+02	5,755E-07
Průměrná hodnota					4,867E-03	1,004E-02	1,020E-03	679,97	4,428E+01	2,815E-06
Směrodatná odchylka					2,371E-03	3,567E-03	2,205E-05	14,84	3,055E+01	1,731E-06

Tabulka P 4 *Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z odbourávání Acid Blue 80 pomocí Fentonovy reakce při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 9$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 8,88$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 7,53 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku a katalyzujícího Fe^{2+} ionu bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80: FeSO_4 : $\text{H}_2\text{O}_2=0,9:1:10$.*

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0	0	1,206	7,53E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	1,131	7,03E-05	6,73	3,574E-03	1,054E-02	2,321E-04	2986	3,191E+00	2,361E-05
10	600	1,053	6,50E-05	13,72	1,932E-03	1,950E-02	2,460E-04	2818	3,518E+00	2,141E-05
15	900	0,983	6,03E-05	20,00	1,389E-03	2,712E-02	2,479E-04	2796	3,687E+00	2,043E-05
20	1200	0,927	5,65E-05	25,02	1,111E-03	3,389E-02	2,400E-04	2888	3,692E+00	2,041E-05
25	1500	0,867	5,24E-05	30,40	9,579E-04	3,932E-02	2,416E-04	2869	3,866E+00	1,949E-05
30	1800	0,792	4,74E-05	37,13	8,837E-04	4,263E-02	2,578E-04	2688	4,355E+00	1,730E-05
35	2100	0,731	4,32E-05	42,60	8,296E-04	4,541E-02	2,644E-04	2622	4,691E+00	1,606E-05
40	2400	0,669	3,91E-05	48,16	8,038E-04	4,686E-02	2,738E-04	2532	5,138E+00	1,466E-05
45	2700	0,621	3,58E-05	52,47	7,792E-04	4,834E-02	2,755E-04	2516	5,426E+00	1,388E-05
50	3000	0,575	3,27E-05	56,59	7,679E-04	4,905E-02	2,782E-04	2492	5,768E+00	1,306E-05
55	3300	0,534	2,99E-05	60,27	7,627E-04	4,939E-02	2,797E-04	2478	6,102E+00	1,235E-05
60	3600	0,521	2,91E-05	61,43	7,203E-04	5,230E-02	2,647E-04	2619	5,874E+00	1,283E-05
65	3900	0,481	2,64E-05	65,02	7,331E-04	5,139E-02	2,693E-04	2573	6,327E+00	1,191E-05
70	4200	0,456	2,47E-05	67,26	7,273E-04	5,179E-02	2,659E-04	2607	6,494E+00	1,160E-05
75	4500	0,416	2,20E-05	70,85	7,624E-04	4,941E-02	2,740E-04	2530	7,170E+00	1,051E-05
80	4800	0,385	1,99E-05	73,63	7,901E-04	4,768E-02	2,777E-04	2496	7,722E+00	9,756E-06
85	5100	0,361	1,82E-05	75,78	8,097E-04	4,652E-02	2,781E-04	2493	8,145E+00	9,249E-06
90	5400	0,347	1,73E-05	77,04	8,066E-04	4,670E-02	2,725E-04	2544	8,248E+00	9,134E-06
95	5700	0,320	1,55E-05	79,46	8,542E-04	4,410E-02	2,777E-04	2496	9,010E+00	8,362E-06
100	6000	0,307	1,46E-05	80,63	8,603E-04	4,378E-02	2,736E-04	2534	9,207E+00	8,182E-06
105	6300	0,285	1,31E-05	82,60	9,123E-04	4,129E-02	2,776E-04	2497	1,000E+01	7,532E-06
110	6600	0,269	1,20E-05	84,04	9,491E-04	3,969E-02	2,780E-04	2493	1,059E+01	7,116E-06
115	6900	0,255	1,11E-05	85,29	9,853E-04	3,823E-02	2,778E-04	2495	1,116E+01	6,754E-06
120	7200	0,24	1,01E-05	86,55	1,032E-03	3,649E-02	2,786E-04	2488	1,186E+01	6,352E-06
130	7800	0,21	8,51E-06	88,70	1,135E-03	3,320E-02	2,795E-04	2480	1,336E+01	5,640E-06
140	8400	0,20	7,57E-06	89,96	1,185E-03	3,178E-02	2,736E-04	2534	1,415E+01	5,324E-06
150	9000	0,18	6,35E-06	91,57	1,318E-03	2,858E-02	2,748E-04	2522	1,602E+01	4,703E-06
160	9600	0,168	5,20E-06	93,09	1,508E-03	2,497E-02	2,784E-04	2490	1,864E+01	4,042E-06
170	10200	0,160	4,66E-06	93,81	1,584E-03	2,378E-02	2,728E-04	2541	1,973E+01	3,819E-06
180	10800	0,151	4,05E-06	94,62	1,721E-03	2,189E-02	2,706E-04	2562	2,161E+01	3,486E-06
190	11400	0,143	3,51E-06	95,34	1,881E-03	2,003E-02	2,689E-04	2578	2,380E+01	3,165E-06
200	12000	0,137	3,11E-06	95,87	2,020E-03	1,865E-02	2,657E-04	2609	2,571E+01	2,931E-06
Průměrná hodnota					1,051E-03	4,056E-02	2,678E-04	2596	7,584E+00	1,213E-05
Směrodatná odchylka					5,855E-04	1,172E-02	1,301E-05	135	6,267E+00	5,920E-06

13. 2 Experimentální data získaná při odbarvení modelové odpadní vody s AB 80 pomocí Fentonovy reakce postihující vliv poměru železnatého iontu a peroxidu vodíku

Tabulka P 5 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z odbourávání Acid Blue 80 pomocí Fentonovy reakce při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 3$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 2,72$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 6,97 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku a katalyzujícího Fe^{2+} ionu bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80: FeSO_4 : $\text{H}_2\text{O}_2=0,9:1:5$.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 ½} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 ½} (s)	k ₂ (mol ¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 ½} (s)
0,00	0	1,123	6,97E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
0,33	20	0,956	5,84E-05	16,18	5,971E-02	5,839E-04	8,835E-03	78,45	1,386E+02	5,032E-07
0,67	40	0,816	4,90E-05	29,75	3,557E-02	9,802E-04	8,823E-03	78,56	1,517E+02	4,595E-07
1,00	60	0,712	4,20E-05	39,83	2,770E-02	1,259E-03	8,465E-03	81,88	1,582E+02	4,408E-07
1,33	80	0,624	3,60E-05	48,35	2,421E-02	1,440E-03	8,261E-03	83,90	1,679E+02	4,154E-07
1,67	100	0,534	2,99E-05	57,07	2,329E-02	1,497E-03	8,455E-03	81,98	1,906E+02	3,658E-07
2,00	120	0,436	2,33E-05	66,57	2,493E-02	1,399E-03	9,131E-03	75,91	2,380E+02	2,930E-07
2,33	140	0,388	2,01E-05	71,22	2,482E-02	1,405E-03	8,898E-03	77,90	2,535E+02	2,750E-07
2,67	160	0,343	1,70E-05	75,58	2,559E-02	1,362E-03	8,810E-03	78,67	2,774E+02	2,514E-07
3,00	180	0,297	1,39E-05	80,04	2,783E-02	1,253E-03	8,952E-03	77,43	3,195E+02	2,183E-07
3,33	200	0,251	1,08E-05	84,50	3,225E-02	1,081E-03	9,321E-03	74,36	3,908E+02	1,784E-07
3,67	220	0,235	9,73E-06	86,05	3,257E-02	1,070E-03	8,951E-03	77,44	4,019E+02	1,735E-07
4,00	240	0,214	8,31E-06	88,08	3,496E-02	9,973E-04	8,863E-03	78,21	4,416E+02	1,579E-07
4,33	260	0,185	6,35E-06	90,89	4,223E-02	8,256E-04	9,216E-03	75,21	5,504E+02	1,267E-07
4,67	280	0,166	5,07E-06	92,73	4,914E-02	7,095E-04	9,363E-03	74,03	6,535E+02	1,067E-07
5,00	300	0,157	4,46E-06	93,60	5,212E-02	6,689E-04	9,165E-03	75,63	6,997E+02	9,966E-08
5,33	320	0,144	3,58E-06	94,86	6,085E-02	5,730E-04	9,278E-03	74,71	8,278E+02	8,423E-08
5,67	340	0,138	3,18E-06	95,45	6,458E-02	5,399E-04	9,086E-03	76,29	8,840E+02	7,888E-08
6,00	360	0,130	2,64E-06	96,22	7,350E-02	4,743E-04	9,099E-03	76,18	1,014E+03	6,875E-08
6,33	380	0,124	2,23E-06	96,80	8,230E-02	4,236E-04	9,060E-03	76,51	1,142E+03	6,103E-08
6,67	400	0,117	1,76E-06	97,48	9,923E-02	3,514E-04	9,203E-03	75,32	1,387E+03	5,027E-08
7,00	420	0,115	1,62E-06	97,67	1,024E-01	3,405E-04	8,955E-03	77,40	1,434E+03	4,862E-08
7,33	440	0,112	1,42E-06	97,97	1,117E-01	3,122E-04	8,852E-03	78,31	1,569E+03	4,444E-08
7,67	460	0,108	1,15E-06	98,35	1,320E-01	2,642E-04	8,926E-03	77,65	1,861E+03	3,746E-08
8,00	480	0,105	9,46E-07	98,64	1,536E-01	2,270E-04	8,959E-03	77,37	2,173E+03	3,210E-08
8,33	500	0,103	8,11E-07	98,84	1,720E-01	2,027E-04	8,909E-03	77,81	2,438E+03	2,860E-08
8,67	520	0,101	6,76E-07	99,03	1,985E-01	1,757E-04	8,917E-03	77,74	2,819E+03	2,474E-08
9,00	540	0,099	5,41E-07	99,22	2,389E-01	1,459E-04	9,000E-03	77,02	3,399E+03	2,051E-08
Průměrná hodnota					7,431E-02	7,615E-04	8,954E-03	77,48	9,623E+02	1,720E-07
Směrodatná odchylka					5,898E-02	4,563E-04	2,565E-04	2,28	8,994E+02	1,513E-07

Tabulka P 6 *Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z odbourávání Acid Blue 80 pomocí Fentonovy reakce při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 3$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 2,80$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 7,82 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku a katalyzujícího Fe^{2+} ionu bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80: FeSO_4 : $\text{H}_2\text{O}_2=0,9:1:25$.*

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm^{-3})	D (%)	k_0 ($\text{mol dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{0\frac{1}{2}}$ (s)	k_1 (s^{-1})	$t_{1\frac{1}{2}}$ (s)	k_2 ($\text{mol}^{-1}\text{dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{2\frac{1}{2}}$ (s)
0,00	0	1,248	7,82E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
0,33	20	1,057	6,53E-05	16,51	5,995E-02	6,521E-04	9,030E-03	76,76	1,266E+02	6,176E-07
0,67	40	0,893	5,42E-05	30,68	3,605E-02	1,084E-03	9,157E-03	75,69	1,415E+02	5,525E-07
1,00	60	0,759	4,51E-05	42,26	2,887E-02	1,354E-03	9,155E-03	75,71	1,561E+02	5,009E-07
1,33	80	0,655	3,81E-05	51,25	2,565E-02	1,524E-03	8,984E-03	77,15	1,682E+02	4,649E-07
1,67	100	0,576	3,28E-05	58,08	2,385E-02	1,639E-03	8,693E-03	79,74	1,772E+02	4,412E-07
2,00	120	0,487	2,68E-05	65,77	2,435E-02	1,605E-03	8,935E-03	77,58	2,049E+02	3,816E-07
2,33	140	0,418	2,21E-05	71,74	2,528E-02	1,546E-03	9,027E-03	76,78	2,319E+02	3,370E-07
2,67	160	0,376	1,93E-05	75,37	2,537E-02	1,541E-03	8,756E-03	79,16	2,446E+02	3,196E-07
3,00	180	0,330	1,61E-05	79,34	2,689E-02	1,453E-03	8,762E-03	79,11	2,730E+02	2,864E-07
3,33	200	0,308	1,47E-05	81,24	2,666E-02	1,466E-03	8,369E-03	82,82	2,771E+02	2,821E-07
3,67	220	0,271	1,22E-05	84,44	2,921E-02	1,338E-03	8,457E-03	81,96	3,156E+02	2,477E-07
4,00	240	0,241	1,01E-05	87,04	3,214E-02	1,216E-03	8,512E-03	81,43	3,578E+02	2,185E-07
4,33	260	0,218	8,58E-06	89,02	3,504E-02	1,115E-03	8,498E-03	81,56	3,990E+02	1,959E-07
4,67	280	0,202	7,50E-06	90,41	3,722E-02	1,050E-03	8,371E-03	82,80	4,305E+02	1,816E-07
5,00	300	0,183	6,22E-06	92,05	4,192E-02	9,324E-04	8,439E-03	82,13	4,936E+02	1,584E-07
5,33	320	0,174	5,61E-06	92,83	4,356E-02	8,972E-04	8,234E-03	84,18	5,173E+02	1,511E-07
5,67	340	0,164	4,93E-06	93,69	4,661E-02	8,386E-04	8,126E-03	85,30	5,586E+02	1,399E-07
6,00	360	0,154	4,26E-06	94,55	5,101E-02	7,662E-04	8,085E-03	85,74	6,170E+02	1,267E-07
6,33	380	0,144	3,58E-06	95,42	5,745E-02	6,804E-04	8,114E-03	85,42	7,012E+02	1,115E-07
6,67	400	0,138	3,18E-06	95,94	6,154E-02	6,352E-04	8,008E-03	86,55	7,552E+02	1,035E-07
7,00	420	0,132	2,77E-06	96,46	6,719E-02	5,818E-04	7,952E-03	87,16	8,290E+02	9,430E-08
7,33	440	0,123	2,16E-06	97,23	8,218E-02	4,757E-04	8,155E-03	85,00	1,022E+03	7,648E-08
7,67	460	0,119	1,89E-06	97,58	8,983E-02	4,352E-04	8,090E-03	85,68	1,121E+03	6,972E-08
8,00	480	0,113	1,49E-06	98,10	1,096E-01	3,568E-04	8,255E-03	83,96	1,375E+03	5,686E-08
8,33	500	0,112	1,42E-06	98,18	1,102E-01	3,547E-04	8,018E-03	86,44	1,384E+03	5,649E-08
8,67	520	0,109	1,22E-06	98,44	1,236E-01	3,162E-04	8,006E-03	86,58	1,557E+03	5,022E-08
9,00	540	0,105	9,46E-07	98,79	1,530E-01	2,554E-04	8,175E-03	84,79	1,934E+03	4,042E-08
9,33	560	0,104	8,78E-07	98,88	1,589E-01	2,459E-04	8,016E-03	86,47	2,010E+03	3,889E-08
9,67	580	0,102	7,43E-07	99,05	1,813E-01	2,155E-04	8,027E-03	86,35	2,298E+03	3,402E-08
10,00	600	0,101	6,76E-07	99,14	1,928E-01	2,027E-04	7,918E-03	87,54	2,445E+03	3,197E-08
Průměrná hodnota					6,691E-02	1,477E-03	8,411E-03	82,59	7,707E+02	2,123E-07
Směrodatná odchylka					5,034E-02	4,884E-04	3,989E-04	3,82	6,874E+02	1,703E-07

Tabulka P 7 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z odbourávání Acid Blue 80 pomocí Fentonovy reakce při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 3$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 2,84$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 6,06 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku a katalyzujícího Fe^{2+} ionu bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80: FeSO_4 : $\text{H}_2\text{O}_2=0,9:1:50$.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm^{-3})	D (%)	k_0 ($\text{mol dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{0\frac{1}{2}}$ (s)	k_1 (s^{-1})	$t_{1\frac{1}{2}}$ (s)	k_2 ($\text{mol}^{-1}\text{dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{2\frac{1}{2}}$ (s)
0,00	0	0,988	6,06E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
0,33	20	0,856	5,17E-05	14,72	5,869E-02	5,164E-04	7,967E-03	87,00	1,425E+02	4,253E-07
0,67	40	0,752	4,47E-05	26,31	3,391E-02	8,937E-04	7,629E-03	90,86	1,472E+02	4,117E-07
1,00	60	0,652	3,79E-05	37,46	2,665E-02	1,137E-03	7,822E-03	88,61	1,647E+02	3,680E-07
1,33	80	0,568	3,22E-05	46,82	2,351E-02	1,289E-03	7,896E-03	87,78	1,816E+02	3,337E-07
1,67	100	0,505	2,80E-05	53,85	2,166E-02	1,399E-03	7,730E-03	89,67	1,925E+02	3,149E-07
2,00	120	0,439	2,35E-05	61,20	2,148E-02	1,411E-03	7,890E-03	87,85	2,169E+02	2,794E-07
2,33	140	0,401	2,09E-05	65,44	2,067E-02	1,466E-03	7,590E-03	91,32	2,232E+02	2,716E-07
2,67	160	0,366	1,86E-05	69,34	2,038E-02	1,487E-03	7,388E-03	93,82	2,332E+02	2,599E-07
3,00	180	0,324	1,57E-05	74,02	2,139E-02	1,417E-03	7,489E-03	92,56	2,612E+02	2,320E-07
3,33	200	0,286	1,32E-05	78,26	2,300E-02	1,317E-03	7,631E-03	90,83	2,970E+02	2,041E-07
3,67	220	0,267	1,19E-05	80,38	2,316E-02	1,308E-03	7,402E-03	93,64	3,072E+02	1,973E-07
4,00	240	0,239	1,00E-05	83,50	2,525E-02	1,200E-03	7,508E-03	92,33	3,479E+02	1,742E-07
4,33	260	0,221	8,78E-06	85,51	2,654E-02	1,142E-03	7,430E-03	93,30	3,744E+02	1,619E-07
4,67	280	0,207	7,84E-06	87,07	2,762E-02	1,097E-03	7,305E-03	94,89	3,967E+02	1,528E-07
5,00	300	0,191	6,76E-06	88,85	2,990E-02	1,014E-03	7,313E-03	94,78	4,383E+02	1,383E-07
5,33	320	0,176	5,74E-06	90,52	3,298E-02	9,189E-04	7,364E-03	94,12	4,926E+02	1,230E-07
5,67	340	0,164	4,93E-06	91,86	3,614E-02	8,386E-04	7,378E-03	93,95	5,477E+02	1,107E-07
6,00	360	0,153	4,19E-06	93,09	4,019E-02	7,541E-04	7,422E-03	93,39	6,173E+02	9,819E-08
6,33	380	0,147	3,78E-06	93,76	4,215E-02	7,189E-04	7,300E-03	94,96	6,521E+02	9,294E-08
6,67	400	0,140	3,31E-06	94,54	4,576E-02	6,622E-04	7,268E-03	95,37	7,138E+02	8,491E-08
7,00	420	0,135	2,97E-06	95,09	4,854E-02	6,243E-04	7,178E-03	96,56	7,616E+02	7,958E-08
7,33	440	0,128	2,50E-06	95,88	5,510E-02	5,500E-04	7,246E-03	95,66	8,716E+02	6,953E-08
7,67	460	0,122	2,09E-06	96,54	6,290E-02	4,818E-04	7,315E-03	94,76	1,002E+03	6,049E-08
8,00	480	0,117	1,76E-06	97,10	7,188E-02	4,216E-04	7,377E-03	93,96	1,152E+03	5,263E-08
8,33	500	0,114	1,55E-06	97,44	7,800E-02	3,885E-04	7,327E-03	94,60	1,254E+03	4,833E-08
8,67	520	0,111	1,35E-06	97,77	8,625E-02	3,514E-04	7,314E-03	94,77	1,391E+03	4,356E-08
9,00	540	0,109	1,22E-06	97,99	9,228E-02	3,284E-04	7,238E-03	95,76	1,492E+03	4,062E-08
9,33	560	0,106	1,01E-06	98,33	1,068E-01	2,838E-04	7,306E-03	94,88	1,733E+03	3,498E-08
9,67	580	0,103	8,11E-07	98,66	1,289E-01	2,351E-04	7,438E-03	93,19	2,098E+03	2,889E-08
10,00	600	0,102	7,43E-07	98,77	1,359E-01	2,230E-04	7,335E-03	94,50	2,215E+03	2,736E-08
Průměrná hodnota					4,892E-02	8,625E-04	7,460E-03	92,99	6,973E+02	1,640E-07
Směrodatná odchylka					3,284E-02	4,227E-04	2,142E-04	2,60	5,913E+02	1,205E-07

Tabulka P 8 *Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z odbourávání Acid Blue 80 pomocí Fentonovy reakce při $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 3$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 2,82$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 6,73 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku a katalyzujícího Fe^{2+} ionu bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80: FeSO_4 : $\text{H}_2\text{O}_2=0,9:1:75$.*

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm^{-3})	D (%)	k_0 ($\text{mol dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{0\frac{1}{2}}$ (s)	k_1 (s^{-1})	$t_{1\frac{1}{2}}$ (s)	k_2 ($\text{mol}^{-1}\text{dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{2\frac{1}{2}}$ (s)
0	0	1,087	6,73E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
1	60	0,786	4,70E-05	30,22	2,388E-02	1,409E-03	5,997E-03	115,58	1,073E+02	6,274E-07
2	120	0,569	3,23E-05	52,01	1,736E-02	1,938E-03	6,118E-03	113,30	1,342E+02	5,015E-07
3	180	0,436	2,33E-05	65,36	1,604E-02	2,098E-03	5,890E-03	117,68	1,558E+02	4,320E-07
4	240	0,335	1,65E-05	75,50	1,701E-02	1,978E-03	5,861E-03	118,27	1,908E+02	3,527E-07
5	300	0,258	1,13E-05	83,23	1,988E-02	1,693E-03	5,953E-03	116,45	2,459E+02	2,737E-07
6	360	0,206	7,77E-06	88,45	2,406E-02	1,399E-03	5,997E-03	115,59	3,162E+02	2,128E-07
7	420	0,176	5,74E-06	91,47	2,790E-02	1,206E-03	5,860E-03	118,29	3,792E+02	1,775E-07
8	480	0,157	4,46E-06	93,37	3,144E-02	1,070E-03	5,654E-03	122,59	4,362E+02	1,543E-07
9	540	0,128	2,50E-06	96,29	4,985E-02	6,750E-04	6,098E-03	113,67	7,132E+02	9,436E-08
10	600	0,117	1,76E-06	97,39	6,385E-02	5,270E-04	6,076E-03	114,08	9,240E+02	7,284E-08
11	660	0,108	1,15E-06	98,29	8,877E-02	3,791E-04	6,167E-03	112,39	1,297E+03	5,190E-08
12	720	0,104	8,78E-07	98,69	1,064E-01	3,162E-04	6,026E-03	115,02	1,561E+03	4,312E-08
13	780	0,101	6,76E-07	99,00	1,277E-01	2,635E-04	5,899E-03	117,50	1,878E+03	3,583E-08
14	840	0,097	4,05E-07	99,40	1,976E-01	1,703E-04	6,086E-03	113,90	2,919E+03	2,306E-08
15	900	0,096	3,38E-07	99,50	2,213E-01	1,520E-04	5,883E-03	117,83	3,272E+03	2,057E-08
Průměrná hodnota					6,887E-02	1,018E-03	5,971E-03	116,14	9,686E+02	2,049E-07
Směrodatná odchylka					6,715E-02	7,083E-04	1,335E-04	2,64	1,026E+03	1,933E-07

Tabulka P 9 *Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z odbourávání Acid Blue 80 pomocí Fentonovy reakce při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 3$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 2,71$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 6,48 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku a katalyzujícího Fe^{2+} ionu bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80: FeSO_4 : $\text{H}_2\text{O}_2=0,9:1:100$.*

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm^{-3})	D (%)	k_0 ($\text{mol dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{0\frac{1}{2}}$ (s)	k_1 (s^{-1})	$t_{1\frac{1}{2}}$ (s)	k_2 ($\text{mol}^{-1}\text{dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{2\frac{1}{2}}$ (s)
0	0	1,050	6,48E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
1	60	0,801	4,80E-05	25,96	2,251E-02	1,439E-03	5,010E-03	138,34	9,021E+01	7,183E-07
2	120	0,587	3,35E-05	48,28	1,611E-02	2,011E-03	5,494E-03	126,16	1,200E+02	5,398E-07
3	180	0,469	2,55E-05	60,58	1,409E-02	2,299E-03	5,172E-03	134,01	1,318E+02	4,917E-07
4	240	0,366	1,86E-05	71,32	1,453E-02	2,230E-03	5,205E-03	133,18	1,599E+02	4,051E-07
5	300	0,294	1,37E-05	78,83	1,575E-02	2,057E-03	5,176E-03	133,93	1,916E+02	3,382E-07
6	360	0,241	1,01E-05	84,36	1,776E-02	1,824E-03	5,153E-03	134,50	2,312E+02	2,803E-07
7	420	0,209	7,97E-06	87,70	1,935E-02	1,674E-03	4,989E-03	138,95	2,619E+02	2,474E-07
8	480	0,172	5,47E-06	91,55	2,467E-02	1,314E-03	5,149E-03	134,62	3,485E+02	1,859E-07
9	540	0,144	3,58E-06	94,47	3,351E-02	9,669E-04	5,362E-03	129,26	4,885E+02	1,326E-07
10	600	0,125	2,30E-06	96,45	4,701E-02	6,892E-04	5,566E-03	124,53	6,998E+02	9,260E-08
11	660	0,118	1,82E-06	97,18	5,382E-02	6,020E-04	5,409E-03	128,14	8,071E+02	8,028E-08
12	720	0,109	1,22E-06	98,12	7,400E-02	4,378E-04	5,522E-03	125,53	1,121E+03	5,783E-08
13	780	0,103	8,11E-07	98,75	1,025E-01	3,162E-04	5,617E-03	123,41	1,561E+03	4,150E-08
14	840	0,100	6,08E-07	99,06	1,269E-01	2,554E-04	5,558E-03	124,71	1,939E+03	3,341E-08
15	900	0,098	4,73E-07	99,27	1,522E-01	2,128E-04	5,467E-03	126,80	2,332E+03	2,779E-08
16	960	0,097	4,05E-07	99,37	1,665E-01	1,946E-04	5,286E-03	131,14	2,553E+03	2,538E-08
17	1020	0,096	3,38E-07	99,48	1,880E-01	1,723E-04	5,153E-03	134,50	2,887E+03	2,245E-08
18	1080	0,095	2,70E-07	99,58	2,220E-01	1,459E-04	5,074E-03	136,62	3,412E+03	1,899E-08
19	1140	0,094	2,03E-07	99,69	2,804E-01	1,155E-04	5,059E-03	137,01	4,314E+03	1,502E-08
20	1200	0,093	1,35E-07	99,79	3,996E-01	8,108E-05	5,144E-03	134,75	6,154E+03	1,053E-08
Průměrná hodnota					9,956E-02	9,519E-04	5,278E-03	131,51	1,490E+03	1,883E-07
Směrodatná odchylka					1,068E-01	8,150E-04	2,026E-04	5,00	1,673E+03	2,096E-07

Tabulka P 10 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z odbourávání Acid Blue 80 pomocí Fentonovy reakce při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 3$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 2,73$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 6,91 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku a katalyzujícího Fe^{2+} ionu bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80: FeSO_4 : $\text{H}_2\text{O}_2=0,9:1:200$.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm^{-3})	D (%)	k_0 ($\text{mol dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{0\frac{1}{2}}$ (s)	k_1 (s^{-1})	$t_{1\frac{1}{2}}$ (s)	k_2 ($\text{mol}^{-1}\text{dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{2\frac{1}{2}}$ (s)
0	0	1,113	6,91E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
1	60	0,914	5,56E-05	19,47	2,070E-02	1,668E-03	3,609E-03	192,04	5,836E+01	1,183E-06
2	120	0,761	4,53E-05	34,44	1,271E-02	2,716E-03	3,519E-03	196,99	6,340E+01	1,089E-06
3	180	0,615	3,54E-05	48,73	1,084E-02	3,186E-03	3,711E-03	186,77	7,646E+01	9,031E-07
4	240	0,527	2,95E-05	57,34	9,767E-03	3,535E-03	3,549E-03	195,28	8,110E+01	8,515E-07
5	300	0,431	2,30E-05	66,73	1,002E-02	3,446E-03	3,669E-03	188,94	9,683E+01	7,132E-07
6	360	0,403	2,11E-05	69,47	9,099E-03	3,795E-03	3,296E-03	210,31	9,154E+01	7,544E-07
7	420	0,340	1,68E-05	75,64	9,772E-03	3,533E-03	3,362E-03	206,17	1,070E+02	6,451E-07
8	480	0,304	1,44E-05	79,16	9,996E-03	3,454E-03	3,267E-03	212,16	1,146E+02	6,026E-07
9	540	0,263	1,16E-05	83,17	1,100E-02	3,138E-03	3,300E-03	210,04	1,325E+02	5,211E-07
10	600	0,216	8,45E-06	87,77	1,363E-02	2,534E-03	3,502E-03	197,93	1,732E+02	3,987E-07
11	660	0,211	8,11E-06	88,26	1,290E-02	2,676E-03	3,245E-03	213,57	1,649E+02	4,187E-07
12	720	0,174	5,61E-06	91,88	1,710E-02	2,019E-03	3,487E-03	198,78	2,275E+02	3,035E-07
13	780	0,168	5,20E-06	92,47	1,702E-02	2,029E-03	3,315E-03	209,09	2,279E+02	3,031E-07
14	840	0,142	3,45E-06	95,01	2,386E-02	1,447E-03	3,569E-03	194,23	3,282E+02	2,104E-07
15	900	0,136	3,04E-06	95,60	2,523E-02	1,368E-03	3,470E-03	199,76	3,493E+02	1,977E-07
16	960	0,122	2,09E-06	96,97	3,434E-02	1,005E-03	3,641E-03	190,36	4,822E+02	1,432E-07
17	1020	0,119	1,89E-06	97,26	3,578E-02	9,649E-04	3,527E-03	196,54	5,040E+02	1,370E-07
18	1080	0,113	1,49E-06	97,85	4,301E-02	8,027E-04	3,554E-03	195,03	6,095E+02	1,133E-07
19	1140	0,108	1,15E-06	98,34	5,273E-02	6,547E-04	3,593E-03	192,90	7,510E+02	9,195E-08
20	1200	0,106	1,01E-06	98,53	5,678E-02	6,081E-04	3,518E-03	197,03	8,102E+02	8,524E-08
25	1500	0,097	4,05E-07	99,41	1,136E-01	3,041E-04	3,425E-03	202,37	1,635E+03	4,224E-08
30	1800	0,093	1,35E-07	99,80	2,839E-01	1,216E-04	3,465E-03	200,06	4,103E+03	1,683E-08
Průměrná hodnota					3,790E-02	2,046E-03	3,482E-03	199,38	5,085E+02	4,421E-07
Směrodatná odchylka					6,002E-02	1,205E-03	1,344E-04	7,80	8,828E+02	3,538E-07

Tabulka P 11 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z odbourávání Acid Blue 80 pomocí Fentonovy reakce při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 3$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 2,72$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 6,86 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku a katalyzujícího Fe^{2+} ionu bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80: FeSO_4 : $\text{H}_2\text{O}_2=0,9:1:300$.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm^{-3})	D (%)	k_0 ($\text{mol dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{0\frac{1}{2}}$ (s)	k_1 (s^{-1})	$t_{1\frac{1}{2}}$ (s)	k_2 ($\text{mol}^{-1}\text{dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{2\frac{1}{2}}$ (s)
0	0	1,106	6,86E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	0,714	4,21E-05	38,62	5,431E-03	6,314E-03	1,627E-03	426,02	3,058E+01	2,242E-06
10	600	0,486	2,67E-05	61,08	4,283E-03	8,007E-03	1,573E-03	440,67	3,815E+01	1,798E-06
15	900	0,352	1,76E-05	74,33	4,328E-03	7,923E-03	1,511E-03	458,79	4,691E+01	1,462E-06
20	1200	0,247	1,05E-05	84,63	5,422E-03	6,324E-03	1,561E-03	444,14	6,691E+01	1,025E-06
25	1500	0,203	7,58E-06	88,95	6,034E-03	5,683E-03	1,469E-03	471,98	7,826E+01	8,763E-07
30	1800	0,147	3,80E-06	94,47	1,004E-02	3,416E-03	1,608E-03	431,08	1,383E+02	4,959E-07
35	2100	0,124	2,23E-06	96,75	1,465E-02	2,341E-03	1,631E-03	424,85	2,066E+02	3,319E-07
40	2400	0,113	1,49E-06	97,83	1,922E-02	1,784E-03	1,597E-03	434,17	2,742E+02	2,501E-07
45	2700	0,106	1,01E-06	98,52	2,506E-02	1,368E-03	1,561E-03	444,05	3,600E+02	1,905E-07
50	3000	0,102	7,43E-07	98,92	3,076E-02	1,115E-03	1,508E-03	459,57	4,436E+02	1,546E-07
55	3300	0,098	4,73E-07	99,31	4,394E-02	7,804E-04	1,508E-03	459,62	6,363E+02	1,078E-07
60	3600	0,096	3,38E-07	99,51	5,639E-02	6,081E-04	1,476E-03	469,65	8,182E+02	8,382E-08
65	3900	0,094	2,03E-07	99,70	8,675E-02	3,953E-04	1,493E-03	464,16	1,261E+03	5,438E-08
70	4200	0,094	2,03E-07	99,70	8,056E-02	4,257E-04	1,387E-03	499,86	1,171E+03	5,856E-08
75	4500	0,092	6,76E-08	99,90	2,256E-01	1,520E-04	1,538E-03	450,57	3,286E+03	2,087E-08
80	4800	0,092	6,76E-08	99,90	2,115E-01	1,622E-04	1,442E-03	480,61	3,080E+03	2,226E-08
85	5100	0,092	3,38E-08	99,95	3,980E-01	8,615E-05	1,493E-03	464,17	5,801E+03	1,182E-08
90	5400	0,091	2,70E-08	99,96	4,699E-01	7,297E-05	1,452E-03	477,49	6,849E+03	1,001E-08
Průměrná hodnota					9,432E-02	2,609E-03	1,524E-03	455,64	1,366E+03	5,109E-07
Směrodatná odchylka					1,406E-01	2,884E-03	6,795E-05	20,45	2,055E+03	6,870E-07

Tabulka P 12 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z odbourávání Acid Blue 80 pomocí Fentonovy reakce při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 3$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 2,73$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 1,02 \cdot 10^{-4}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku a katalyzujícího Fe^{2+} ionu bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80: FeSO_4 : $\text{H}_2\text{O}_2 = 1:1,1:0$. Jedná se o reakci s peroxidem vodíku bez katalýzy železa.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0	0	1,601	1,02E-04	0,00	-	-	-	-	-	-
30	1800	1,454	9,21E-05	9,74	6,155E-04	8,289E-02	5,690E-05	12182	5,873E-01	1,737E-04
60	3600	1,327	8,35E-05	18,15	3,394E-04	1,503E-01	5,562E-05	12462	6,036E-01	1,690E-04
90	5400	1,200	7,49E-05	26,56	2,521E-04	2,023E-01	5,716E-05	12127	6,563E-01	1,555E-04
120	7200	1,085	6,72E-05	34,17	2,110E-04	2,418E-01	5,807E-05	11936	7,067E-01	1,444E-04
150	9000	0,984	6,03E-05	40,86	1,879E-04	2,715E-01	5,836E-05	11876	7,524E-01	1,356E-04
180	1080	0,898	5,45E-05	46,56	1,733E-04	2,944E-01	5,801E-05	11948	7,906E-01	1,291E-04
210	1260	0,824	4,95E-05	51,46	1,635E-04	3,120E-01	5,736E-05	12084	8,246E-01	1,237E-04
240	1440	0,762	4,53E-05	55,56	1,563E-04	3,264E-01	5,633E-05	12306	8,511E-01	1,199E-04
270	1620	0,708	4,17E-05	59,14	1,511E-04	3,377E-01	5,525E-05	12546	8,757E-01	1,165E-04
300	1800	0,651	3,78E-05	62,91	1,498E-04	3,405E-01	5,511E-05	12578	9,237E-01	1,105E-04
330	1980	0,601	3,45E-05	66,23	1,495E-04	3,411E-01	5,482E-05	12644	9,706E-01	1,051E-04
360	2160	0,551	3,11E-05	69,54	1,520E-04	3,357E-01	5,503E-05	12596	1,036E+00	9,850E-05
390	2340	0,493	2,72E-05	73,38	1,605E-04	3,178E-01	5,656E-05	12256	1,154E+00	8,838E-05
420	2520	0,457	2,47E-05	75,76	1,637E-04	3,116E-01	5,624E-05	12325	1,216E+00	8,392E-05
450	2700	0,424	2,25E-05	77,95	1,679E-04	3,038E-01	5,599E-05	12380	1,283E+00	7,952E-05
480	2880	0,394	2,05E-05	79,93	1,730E-04	2,948E-01	5,577E-05	12429	1,356E+00	7,526E-05
510	3060	0,373	1,91E-05	81,32	1,750E-04	2,915E-01	5,484E-05	12641	1,395E+00	7,315E-05
540	3240	0,342	1,70E-05	83,38	1,857E-04	2,747E-01	5,538E-05	12516	1,517E+00	6,724E-05
570	3420	0,308	1,47E-05	85,63	2,035E-04	2,507E-01	5,672E-05	12220	1,708E+00	5,975E-05
600	3600	0,281	1,28E-05	87,42	2,208E-04	2,311E-01	5,758E-05	12038	1,891E+00	5,394E-05
660	3960	0,254	1,10E-05	89,21	2,339E-04	2,181E-01	5,622E-05	12330	2,045E+00	4,988E-05
720	4320	0,227	9,19E-06	90,99	2,570E-04	1,985E-01	5,572E-05	12439	2,292E+00	4,451E-05
780	4680	0,202	7,50E-06	92,65	2,907E-04	1,755E-01	5,578E-05	12427	2,640E+00	3,865E-05
840	5040	0,186	6,42E-06	93,71	3,154E-04	1,618E-01	5,488E-05	12630	2,897E+00	3,522E-05
900	5400	0,159	4,59E-06	95,50	4,112E-04	1,241E-01	5,741E-05	12073	3,849E+00	2,651E-05
960	5760	0,146	3,72E-06	96,36	4,766E-04	1,070E-01	5,751E-05	12053	4,502E+00	2,266E-05
1020	6120	0,133	2,84E-06	97,22	5,875E-04	8,684E-02	5,853E-05	11842	5,598E+00	1,823E-05
1080	6480	0,128	2,50E-06	97,55	6,298E-04	8,100E-02	5,724E-05	12110	6,022E+00	1,694E-05
1140	6840	0,120	1,96E-06	98,08	7,612E-04	6,701E-02	5,779E-05	11995	7,318E+00	1,394E-05
1200	7200	0,114	1,55E-06	98,48	9,118E-04	5,595E-02	5,812E-05	11927	8,801E+00	1,159E-05
Průměrná hodnota					3,009E-04	3,958E-01	5,654E-05	12263	2,235E+00	8,136E-05
Směrodatná odchylka					2,011E-04	9,356E-02	1,148E-06	249	2,109E+00	4,796E-05

13. 3 Experimentální data získaná při odbarvování modelové odpadní vody s AB 80 pomocí UV záření

Tabulka P 13 *Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasů pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 3$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 2,72$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 5,89 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$.*

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0	0	0,963	5,892E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	0,865	5,230E-05	11,83	2,634E-08	1262	4,195E-04	1652	6,690E+00	2237
10	600	0,762	4,534E-05	21,74	2,420E-08	1374	4,084E-04	1697	6,926E+00	2161
15	900	0,688	4,034E-05	32,15	2,387E-08	1393	4,310E-04	1608	7,879E+00	1899
20	1200	0,612	3,520E-05	39,63	2,207E-08	1506	4,206E-04	1648	8,188E+00	1828
25	1500	0,538	3,020E-05	47,32	2,108E-08	1577	4,273E-04	1622	8,961E+00	1670
30	1800	0,470	2,561E-05	54,80	2,034E-08	1634	4,412E-04	1571	1,008E+01	1485
35	2100	0,410	2,155E-05	61,68	1,962E-08	1694	4,567E-04	1518	1,147E+01	1305
40	2400	0,358	1,804E-05	67,74	1,886E-08	1763	4,714E-04	1470	1,310E+01	1143
45	2700	0,318	1,534E-05	73,00	1,807E-08	1840	4,850E-04	1429	1,499E+01	999
50	3000	0,288	1,331E-05	77,05	1,716E-08	1937	4,906E-04	1413	1,674E+01	894
55	3300	0,249	1,068E-05	80,08	1,621E-08	2050	4,889E-04	1418	1,823E+01	821
60	3600	0,225	9,054E-06	84,02	1,560E-08	2132	5,095E-04	1361	2,186E+01	685
65	3900	0,206	7,770E-06	86,45	1,481E-08	2244	5,125E-04	1352	2,448E+01	611
70	4200	0,198	7,230E-06	88,37	1,406E-08	2365	5,123E-04	1353	2,708E+01	553
75	4500	0,183	6,216E-06	89,18	1,324E-08	2511	4,942E-04	1403	2,741E+01	546
80	4800	0,170	5,338E-06	90,70	1,263E-08	2633	4,948E-04	1401	3,040E+01	492
85	5100	0,158	4,527E-06	92,01	1,206E-08	2758	4,955E-04	1399	3,380E+01	443
90	5400	0,133	2,838E-06	93,23	1,154E-08	2882	4,985E-04	1390	3,814E+01	392
100	6000	0,123	2,162E-06	95,75	1,066E-08	3118	5,265E-04	1317	5,624E+01	266
110	6600	0,112	1,419E-06	96,76	9,797E-09	3394	5,198E-04	1333	6,781E+01	221
120	7200	0,106	1,014E-06	97,88	9,083E-09	3660	5,350E-04	1296	9,581E+01	156
130	7800	0,101	6,757E-07	98,48	8,437E-09	3941	5,370E-04	1291	1,246E+02	120
140	8400	0,097	4,054E-07	98,99	7,874E-09	4222	5,469E-04	1267	1,744E+02	86
150	9000	0,096	3,378E-07	99,39	7,379E-09	4505	5,672E-04	1222	2,724E+02	55
160	9600	0,095	2,703E-07	99,49	6,925E-09	4801	5,507E-04	1259	3,068E+02	49
170	10200	0,094	2,027E-07	99,60	6,524E-09	5095	5,402E-04	1283	3,613E+02	41
180	10800	0,093	1,351E-07	99,70	6,168E-09	5390	5,369E-04	1291	4,554E+02	33
190	11400	0,093	1,351E-07	99,80	5,850E-09	5683	5,442E-04	1274	6,478E+02	23
200	12000	0,092	6,757E-08	99,80	5,557E-09	5982	5,170E-04	1341	6,154E+02	24
210	12600	0,092	6,757E-08	99,90	5,298E-09	6275	5,474E-04	1266	1,173E+03	13
220	13200	0,092	6,757E-08	99,90	5,057E-09	6574	5,225E-04	1327	1,120E+03	13
230	13800	0,091	3,311E-08	99,90	4,837E-09	6873	4,998E-04	1387	1,071E+03	14
240	14400	0,091	3,311E-08	99,95	4,638E-09	7168	5,285E-04	1312	2,096E+03	7
Průměrná hodnota					1,290E-08	2576	4,993E-04	1388	2,717E+02	55

Směrodatná odchylka			6,442E-09	1812	4,266E-05	128	4,643E+02	687		
Tabulka P 14 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 4$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 3,79$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 5,63 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$.										
čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0	0	0,925	5,635E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	0,87	5,264E-05	6,59	1,238E-08	2275	2,273E-04	3049	4,175E+00	4251
10	600	0,819	4,919E-05	12,71	1,193E-08	2361	2,265E-04	3060	4,306E+00	4122
15	900	0,768	4,574E-05	18,82	1,179E-08	2391	2,317E-04	2991	4,572E+00	3881
20	1200	0,726	4,291E-05	23,86	1,120E-08	2515	2,272E-04	3051	4,634E+00	3830
25	1500	0,685	4,014E-05	28,78	1,081E-08	2606	2,262E-04	3064	4,780E+00	3713
30	1800	0,648	3,764E-05	33,21	1,040E-08	2710	2,242E-04	3091	4,903E+00	3620
35	2100	0,615	3,541E-05	37,17	9,974E-09	2825	2,213E-04	3132	4,999E+00	3550
40	2400	0,586	3,345E-05	40,65	9,543E-09	2952	2,174E-04	3189	5,064E+00	3505
45	2700	0,543	3,054E-05	45,80	9,559E-09	2947	2,269E-04	3055	5,554E+00	3195
50	3000	0,527	2,946E-05	47,72	8,964E-09	3143	2,162E-04	3206	5,400E+00	3287
55	3300	0,506	2,804E-05	50,24	8,579E-09	3284	2,115E-04	3277	5,429E+00	3269
60	3600	0,477	2,608E-05	53,72	8,408E-09	3351	2,140E-04	3239	5,721E+00	3102
70	4200	0,435	2,324E-05	58,75	7,883E-09	3574	2,108E-04	3287	6,018E+00	2949
80	4800	0,389	2,014E-05	64,27	7,545E-09	3734	2,144E-04	3233	6,650E+00	2669
90	5400	0,343	1,703E-05	69,78	7,282E-09	3869	2,216E-04	3128	7,590E+00	2338
100	6000	0,313	1,500E-05	73,38	6,892E-09	4088	2,206E-04	3142	8,153E+00	2177
110	6600	0,281	1,284E-05	77,22	6,593E-09	4274	2,241E-04	3093	9,113E+00	1947
120	7200	0,252	1,088E-05	80,69	6,316E-09	4461	2,284E-04	3034	1,030E+01	1722
150	9000	0,195	7,027E-06	87,53	5,480E-09	5141	2,313E-04	2997	1,384E+01	1282
180	10800	0,164	4,932E-06	91,25	4,761E-09	5918	2,255E-04	3073	1,713E+01	1036
210	12600	0,146	3,716E-06	93,41	4,177E-09	6745	2,158E-04	3212	1,995E+01	890
240	14400	0,129	2,568E-06	95,44	3,735E-09	7544	2,145E-04	3232	2,581E+01	687
270	16200	0,117	1,757E-06	96,88	3,370E-09	8361	2,141E-04	3238	3,404E+01	521
300	18000	0,106	1,014E-06	98,20	3,074E-09	9165	2,232E-04	3105	5,383E+01	330
360	21600	0,098	4,730E-07	99,16	2,587E-09	1089	2,213E-04	3132	9,706E+01	183
420	25200	0,094	2,027E-07	99,64	2,228E-09	1264	2,233E-04	3104	1,951E+02	91
Průměrná hodnota					7,518E-09	4760	2,215E-04	3131	2,170E+01	2390
Směrodatná odchylka					3,049E-09	2759	5,985E-06	85	3,997E+01	1338

Tabulka P 15 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasů pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 5$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 4,82$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 5,81 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0	0	0,952	5,818E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	0,908	5,520E-05	5,11	9,924E-09	2931	1,751E-04	3959	3,090E+00	5562
10	600	0,861	5,203E-05	10,57	1,025E-08	2837	1,863E-04	3721	3,388E+00	5073
15	900	0,809	4,851E-05	16,61	1,074E-08	2708	2,019E-04	3433	3,805E+00	4517
20	1200	0,765	4,554E-05	21,72	1,053E-08	2762	2,041E-04	3396	3,975E+00	4324
25	1500	0,727	4,297E-05	26,14	1,014E-08	2869	2,020E-04	3432	4,055E+00	4239
30	1800	0,695	4,081E-05	29,85	9,650E-09	3015	1,970E-04	3519	4,064E+00	4229
35	2100	0,665	3,878E-05	33,34	9,236E-09	3150	1,931E-04	3589	4,093E+00	4199
40	2400	0,637	3,689E-05	36,59	8,870E-09	3280	1,898E-04	3652	4,133E+00	4159
45	2700	0,611	3,514E-05	39,61	8,535E-09	3408	1,868E-04	3711	4,175E+00	4117
50	3000	0,588	3,358E-05	42,28	8,200E-09	3548	1,832E-04	3784	4,197E+00	4095
55	3300	0,567	3,216E-05	44,72	7,884E-09	3690	1,796E-04	3859	4,213E+00	4079
60	3600	0,547	3,081E-05	47,04	7,603E-09	3826	1,766E-04	3925	4,241E+00	4053
70	4200	0,512	2,845E-05	51,11	7,080E-09	4109	1,704E-04	4069	4,278E+00	4018
80	4800	0,484	2,655E-05	54,36	6,589E-09	4415	1,634E-04	4242	4,265E+00	4030
90	5400	0,459	2,486E-05	57,26	6,169E-09	4715	1,574E-04	4403	4,265E+00	4030
100	6000	0,424	2,250E-05	61,33	5,947E-09	4892	1,583E-04	4378	4,543E+00	3784
110	6600	0,384	1,980E-05	65,97	5,816E-09	5002	1,633E-04	4244	5,049E+00	3404
120	7200	0,351	1,757E-05	69,80	5,641E-09	5157	1,663E-04	4168	5,519E+00	3114
150	9000	0,271	1,216E-05	79,09	5,113E-09	5689	1,739E-04	3986	7,226E+00	2379
180	10800	0,216	8,446E-06	85,12	4,073E-09	6437	1,691E-04	4100	9,197E+00	2074
210	12600	0,177	5,811E-06	89,76	3,700E-09	7085	1,746E-04	3970	1,214E+01	1571
240	14400	0,151	4,054E-06	92,86	3,359E-09	7803	1,778E-04	3899	1,581E+01	1207
270	16200	0,137	3,108E-06	94,52	3,045E-09	8610	1,744E-04	3974	1,868E+01	1021
300	18000	0,124	2,230E-06	96,07	2,789E-09	9400	1,754E-04	3951	2,386E+01	800
360	21600	0,110	1,284E-06	97,74	2,368E-09	1107	1,717E-04	4036	3,518E+01	542
420	25200	0,101	6,757E-07	98,81	2,054E-09	1276	1,727E-04	4014	5,797E+01	329
480	28800	0,096	3,378E-07	99,40	1,809E-09	1449	1,752E-04	3957	1,021E+02	187
540	32400	0,094	2,027E-07	99,64	1,612E-09	1626	1,715E-04	4042	1,517E+02	126
600	36000	0,093	1,351E-07	99,76	1,453E-09	1804	1,656E-04	4186	2,050E+02	93
660	39600	0,092	6,757E-08	99,88	1,322E-09	1982	1,680E-04	4125	3,733E+02	51
720	43200	0,091	2,027E-08	99,96	1,213E-09	2160	1,819E-04	3811	1,142E+03	17
Průměrná hodnota					5,894E-09	7271	1,776E-04	3920	7,190E+0	2756
Směrodatná odchylka					3,169E-09	5419	1,229E-05	263	2,098E+0	1780

Tabulka P 16 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 6$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 5,84$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 5,25 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0	0	0,867	5,243E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	0,837	5,041E-05	11,19	6,749E-09	3884	1,313E-04	5280	2,554E+00	7469
10	600	0,803	4,811E-05	15,24	7,203E-09	3639	1,434E-04	4834	2,856E+00	6679
15	900	0,78	4,655E-05	17,98	6,529E-09	4015	1,321E-04	5248	2,675E+00	7131
20	1200	0,753	4,473E-05	21,19	6,417E-09	4085	1,324E-04	5237	2,736E+00	6971
25	1500	0,724	4,277E-05	24,65	6,440E-09	4071	1,358E-04	5106	2,872E+00	6642
30	1800	0,695	4,081E-05	28,10	6,455E-09	4061	1,392E-04	4980	3,017E+00	6322
35	2100	0,667	3,892E-05	31,43	6,434E-09	4075	1,419E-04	4885	3,153E+00	6049
40	2400	0,639	3,703E-05	34,76	6,418E-09	4085	1,449E-04	4783	3,306E+00	5769
45	2700	0,616	3,547E-05	37,50	6,280E-09	4174	1,447E-04	4790	3,377E+00	5648
50	3000	0,594	3,399E-05	40,12	6,148E-09	4264	1,445E-04	4797	3,450E+00	5528
55	3300	0,574	3,264E-05	42,50	5,998E-09	4370	1,437E-04	4825	3,506E+00	5441
60	3600	0,556	3,142E-05	44,65	5,836E-09	4492	1,422E-04	4873	3,543E+00	5383
70	4200	0,523	2,919E-05	48,57	5,534E-09	4737	1,394E-04	4971	3,616E+00	5275
80	4800	0,485	2,662E-05	53,10	5,377E-09	4876	1,412E-04	4909	3,852E+00	4951
90	5400	0,455	2,459E-05	56,67	5,155E-09	5086	1,402E-04	4945	3,997E+00	4771
100	6000	0,433	2,311E-05	59,29	4,887E-09	5364	1,365E-04	5076	4,034E+00	4729
110	6600	0,405	2,122E-05	62,62	4,729E-09	5543	1,371E-04	5057	4,252E+00	4486
120	7200	0,371	1,892E-05	66,67	4,654E-09	5632	1,416E-04	4896	4,692E+00	4065
130	7800	0,351	1,757E-05	69,05	4,470E-09	5865	1,402E-04	4945	4,853E+00	3931
140	8400	0,331	1,622E-05	71,43	4,311E-09	6081	1,397E-04	4962	5,071E+00	3761
150	9000	0,314	1,507E-05	73,45	4,151E-09	6315	1,385E-04	5003	5,255E+00	3630
160	9600	0,289	1,338E-05	76,43	4,068E-09	6444	1,423E-04	4872	5,799E+00	3289
180	10800	0,263	1,162E-05	79,52	3,779E-09	6938	1,395E-04	4969	6,201E+00	3076
210	12600	0,227	9,189E-06	83,81	3,432E-09	7639	1,382E-04	5015	7,123E+00	2678
240	14400	0,201	7,432E-06	86,91	3,125E-09	8389	1,357E-04	5109	8,019E+00	2379
270	16200	0,171	5,405E-06	90,48	2,903E-09	9031	1,403E-04	4942	1,024E+01	1862
300	18000	0,156	4,392E-06	92,26	2,669E-09	9823	1,378E-04	5031	1,159E+01	1646
360	21600	0,127	2,432E-06	95,71	2,315E-09	1132	1,422E-04	4876	1,815E+01	1051
420	25200	0,114	1,554E-06	97,26	2,019E-09	1298	1,396E-04	4964	2,478E+01	770
480	28800	0,105	9,459E-07	98,33	1,788E-09	1466	1,394E-04	4972	3,604E+01	529
540	32400	0,099	5,405E-07	99,05	1,602E-09	1636	1,412E-04	4909	5,651E+01	338
600	36000	0,096	3,378E-07	99,40	1,447E-09	1811	1,401E-04	4946	8,169E+01	233
660	39600	0,094	2,027E-07	99,64	1,319E-09	1987	1,403E-04	4941	1,241E+02	154
720	43200	0,093	1,351E-07	99,76	1,211E-09	2165	1,380E-04	5023	1,709E+02	112
Průměrná hodnota					4,466E-09	1357	1,396E-04	4970	1,876E+01	3904
Směrodatná odchylka					1,833E-09	4932	3,342E-06	121	3,656E+01	2268

Tabulka P 17 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 7$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 6,75$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 5,67 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0	0	0,931	5,676E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	0,896	5,439E-05	4,17	7,894E-09	3595	1,421E-04	4879	2,557E+00	6891
10	600	0,862	5,209E-05	8,22	7,776E-09	3650	1,430E-04	4849	2,630E+00	6700
15	900	0,826	4,966E-05	12,50	7,886E-09	3599	1,484E-04	4670	2,798E+00	6297
20	1200	0,803	4,811E-05	15,24	7,210E-09	3936	1,378E-04	5029	2,640E+00	6672
25	1500	0,772	4,601E-05	18,93	7,164E-09	3961	1,399E-04	4953	2,743E+00	6423
30	1800	0,748	4,439E-05	21,79	6,871E-09	4130	1,365E-04	5076	2,727E+00	6461
35	2100	0,717	4,230E-05	25,48	6,887E-09	4121	1,401E-04	4949	2,869E+00	6142
40	2400	0,688	4,034E-05	28,93	6,843E-09	4148	1,423E-04	4871	2,989E+00	5895
45	2700	0,667	3,892E-05	31,43	6,608E-09	4295	1,398E-04	4960	2,991E+00	5890
50	3000	0,64	3,709E-05	34,65	6,555E-09	4329	1,418E-04	4889	3,113E+00	5659
55	3300	0,624	3,601E-05	36,55	6,287E-09	4514	1,379E-04	5028	3,076E+00	5728
60	3600	0,596	3,412E-05	39,88	6,288E-09	4513	1,414E-04	4903	3,247E+00	5426
70	4200	0,552	3,115E-05	45,12	6,098E-09	4654	1,429E-04	4852	3,449E+00	5108
80	4800	0,526	2,939E-05	48,22	5,702E-09	4977	1,371E-04	5056	3,418E+00	5155
90	5400	0,491	2,703E-05	52,38	5,506E-09	5154	1,374E-04	5045	3,589E+00	4909
100	6000	0,464	2,520E-05	55,60	5,260E-09	5396	1,353E-04	5123	3,677E+00	4792
110	6600	0,451	2,432E-05	57,14	4,914E-09	5775	1,284E-04	5399	3,560E+00	4950
120	7200	0,428	2,277E-05	59,88	4,721E-09	6012	1,269E-04	5464	3,653E+00	4823
150	9000	0,357	1,797E-05	68,33	4,310E-09	6585	1,278E-04	5425	4,225E+00	4170
180	10800	0,303	1,432E-05	74,76	3,929E-09	7223	1,275E-04	5437	4,833E+00	3646
240	14400	0,218	8,581E-06	84,88	3,346E-09	8482	1,312E-04	5283	6,869E+00	2565
300	18000	0,18	6,014E-06	89,41	2,819E-09	10067	1,247E-04	5558	8,260E+00	2133
360	21600	0,145	3,649E-06	93,57	2,459E-09	11542	1,271E-04	5455	1,187E+01	1484
420	25200	0,119	1,892E-06	96,67	2,177E-09	13034	1,350E-04	5136	2,028E+01	869
480	28800	0,11	1,284E-06	97,74	1,926E-09	14733	1,316E-04	5269	2,644E+01	666
540	32400	0,102	7,432E-07	98,69	1,729E-09	16415	1,338E-04	5180	4,098E+01	430
600	36000	0,098	4,730E-07	99,17	1,564E-09	18151	1,330E-04	5212	5,824E+01	303
Průměrná hodnota					5,212E-09	6926	1,359E-04	5109	8,804E+00	4451
Směrodatná odchylka					2,011E-09	4146	6,062E-06	230	1,300E+01	2099

Tabulka P 18 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 8$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 7,76$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 6,2 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0	0	1,01	6,209E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	0,974	5,966E-05	3,91	8,093E-09	3836	1,330E-04	5213	2,185E+00	7372
10	600	0,939	5,730E-05	7,72	7,988E-09	3887	1,339E-04	5177	2,245E+00	7173
15	900	0,898	5,453E-05	12,18	8,403E-09	3694	1,443E-04	4803	2,482E+00	6489
20	1200	0,857	5,176E-05	16,65	8,611E-09	3605	1,517E-04	4569	2,680E+00	6011
25	1500	0,833	5,014E-05	19,26	7,970E-09	3895	1,426E-04	4862	2,560E+00	6291
30	1800	0,791	4,730E-05	23,83	8,218E-09	3778	1,512E-04	4585	2,798E+00	5755
35	2100	0,761	4,527E-05	27,09	8,009E-09	3876	1,504E-04	4607	2,849E+00	5652
40	2400	0,734	4,345E-05	30,03	7,768E-09	3996	1,488E-04	4659	2,880E+00	5593
45	2700	0,698	4,101E-05	33,95	7,806E-09	3977	1,536E-04	4513	3,065E+00	5254
50	3000	0,674	3,939E-05	36,56	7,566E-09	4103	1,517E-04	4570	3,093E+00	5206
55	3300	0,662	3,858E-05	37,86	7,124E-09	4358	1,442E-04	4807	2,974E+00	5416
60	3600	0,621	3,581E-05	42,33	7,300E-09	4253	1,529E-04	4534	3,283E+00	4906
70	4200	0,573	3,257E-05	47,55	7,029E-09	4417	1,536E-04	4512	3,476E+00	4633
80	4800	0,541	3,041E-05	51,03	6,601E-09	4703	1,487E-04	4660	3,497E+00	4606
90	5400	0,513	2,851E-05	54,08	6,218E-09	4993	1,441E-04	4810	3,512E+00	4586
100	6000	0,49	2,696E-05	56,58	5,855E-09	5302	1,390E-04	4985	3,498E+00	4604
110	6600	0,47	2,561E-05	58,76	5,528E-09	5616	1,342E-04	5165	3,476E+00	4633
120	7200	0,453	2,446E-05	60,61	5,226E-09	5940	1,294E-04	5357	3,441E+00	4680
130	7800	0,434	2,318E-05	62,68	4,989E-09	6223	1,263E-04	5486	3,467E+00	4645
150	9000	0,409	2,149E-05	65,40	4,512E-09	6881	1,179E-04	5879	3,382E+00	4763
180	10800	0,301	1,419E-05	77,15	4,435E-09	7000	1,367E-04	5071	5,034E+00	3199
240	14400	0,245	1,041E-05	83,24	3,589E-09	8650	1,240E-04	5588	5,555E+00	2899
300	18000	0,182	6,149E-06	90,10	3,108E-09	9989	1,285E-04	5396	8,141E+00	1978
360	21600	0,144	3,581E-06	94,23	2,709E-09	1146	1,321E-04	5248	1,218E+01	1322
420	25200	0,127	2,432E-06	96,08	2,367E-09	1311	1,286E-04	5392	1,567E+01	1027
480	28800	0,113	1,486E-06	97,61	2,104E-09	1475	1,296E-04	5349	2,280E+01	706
540	32400	0,107	1,081E-06	98,26	1,883E-09	1648	1,250E-04	5544	2,805E+01	574
600	36000	0,102	7,432E-07	98,80	1,704E-09	1821	1,229E-04	5639	3,693E+01	436
Průměrná hodnota					5,811E-09	6822	1,385E-04	5035	6,972E+00	4300
Směrodatná odchylka					2,247E-09	4138	1,089E-05	401	8,483E+00	1975

Tabulka P 19 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasů pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 9$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 8,79$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 5,45 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0	0	0,898	5,453E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	0,866	5,236E-05	3,97	7,217E-09	3792	1,351E-04	5133	2,527E+00	7256
10	600	0,839	5,054E-05	7,31	6,649E-09	4116	1,266E-04	5474	2,413E+00	7601
15	900	0,808	4,845E-05	11,16	6,760E-09	4048	1,314E-04	5273	2,559E+00	7166
20	1200	0,778	4,642E-05	14,87	6,759E-09	4049	1,342E-04	5165	2,670E+00	6867
25	1500	0,745	4,419E-05	18,96	6,894E-09	3969	1,402E-04	4945	2,861E+00	6410
30	1800	0,722	4,264E-05	21,81	6,608E-09	4141	1,367E-04	5070	2,842E+00	6452
35	2100	0,693	4,068E-05	25,41	6,597E-09	4148	1,396E-04	4966	2,974E+00	6166
40	2400	0,677	3,959E-05	27,39	6,223E-09	4397	1,334E-04	5198	2,882E+00	6363
45	2700	0,653	3,797E-05	30,36	6,132E-09	4462	1,340E-04	5172	2,961E+00	6192
50	3000	0,631	3,649E-05	33,09	6,015E-09	4550	1,339E-04	5175	3,023E+00	6066
55	3300	0,611	3,514E-05	35,57	5,877E-09	4656	1,332E-04	5204	3,068E+00	5978
60	3600	0,582	3,318E-05	39,16	5,932E-09	4613	1,380E-04	5021	3,279E+00	5593
70	4200	0,549	3,095E-05	43,25	5,615E-09	4873	1,349E-04	5139	3,328E+00	5511
80	4800	0,496	2,736E-05	49,82	5,659E-09	4835	1,436E-04	4825	3,793E+00	4835
90	5400	0,473	2,581E-05	52,67	5,318E-09	5145	1,385E-04	5004	3,779E+00	4853
100	6000	0,457	2,473E-05	54,65	4,967E-09	5510	1,318E-04	5259	3,683E+00	4979
110	6600	0,431	2,297E-05	57,87	4,781E-09	5723	1,310E-04	5292	3,817E+00	4805
120	7200	0,418	2,209E-05	59,48	4,505E-09	6074	1,255E-04	5524	3,739E+00	4905
130	7800	0,407	2,135E-05	60,84	4,254E-09	6433	1,202E-04	5766	3,653E+00	5020
150	9000	0,331	1,622E-05	70,26	4,257E-09	6428	1,347E-04	5144	4,814E+00	3809
180	10800	0,304	1,439E-05	73,61	3,716E-09	7363	1,233E-04	5620	4,736E+00	3872
240	14400	0,223	8,919E-06	83,64	3,167E-09	8639	1,257E-04	5513	6,513E+00	2816
300	18000	0,162	4,797E-06	91,20	2,763E-09	9904	1,350E-04	5133	1,056E+01	1736
360	21600	0,139	3,243E-06	94,05	2,374E-09	1152	1,307E-04	5305	1,343E+01	1366
420	25200	0,127	2,432E-06	95,54	2,067E-09	1323	1,234E-04	5617	1,559E+01	1177
480	28800	0,109	1,216E-06	97,77	1,851E-09	1478	1,320E-04	5249	2,791E+01	657
540	32400	0,102	7,432E-07	98,64	1,660E-09	1648	1,326E-04	5228	4,096E+01	448
600	36000	0,097	4,054E-07	99,26	1,503E-09	1820	1,362E-04	5091	6,801E+01	270
Průměrná hodnota					4,862E-09	7004	1,327E-04	5232	9,013E+00	4613
Směrodatná odchylka					1,779E-09	4038	5,402E-06	218	1,417E+01	2198

Tabulka P 20 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 10$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 9,83$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 5,43 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0	0	0,896	5,439E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	0,858	5,182E-05	4,72	8,559E-09	3178	1,612E-04	4300	3,036E+00	6055
10	600	0,821	4,932E-05	9,32	8,446E-09	3220	1,630E-04	4253	3,148E+00	5840
15	900	0,781	4,662E-05	14,29	8,634E-09	3150	1,713E-04	4047	3,405E+00	5400
20	1200	0,748	4,439E-05	18,39	8,333E-09	3264	1,693E-04	4094	3,451E+00	5327
25	1500	0,723	4,270E-05	21,49	7,793E-09	3490	1,613E-04	4297	3,355E+00	5480
30	1800	0,687	4,027E-05	25,96	7,845E-09	3467	1,670E-04	4151	3,582E+00	5133
35	2100	0,647	3,757E-05	30,93	8,012E-09	3395	1,762E-04	3933	3,921E+00	4689
40	2400	0,622	3,588E-05	34,04	7,714E-09	3526	1,734E-04	3998	3,953E+00	4651
45	2700	0,598	3,426E-05	37,02	7,457E-09	3647	1,712E-04	4048	4,002E+00	4594
50	3000	0,578	3,291E-05	39,50	7,162E-09	3797	1,675E-04	4138	4,002E+00	4594
55	3300	0,559	3,162E-05	41,86	6,900E-09	3941	1,644E-04	4217	4,012E+00	4583
60	3600	0,543	3,054E-05	43,85	6,625E-09	4105	1,603E-04	4323	3,988E+00	4610
65	3900	0,518	2,885E-05	46,96	6,549E-09	4153	1,626E-04	4263	4,173E+00	4406
70	4200	0,485	2,662E-05	51,06	6,612E-09	4113	1,701E-04	4075	4,566E+00	4026
75	4500	0,464	2,520E-05	53,66	6,486E-09	4193	1,709E-04	4055	4,732E+00	3885
80	4800	0,444	2,385E-05	56,15	6,363E-09	4274	1,717E-04	4036	4,904E+00	3749
85	5100	0,426	2,264E-05	58,39	6,227E-09	4368	1,719E-04	4032	5,058E+00	3635
90	5400	0,398	2,074E-05	61,86	6,231E-09	4364	1,785E-04	3883	5,523E+00	3329
95	5700	0,392	2,034E-05	62,61	5,974E-09	4552	1,726E-04	4016	5,401E+00	3404
100	6000	0,377	1,932E-05	64,47	5,845E-09	4653	1,725E-04	4019	5,561E+00	3306
105	6300	0,362	1,831E-05	66,34	5,727E-09	4749	1,728E-04	4011	5,750E+00	3197
110	6600	0,358	1,804E-05	66,83	5,508E-09	4938	1,672E-04	4145	5,613E+00	3275
115	6900	0,355	1,784E-05	67,20	5,298E-09	5134	1,616E-04	4290	5,460E+00	3367
120	7200	0,352	1,764E-05	67,58	5,105E-09	5327	1,564E-04	4431	5,322E+00	3454
125	7500	0,34	1,682E-05	69,07	5,009E-09	5429	1,565E-04	4430	5,474E+00	3359
130	7800	0,328	1,601E-05	70,56	4,920E-09	5527	1,568E-04	4422	5,649E+00	3255
135	8100	0,316	1,520E-05	72,05	4,838E-09	5621	1,574E-04	4404	5,851E+00	3142
140	8400	0,305	1,446E-05	73,42	4,754E-09	5721	1,577E-04	4395	6,044E+00	3042
150	9000	0,273	1,230E-05	77,39	4,677E-09	5815	1,652E-04	4196	6,993E+00	2629
180	10800	0,231	9,459E-06	82,61	4,160E-09	6537	1,620E-04	4280	8,086E+00	2274
240	14400	0,171	5,405E-06	90,06	3,402E-09	7994	1,603E-04	4323	1,157E+01	1589
300	18000	0,134	2,905E-06	94,66	2,860E-09	9508	1,628E-04	4259	1,810E+01	1016
360	21600	0,117	1,757E-06	96,77	2,437E-09	1116	1,589E-04	4362	2,550E+01	721
420	25200	0,104	8,784E-07	98,39	2,124E-09	1280	1,637E-04	4234	4,445E+01	414
Průměrná hodnota					6,017E-09	5092	1,658E-04	4181	7,166E+00	3689
Směrodatná odchylka					1,719E-09	2195	6,116E-06	152	7,810E+00	1363

Tabulka P 21 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 11$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 10,82$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 5,89 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0½} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1½} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2½} (s)
0	0	0,901	5,473E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	0,855	5,162E-05	5,68	1,036E-08	2641	1,949E-04	3556	3,667E+00	4982
10	600	0,813	4,878E-05	10,86	9,910E-09	2761	1,917E-04	3616	3,712E+00	4923
15	900	0,778	4,642E-05	15,19	9,235E-09	2963	1,830E-04	3788	3,635E+00	5027
20	1200	0,739	4,378E-05	20,00	9,122E-09	3000	1,860E-04	3727	3,807E+00	4800
25	1500	0,707	4,162E-05	23,95	8,739E-09	3131	1,825E-04	3797	3,836E+00	4763
30	1800	0,67	3,912E-05	28,52	8,671E-09	3156	1,865E-04	3716	4,050E+00	4512
35	2100	0,638	3,696E-05	32,47	8,462E-09	3234	1,869E-04	3708	4,183E+00	4368
40	2400	0,609	3,500E-05	36,05	8,221E-09	3329	1,863E-04	3721	4,292E+00	4257
45	2700	0,582	3,318E-05	39,38	7,983E-09	3428	1,854E-04	3739	4,397E+00	4156
50	3000	0,558	3,155E-05	42,35	7,725E-09	3542	1,836E-04	3776	4,473E+00	4085
55	3300	0,534	2,993E-05	45,31	7,514E-09	3642	1,829E-04	3790	4,587E+00	3983
60	3600	0,511	2,838E-05	48,15	7,320E-09	3738	1,824E-04	3799	4,713E+00	3877
70	4200	0,465	2,527E-05	53,83	7,014E-09	3901	1,840E-04	3767	5,072E+00	3603
80	4800	0,426	2,264E-05	58,64	6,686E-09	4093	1,839E-04	3768	5,397E+00	3385
90	5400	0,394	2,047E-05	62,59	6,344E-09	4314	1,821E-04	3807	5,662E+00	3227
100	6000	0,357	1,797E-05	67,16	6,126E-09	4467	1,856E-04	3735	6,228E+00	2934
110	6600	0,327	1,595E-05	70,86	5,876E-09	4657	1,868E-04	3710	6,733E+00	2714
120	7200	0,311	1,486E-05	72,84	5,537E-09	4942	1,810E-04	3829	6,806E+00	2685
130	7800	0,298	1,399E-05	74,44	5,224E-09	5239	1,749E-04	3963	6,824E+00	2678
150	9000	0,247	1,054E-05	80,74	4,910E-09	5573	1,830E-04	3787	8,511E+00	2147
180	10800	0,202	7,500E-06	86,30	4,373E-09	6258	1,840E-04	3767	1,065E+01	1715
240	14400	0,146	3,716E-06	93,21	3,543E-09	7725	1,868E-04	3711	1,742E+01	1049
300	18000	0,119	1,892E-06	96,54	2,935E-09	9322	1,869E-04	3708	2,835E+01	644
360	21600	0,106	1,014E-06	98,15	2,487E-09	1100	1,847E-04	3753	4,483E+01	408
420	25200	0,099	5,405E-07	99,01	2,150E-09	1272	1,832E-04	3783	7,269E+01	251
480	28800	0,096	3,378E-07	99,38	1,889E-09	1448	1,767E-04	3924	1,021E+02	179
Průměrná hodnota					6,475E-09	5280	1,845E-04	3759	1,449E+01	3129
Směrodatná odchylka					2,410E-09	3127	3,842E-06	78	2,323E+01	1550

13. 4 Experimentální data získaná při odbarvování modelové odpadní vody s AB 80 pomocí systému UV/H₂O₂

Tabulka P 22 *Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasů pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 3$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 2,82$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 8,73 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80:H₂O₂=1:1,1.*

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0	0	1,384	8,736E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	1,229	7,689E-05	11,99	3,489E-08	1252	4,255E-04	1629	5,195E+00	2204
10	600	1,105	6,851E-05	21,58	3,141E-08	1391	4,050E-04	1711	5,248E+00	2181
15	900	0,987	6,054E-05	30,70	2,980E-08	1466	4,075E-04	1701	5,634E+00	2032
20	1200	0,899	5,459E-05	37,51	2,730E-08	1600	3,918E-04	1769	5,725E+00	1999
25	1500	0,796	4,764E-05	45,48	2,648E-08	1649	4,043E-04	1714	6,364E+00	1799
30	1800	0,702	4,128E-05	52,75	2,560E-08	1706	4,164E-04	1665	7,098E+00	1613
35	2100	0,625	3,608E-05	58,70	2,442E-08	1789	4,211E-04	1646	7,747E+00	1478
40	2400	0,565	3,203E-05	63,34	2,306E-08	1895	4,181E-04	1658	8,240E+00	1389
45	2700	0,517	2,878E-05	67,05	2,169E-08	2013	4,112E-04	1686	8,628E+00	1327
50	3000	0,46	2,493E-05	71,46	2,081E-08	2099	4,180E-04	1658	9,554E+00	1198
55	3300	0,422	2,236E-05	74,40	1,970E-08	2218	4,129E-04	1679	1,008E+01	1136
60	3600	0,373	1,905E-05	78,19	1,897E-08	2302	4,230E-04	1639	1,140E+01	1004
65	3900	0,319	1,541E-05	82,37	1,845E-08	2367	4,450E-04	1558	1,371E+01	835
70	4200	0,302	1,426E-05	83,68	1,741E-08	2510	4,316E-04	1606	1,398E+01	819
75	4500	0,275	1,243E-05	85,77	1,665E-08	2623	4,333E-04	1600	1,533E+01	747
80	4800	0,237	9,865E-06	88,71	1,614E-08	2706	4,544E-04	1525	1,873E+01	611
85	5100	0,222	8,851E-06	89,87	1,539E-08	2837	4,489E-04	1544	1,991E+01	575
90	5400	0,219	8,649E-06	90,10	1,458E-08	2997	4,283E-04	1618	1,929E+01	593
100	6000	0,18	6,014E-06	93,12	1,356E-08	3222	4,460E-04	1554	2,581E+01	444
110	6600	0,162	4,797E-06	94,51	1,251E-08	3492	4,397E-04	1576	2,985E+01	383
120	7200	0,139	3,243E-06	96,29	1,168E-08	3739	4,574E-04	1515	4,123E+01	278
130	7800	0,128	2,500E-06	97,14	1,088E-08	4015	4,556E-04	1521	4,981E+01	230
140	8400	0,119	1,892E-06	97,83	1,017E-08	4293	4,562E-04	1519	6,156E+01	186
150	9000	0,112	1,419E-06	98,38	9,549E-09	4574	4,578E-04	1514	7,704E+01	149
180	10800	0,101	6,757E-07	99,23	8,026E-09	5442	4,502E-04	1540	1,360E+02	84
210	12600	0,095	2,703E-07	99,69	6,912E-09	6320	4,586E-04	1511	2,927E+02	39
240	14400	0,093	1,351E-07	99,85	6,057E-09	7211	4,494E-04	1542	5,131E+02	22
Průměrná hodnota					1,823E-08	2953	4,321E-04	1607	5,255E+01	939
Směrodatná odchylka					7,635E-09	1498	1,964E-05	74	1,073E+02	691

Tabulka P 23 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasů pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 5$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 4,85$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 1,17 \cdot 10^{-4}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80:H₂O₂=1:1,1.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0	0	1,823	1,170E-04	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	1,632	1,041E-04	11,03	4,302E-08	1360	3,895E-04	1780	3,530E+00	2420
10	600	1,431	9,054E-05	22,63	4,414E-08	1326	4,277E-04	1621	4,166E+00	2051
15	900	1,267	7,946E-05	32,10	4,174E-08	1402	4,302E-04	1611	4,489E+00	1904
20	1200	1,126	6,993E-05	40,24	3,925E-08	1491	4,291E-04	1615	4,795E+00	1782
25	1500	0,998	6,128E-05	47,63	3,716E-08	1575	4,313E-04	1607	5,182E+00	1649
30	1800	0,883	5,351E-05	54,27	3,529E-08	1658	4,347E-04	1595	5,634E+00	1517
35	2100	0,782	4,669E-05	60,10	3,349E-08	1747	4,376E-04	1584	6,130E+00	1394
40	2400	0,695	4,081E-05	65,13	3,176E-08	1843	4,389E-04	1579	6,649E+00	1285
45	2700	0,621	3,581E-05	69,40	3,008E-08	1945	4,386E-04	1580	7,178E+00	1191
50	3000	0,559	3,162E-05	72,98	2,847E-08	2055	4,362E-04	1589	7,693E+00	1111
55	3300	0,509	2,824E-05	75,87	2,690E-08	2175	4,308E-04	1609	8,140E+00	1050
60	3600	0,469	2,554E-05	78,18	2,541E-08	2303	4,228E-04	1639	8,502E+00	1005
65	3900	0,438	2,345E-05	79,97	2,400E-08	2439	4,122E-04	1681	8,745E+00	977
70	4200	0,415	2,189E-05	81,29	2,265E-08	2583	3,991E-04	1737	8,841E+00	966
75	4500	0,389	2,014E-05	82,79	2,153E-08	2718	3,911E-04	1772	9,138E+00	935
80	4800	0,367	1,865E-05	84,06	2,050E-08	2855	3,826E-04	1812	9,391E+00	910
85	5100	0,349	1,743E-05	85,10	1,953E-08	2996	3,733E-04	1857	9,572E+00	893
90	5400	0,324	1,574E-05	86,55	1,876E-08	3120	3,715E-04	1866	1,018E+01	839
95	5700	0,317	1,527E-05	86,95	1,785E-08	3278	3,573E-04	1940	9,990E+00	855
100	6000	0,308	1,466E-05	87,47	1,706E-08	3430	3,462E-04	2002	9,943E+00	859
105	6300	0,266	1,182E-05	89,90	1,670E-08	3504	3,638E-04	1905	1,207E+01	708
110	6600	0,264	1,169E-05	90,01	1,596E-08	3666	3,491E-04	1986	1,167E+01	732
120	7200	0,24	1,007E-05	91,40	1,486E-08	3939	3,407E-04	2034	1,261E+01	678
130	7800	0,216	8,446E-06	92,78	1,392E-08	4203	3,370E-04	2057	1,408E+01	607
140	8400	0,198	7,230E-06	93,82	1,307E-08	4477	3,315E-04	2091	1,545E+01	553
150	9000	0,172	5,473E-06	95,32	1,239E-08	4721	3,403E-04	2037	1,935E+01	442
180	10800	0,137	3,108E-06	97,34	1,055E-08	5547	3,360E-04	2063	2,900E+01	295
210	12600	0,117	1,757E-06	98,50	9,148E-09	6396	3,332E-04	2080	4,450E+01	192
240	14400	0,104	8,784E-07	99,25	8,066E-09	7254	3,397E-04	2040	7,847E+01	109
Průměrná hodnota					2,391E-08	3035	3,880E-04	1806	1,328E+01	1031
Směrodatná odchylka					1,050E-08	1501	4,002E-05	189	1,474E+01	540

Tabulka P 24 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasů pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 6$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 5,82$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 1,15 \cdot 10^{-4}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80:H₂O₂=1:1,1.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0½} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1½} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2½} (s)
0	0	1,8	1,155E-04	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	1,619	1,032E-04	10,59	4,086E-08	1414	3,739E-04	1854	3,426E+00	2527
10	600	1,466	9,291E-05	19,54	3,766E-08	1534	3,628E-04	1910	3,509E+00	2467
15	900	1,308	8,223E-05	28,79	3,697E-08	1562	3,775E-04	1836	3,892E+00	2224
20	1200	1,188	7,412E-05	35,81	3,448E-08	1675	3,696E-04	1875	4,028E+00	2150
25	1500	1,084	6,709E-05	41,89	3,227E-08	1790	3,621E-04	1914	4,164E+00	2079
30	1800	1,004	6,169E-05	46,58	2,989E-08	1932	3,484E-04	1989	4,196E+00	2064
35	2100	0,918	5,588E-05	51,61	2,839E-08	2034	3,458E-04	2005	4,399E+00	1968
40	2400	0,849	5,122E-05	55,65	2,678E-08	2156	3,388E-04	2046	4,528E+00	1912
45	2700	0,722	4,264E-05	63,08	2,699E-08	2140	3,691E-04	1878	5,480E+00	1580
50	3000	0,707	4,162E-05	63,95	2,463E-08	2345	3,402E-04	2037	5,123E+00	1690
55	3300	0,612	3,520E-05	69,51	2,433E-08	2373	3,600E-04	1925	5,985E+00	1447
60	3600	0,538	3,020E-05	73,84	2,369E-08	2437	3,726E-04	1860	6,792E+00	1275
65	3900	0,491	2,703E-05	76,59	2,269E-08	2546	3,724E-04	1861	7,267E+00	1191
70	4200	0,422	2,236E-05	80,63	2,218E-08	2604	3,909E-04	1773	8,585E+00	1009
75	4500	0,388	2,007E-05	82,62	2,121E-08	2723	3,889E-04	1782	9,150E+00	946
80	4800	0,368	1,872E-05	83,79	2,016E-08	2864	3,791E-04	1828	9,327E+00	928
85	5100	0,322	1,561E-05	86,48	1,959E-08	2948	3,924E-04	1766	1,086E+01	797
90	5400	0,317	1,527E-05	86,78	1,856E-08	3111	3,747E-04	1850	1,052E+01	823
95	5700	0,301	1,419E-05	87,71	1,777E-08	3249	3,679E-04	1884	1,085E+01	798
100	6000	0,268	1,196E-05	89,64	1,726E-08	3347	3,780E-04	1834	1,249E+01	693
105	6300	0,256	1,115E-05	90,34	1,656E-08	3487	3,711E-04	1868	1,286E+01	673
110	6600	0,231	9,459E-06	91,81	1,607E-08	3594	3,791E-04	1828	1,471E+01	589
120	7200	0,21	8,041E-06	93,04	1,492E-08	3869	3,701E-04	1873	1,607E+01	539
130	7800	0,182	6,149E-06	94,68	1,402E-08	4119	3,760E-04	1843	1,974E+01	439
140	8400	0,163	4,865E-06	95,79	1,317E-08	4385	3,771E-04	1838	2,344E+01	369
150	9000	0,151	4,054E-06	96,49	1,238E-08	4664	3,722E-04	1862	2,645E+01	327
180	10800	0,121	2,027E-06	98,24	1,051E-08	5496	3,743E-04	1852	4,488E+01	193
210	12600	0,109	1,216E-06	98,95	9,070E-09	6367	3,614E-04	1918	6,457E+01	134
240	14400	0,099	5,405E-07	99,53	7,983E-09	7234	3,725E-04	1861	1,279E+02	68
Průměrná hodnota					2,210E-08	3103	3,696E-04	1878	1,673E+01	1169
Směrodatná odchylka					8,628E-09	1411	1,307E-05	68	2,475E+01	738

Tabulka P 25 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasů pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 7$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 6,84$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 7,75 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80:H₂O₂=1:1,1.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0	0	1,238	7,750E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	1,118	6,939E-05	10,46	1,588E-07	244	3,684E-04	1882	5,026E+00	2568
10	600	1,017	6,257E-05	19,27	9,077E-08	427	3,567E-04	1943	5,132E+00	2514
15	900	0,926	5,642E-05	27,20	6,734E-08	575	3,527E-04	1965	5,357E+00	2409
20	1200	0,827	4,973E-05	35,83	5,608E-08	691	3,697E-04	1875	6,005E+00	2149
25	1500	0,768	4,574E-05	40,98	4,752E-08	815	3,515E-04	1972	5,972E+00	2161
30	1800	0,677	3,959E-05	48,91	4,302E-08	901	3,731E-04	1858	6,863E+00	1880
35	2100	0,586	3,345E-05	56,84	3,980E-08	974	4,002E-04	1732	8,093E+00	1594
40	2400	0,496	2,736E-05	64,69	3,736E-08	1037	4,338E-04	1598	9,850E+00	1310
45	2700	0,415	2,189E-05	71,75	3,524E-08	1100	4,682E-04	1480	1,214E+01	1063
50	3000	0,353	1,770E-05	77,16	3,311E-08	1170	4,922E-04	1408	1,453E+01	888
55	3300	0,324	1,574E-05	79,69	3,069E-08	1263	4,830E-04	1435	1,534E+01	841
60	3600	0,283	1,297E-05	83,26	2,890E-08	1341	4,965E-04	1396	1,783E+01	724
65	3900	0,251	1,081E-05	86,05	2,723E-08	1423	5,051E-04	1372	2,041E+01	632
70	4200	0,226	9,122E-06	88,23	2,569E-08	1508	5,094E-04	1361	2,303E+01	560
75	4500	0,208	7,905E-06	89,80	2,425E-08	1598	5,073E-04	1366	2,524E+01	511
80	4800	0,184	6,284E-06	91,89	2,307E-08	1680	5,234E-04	1324	3,047E+01	424
85	5100	0,175	5,676E-06	92,68	2,183E-08	1775	5,126E-04	1352	3,202E+01	403
90	5400	0,164	4,932E-06	93,64	2,076E-08	1867	5,101E-04	1359	3,515E+01	367
95	5700	0,155	4,324E-06	94,42	1,977E-08	1960	5,063E-04	1369	3,831E+01	337
100	6000	0,142	3,446E-06	95,55	1,893E-08	2047	5,188E-04	1336	4,622E+01	279
105	6300	0,137	3,108E-06	95,99	1,808E-08	2143	5,105E-04	1358	4,902E+01	263
110	6600	0,133	2,838E-06	96,34	1,730E-08	2240	5,011E-04	1383	5,144E+01	251
120	7200	0,121	2,027E-06	97,38	1,597E-08	2426	5,061E-04	1370	6,673E+01	193
130	7800	0,113	1,486E-06	98,08	1,481E-08	2616	5,069E-04	1367	8,459E+01	153
150	9000	0,105	9,459E-07	98,78	1,290E-08	3004	4,895E-04	1416	1,160E+02	111
180	10800	0,098	4,730E-07	99,39	1,079E-08	3591	4,721E-04	1468	1,946E+02	66
Průměrná hodnota					3,615E-08	1554	4,625E-04	1529	3,559E+01	948
Směrodatná odchylka					3,033E-08	792	6,086E-05	229	4,146E+01	819

Tabulka P 26 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasů pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 9$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 8,83$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 1 \cdot 10^{-4}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80:H₂O₂=1:1,1.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0	0	1,575	1,003E-04	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	1,428	9,034E-05	9,91	3,311E-08	1514	3,477E-04	1993	3,655E+00	2729
10	600	1,284	8,061E-05	19,61	3,277E-08	1530	3,638E-04	1905	4,054E+00	2460
15	900	1,161	7,230E-05	27,90	3,108E-08	1613	3,634E-04	1907	4,287E+00	2326
20	1200	1,065	6,581E-05	34,37	2,872E-08	1746	3,509E-04	1975	4,352E+00	2292
25	1500	0,948	5,791E-05	42,25	2,824E-08	1775	3,660E-04	1894	4,864E+00	2050
30	1800	0,847	5,108E-05	49,06	2,733E-08	1835	3,747E-04	1850	5,335E+00	1869
35	2100	0,76	4,520E-05	54,92	2,622E-08	1912	3,794E-04	1827	5,785E+00	1724
40	2400	0,687	4,027E-05	59,84	2,500E-08	2005	3,801E-04	1824	6,191E+00	1611
45	2700	0,62	3,574E-05	64,35	2,390E-08	2098	3,820E-04	1814	6,668E+00	1496
50	3000	0,567	3,216E-05	67,92	2,270E-08	2208	3,790E-04	1829	7,040E+00	1417
55	3300	0,535	3,000E-05	70,08	2,129E-08	2354	3,657E-04	1896	7,079E+00	1409
60	3600	0,509	2,824E-05	71,83	2,001E-08	2506	3,519E-04	1969	7,065E+00	1412
65	3900	0,494	2,723E-05	72,84	1,873E-08	2677	3,342E-04	2074	6,859E+00	1454
70	4200	0,409	2,149E-05	78,57	1,876E-08	2673	3,668E-04	1890	8,707E+00	1145
75	4500	0,407	2,135E-05	78,71	1,754E-08	2859	3,437E-04	2017	8,192E+00	1217
80	4800	0,381	1,959E-05	80,46	1,681E-08	2983	3,401E-04	2038	8,554E+00	1166
85	5100	0,361	1,824E-05	81,81	1,608E-08	3117	3,341E-04	2074	8,793E+00	1134
90	5400	0,339	1,676E-05	83,29	1,547E-08	3242	3,313E-04	2092	9,205E+00	1083
95	5700	0,301	1,419E-05	85,85	1,510E-08	3320	3,431E-04	2021	1,061E+01	940
100	6000	0,26	1,142E-05	88,61	1,481E-08	3386	3,621E-04	1914	1,293E+01	771
105	6300	0,237	9,865E-06	90,16	1,435E-08	3494	3,681E-04	1883	1,451E+01	687
110	6600	0,228	9,257E-06	90,77	1,379E-08	3636	3,610E-04	1920	1,486E+01	671
115	6900	0,213	8,243E-06	91,78	1,334E-08	3759	3,621E-04	1914	1,614E+01	618
120	7200	0,205	7,703E-06	92,32	1,286E-08	3900	3,564E-04	1945	1,665E+01	599
125	7500	0,184	6,284E-06	93,73	1,253E-08	4001	3,693E-04	1877	1,989E+01	501
130	7800	0,172	5,473E-06	94,54	1,215E-08	4125	3,728E-04	1859	2,215E+01	450
150	9000	0,145	3,649E-06	96,36	1,074E-08	4670	3,682E-04	1883	2,934E+01	340
180	10800	0,121	2,027E-06	97,98	9,097E-09	5511	3,612E-04	1919	4,476E+01	223
240	14400	0,098	4,730E-07	99,53	6,930E-09	7234	3,720E-04	1863	1,461E+02	68
300	18000	0,093	1,351E-07	99,87	5,563E-09	9012	3,672E-04	1888	4,106E+02	24
Průměrná hodnota					1,883E-08	3223	3,606E-04	1925	2,917E+01	1196
Směrodatná odchylka					7,474E-09	1649	1,411E-05	77	7,409E+01	712

Tabulka P 27 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasů pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 10$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 9,82$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 9,31 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80:H₂O₂=1:1,1.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0½} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1½} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2½} (s)
0	0	1,469	9,311E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	1,335	8,405E-05	9,72	3,018E-08	1661	3,410E-04	2033	3,856E+00	2785
10	600	1,211	7,568E-05	18,72	2,905E-08	1726	3,455E-04	2006	4,123E+00	2605
15	900	1,153	7,176E-05	22,93	2,372E-08	2113	2,894E-04	2395	3,551E+00	3025
20	1200	0,976	5,980E-05	35,78	2,776E-08	1806	3,690E-04	1878	4,986E+00	2154
25	1500	0,867	5,243E-05	43,69	2,712E-08	1849	3,828E-04	1811	5,555E+00	1934
30	1800	0,819	4,919E-05	47,17	2,440E-08	2055	3,545E-04	1955	5,327E+00	2016
35	2100	0,781	4,662E-05	49,93	2,214E-08	2265	3,294E-04	2104	5,100E+00	2106
40	2400	0,672	3,926E-05	57,84	2,244E-08	2234	3,598E-04	1926	6,139E+00	1750
45	2700	0,535	3,000E-05	67,78	2,337E-08	2145	4,195E-04	1652	8,368E+00	1284
50	3000	0,471	2,568E-05	72,42	2,248E-08	2230	4,294E-04	1614	9,402E+00	1142
55	3300	0,427	2,270E-05	75,62	2,133E-08	2350	4,277E-04	1621	1,009E+01	1064
60	3600	0,383	1,973E-05	78,81	2,038E-08	2460	4,310E-04	1608	1,110E+01	968
65	3900	0,365	1,851E-05	80,12	1,913E-08	2621	4,142E-04	1674	1,110E+01	968
70	4200	0,353	1,770E-05	80,99	1,795E-08	2792	3,952E-04	1754	1,089E+01	986
75	4500	0,344	1,709E-05	81,64	1,689E-08	2968	3,767E-04	1840	1,061E+01	1012
80	4800	0,338	1,669E-05	82,08	1,592E-08	3149	3,581E-04	1935	1,025E+01	1048
85	5100	0,334	1,642E-05	82,37	1,504E-08	3334	3,403E-04	2037	9,836E+00	1092
90	5400	0,331	1,622E-05	82,58	1,424E-08	3521	3,237E-04	2142	9,431E+00	1139
95	5700	0,33	1,615E-05	82,66	1,350E-08	3713	3,074E-04	2255	8,980E+00	1196
100	6000	0,318	1,534E-05	83,53	1,296E-08	3868	3,006E-04	2306	9,076E+00	1183
105	6300	0,307	1,459E-05	84,33	1,246E-08	4023	2,941E-04	2356	9,171E+00	1171
110	6600	0,27	1,209E-05	87,01	1,227E-08	4084	3,092E-04	2241	1,090E+01	985
115	6900	0,235	9,730E-06	89,55	1,208E-08	4149	3,273E-04	2118	1,334E+01	805
120	7200	0,227	9,189E-06	90,13	1,166E-08	4301	3,216E-04	2155	1,362E+01	788
125	7500	0,198	7,230E-06	92,24	1,145E-08	4378	3,407E-04	2034	1,701E+01	631
130	7800	0,181	6,081E-06	93,47	1,116E-08	4493	3,498E-04	1981	1,971E+01	545
150	9000	0,164	4,932E-06	94,70	9,797E-09	5117	3,264E-04	2123	2,133E+01	503
180	10800	0,135	2,973E-06	96,81	8,346E-09	6007	3,189E-04	2174	3,015E+01	356
240	14400	0,104	8,784E-07	99,06	6,405E-09	7828	3,238E-04	2140	7,831E+01	137
300	18000	0,096	3,378E-07	99,64	5,154E-09	9728	3,122E-04	2220	1,638E+02	66
Průměrná hodnota					1,736E-08	3499	3,506E-04	2003	1,784E+01	1248
Směrodatná odchylka					6,774E-09	1797	4,134E-05	224	3,023E+01	730

Tabulka P 28 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasů pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 11$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 10,85$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 8,71 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80:H₂O₂=1:1,1.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0½} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1½} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2½} (s)
0	0	1,381	8,716E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
5	300	1,257	7,878E-05	9,61	2,793E-08	1560	3,369E-04	2058	4,067E+00	2821
10	600	1,138	7,074E-05	18,84	2,736E-08	1593	3,479E-04	1993	4,438E+00	2585
15	900	1,048	6,466E-05	25,81	2,500E-08	1743	3,318E-04	2089	4,436E+00	2586
20	1200	0,974	5,966E-05	31,55	2,292E-08	1902	3,159E-04	2194	4,407E+00	2603
25	1500	0,875	5,297E-05	39,22	2,279E-08	1912	3,320E-04	2088	4,936E+00	2324
30	1800	0,772	4,601E-05	47,21	2,286E-08	1906	3,549E-04	1953	5,700E+00	2013
35	2100	0,682	3,993E-05	54,19	2,249E-08	1938	3,717E-04	1865	6,462E+00	1776
40	2400	0,607	3,486E-05	60,00	2,179E-08	2000	3,818E-04	1816	7,171E+00	1600
45	2700	0,548	3,088E-05	64,57	2,085E-08	2091	3,843E-04	1803	7,745E+00	1481
50	3000	0,501	2,770E-05	68,22	1,982E-08	2199	3,821E-04	1814	8,208E+00	1398
55	3300	0,466	2,534E-05	70,93	1,873E-08	2326	3,744E-04	1851	8,483E+00	1352
60	3600	0,438	2,345E-05	73,10	1,770E-08	2462	3,647E-04	1900	8,661E+00	1325
65	3900	0,418	2,209E-05	74,65	1,668E-08	2612	3,519E-04	1970	8,663E+00	1324
70	4200	0,405	2,122E-05	75,66	1,570E-08	2776	3,364E-04	2060	8,491E+00	1351
75	4500	0,393	2,041E-05	76,59	1,483E-08	2938	3,227E-04	2148	8,341E+00	1376
80	4800	0,385	1,986E-05	77,21	1,402E-08	3108	3,081E-04	2250	8,097E+00	1417
85	5100	0,34	1,682E-05	80,70	1,379E-08	3160	3,225E-04	2149	9,405E+00	1220
90	5400	0,296	1,385E-05	84,11	1,358E-08	3210	3,406E-04	2035	1,124E+01	1020
95	5700	0,273	1,230E-05	85,89	1,313E-08	3318	3,436E-04	2017	1,225E+01	936
100	6000	0,241	1,014E-05	88,37	1,284E-08	3395	3,586E-04	1933	1,453E+01	789
105	6300	0,224	8,986E-06	89,69	1,241E-08	3512	3,606E-04	1922	1,584E+01	724
110	6600	0,218	8,581E-06	90,16	1,191E-08	3660	3,512E-04	1973	1,592E+01	721
115	6900	0,197	7,162E-06	91,78	1,159E-08	3759	3,622E-04	1914	1,857E+01	618
120	7200	0,187	6,486E-06	92,56	1,120E-08	3889	3,608E-04	1921	1,982E+01	579
125	7500	0,176	5,743E-06	93,41	1,086E-08	4015	3,626E-04	1911	2,169E+01	529
130	7800	0,167	5,135E-06	94,11	1,052E-08	4144	3,630E-04	1909	2,350E+01	488
Průměrná hodnota					1,604E-08	3257	3,471E-04	2006	1,879E+01	1265
Směrodatná odchylka					6,106E-09	1642	2,271E-05	134	2,962E+01	755

13. 5 Experimentální data získaná při odbarvení modelové odpadní vody s AB 80 pomocí FotoFentonova reakce

Tabulka P 29 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasů pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 3$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 2,73$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_o = 8,19 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku a katalyzujícího Fe^{2+} ionu bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80: FeSO_4 : $\text{H}_2\text{O}_2=0,9:1:10$.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm ⁻³)	D (%)	k ₀ (mol dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{0 1/2} (s)	k ₁ (s ⁻¹)	t _{1 1/2} (s)	k ₂ (mol ⁻¹ dm ⁻³ s ⁻¹)	t _{2 1/2} (s)
0,00	0	1,304	8,196E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
0,25	15	1,103	6,838E-05	16,57	9,054E-07	45,3	1,208E-02	57,4	1,616E+02	75,5
0,50	30	0,922	5,615E-05	31,49	8,604E-07	47,6	1,261E-02	55,0	1,870E+02	65,3
0,75	45	0,774	4,615E-05	43,69	7,958E-07	51,5	1,276E-02	54,3	2,104E+02	58,0
1,00	60	0,653	3,797E-05	53,67	7,331E-07	55,9	1,282E-02	54,1	2,356E+02	51,8
1,25	75	0,547	3,081E-05	62,41	6,820E-07	60,1	1,304E-02	53,1	2,701E+02	45,2
1,50	90	0,47	2,561E-05	68,76	6,261E-07	65,4	1,293E-02	53,6	2,983E+02	40,9
2,00	120	0,347	1,730E-05	78,90	5,389E-07	76,1	1,296E-02	53,5	3,801E+02	32,1
2,50	150	0,259	1,135E-05	86,15	4,707E-07	87,1	1,318E-02	52,6	5,060E+02	24,1
3,00	180	0,207	7,838E-06	90,44	4,118E-07	99,5	1,304E-02	53,2	6,410E+02	19,0
3,50	210	0,168	5,203E-06	93,65	3,655E-07	112,1	1,313E-02	52,8	8,572E+02	14,2
4,00	240	0,144	3,581E-06	95,63	3,266E-07	125,5	1,304E-02	53,1	1,113E+03	11,0
4,50	270	0,126	2,365E-06	97,11	2,948E-07	139,0	1,313E-02	52,8	1,521E+03	8,0
5,00	300	0,117	1,757E-06	97,86	2,673E-07	153,3	1,281E-02	54,1	1,857E+03	6,6
5,50	330	0,108	1,149E-06	98,60	2,449E-07	167,3	1,293E-02	53,6	2,601E+03	4,7
6,00	360	0,104	8,784E-07	98,93	2,252E-07	182,0	1,260E-02	55,0	3,129E+03	3,9
6,50	390	0,101	6,757E-07	99,18	2,084E-07	196,6	1,230E-02	56,3	3,764E+03	3,2
7,00	420	0,097	4,054E-07	99,51	1,942E-07	211,0	1,264E-02	54,8	5,844E+03	2,1
7,50	450	0,095	2,703E-07	99,67	1,815E-07	225,7	1,270E-02	54,6	8,195E+03	1,5
8,00	480	0,094	2,027E-07	99,75	1,703E-07	240,6	1,250E-02	55,4	1,025E+04	1,2
8,50	510	0,093	1,351E-07	99,84	1,604E-07	255,4	1,256E-02	55,2	1,449E+04	0,8
9,00	540	0,092	6,757E-08	99,92	1,517E-07	270,2	1,315E-02	52,7	2,738E+04	0,4
9,50	570	0,092	6,757E-08	99,92	1,437E-07	285,2	1,246E-02	55,6	2,594E+04	0,5
10,00	600	0,091	4,730E-08	99,94	1,365E-07	300,2	1,243E-02	55,8	3,522E+04	0,3
Průměrná hodnota					3,954E-07	150,1	1,277E-02	54,3	6,307E+03	20,5
Směrodatná odchylka					2,479E-07	82,6	2,939E-04	1,3	9,790E+03	23,4

Tabulka P 30 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasy pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 5$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 4,79$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 9,78 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku a katalyzujícího Fe^{2+} ionu bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80: FeSO_4 : $\text{H}_2\text{O}_2=0,9:1:10$.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm^{-3})	D (%)	k_0 ($\text{mol dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{0\frac{1}{2}}$ (s)	k_1 (s^{-1})	$t_{1\frac{1}{2}}$ (s)	k_2 ($\text{mol}^{-1}\text{dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{2\frac{1}{2}}$ (s)
0	0	1,539	9,784E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
1	60	1,418	8,966E-05	8,36	1,363E-07	359,0	1,454E-03	476,6	1,553E+01	658,0
2	120	1,313	8,257E-05	15,61	1,273E-07	384,4	1,414E-03	490,2	1,575E+01	648,8
3	180	1,225	7,662E-05	21,69	1,179E-07	415,0	1,358E-03	510,4	1,572E+01	650,1
4	240	1,152	7,169E-05	26,73	1,090E-07	449,0	1,296E-03	535,0	1,553E+01	658,0
5	300	1,061	6,554E-05	33,01	1,077E-07	454,4	1,335E-03	519,0	1,679E+01	608,8
6	360	0,943	5,757E-05	41,16	1,119E-07	437,3	1,473E-03	470,5	1,986E+01	514,6
7	420	0,843	5,081E-05	48,07	1,120E-07	436,9	1,560E-03	444,3	2,252E+01	453,8
8	480	0,797	4,770E-05	51,24	1,044E-07	468,4	1,497E-03	463,2	2,238E+01	456,7
9	540	0,763	4,541E-05	53,59	9,710E-08	503,8	1,422E-03	487,6	2,186E+01	467,6
10	600	0,732	4,331E-05	55,73	9,088E-08	538,3	1,358E-03	510,3	2,145E+01	476,6
11	660	0,703	4,135E-05	57,73	8,559E-08	571,6	1,305E-03	531,2	2,115E+01	483,2
12	720	0,645	3,743E-05	61,74	8,390E-08	583,1	1,334E-03	519,4	2,291E+01	446,2
13	780	0,637	3,689E-05	62,29	7,814E-08	626,1	1,250E-03	554,3	2,165E+01	472,2
14	840	0,573	3,257E-05	66,71	7,770E-08	629,6	1,310E-03	529,3	2,439E+01	419,1
15	900	0,531	2,973E-05	69,61	7,568E-08	646,4	1,324E-03	523,7	2,602E+01	392,9
20	1200	0,313	1,500E-05	84,67	6,903E-08	708,6	1,563E-03	443,6	4,704E+01	217,3
25	1500	0,279	1,270E-05	87,02	5,676E-08	861,9	1,361E-03	509,3	4,567E+01	223,8
30	1800	0,206	7,770E-06	92,06	5,004E-08	977,6	1,407E-03	492,6	6,582E+01	155,3
35	2100	0,169	5,270E-06	94,61	4,408E-08	1109,8	1,391E-03	498,3	8,549E+01	119,6
40	2400	0,152	4,122E-06	95,79	3,905E-08	1252,8	1,320E-03	525,3	9,683E+01	105,6
45	2700	0,137	3,108E-06	96,82	3,509E-08	1394,3	1,278E-03	542,6	1,154E+02	88,6
50	3000	0,121	2,027E-06	97,93	3,194E-08	1531,7	1,292E-03	536,4	1,610E+02	63,5
55	3300	0,109	1,216E-06	98,76	2,928E-08	1670,8	1,330E-03	521,3	2,461E+02	41,5
60	3600	0,104	8,784E-07	99,10	2,693E-08	1816,3	1,309E-03	529,5	3,134E+02	32,6
65	3900	0,101	6,757E-07	99,31	2,491E-08	1963,6	1,276E-03	543,3	3,769E+02	27,1
70	4200	0,097	4,054E-07	99,59	2,320E-08	2108,7	1,306E-03	530,6	5,849E+02	17,5
75	4500	0,095	2,703E-07	99,72	2,168E-08	2256,2	1,309E-03	529,4	8,200E+02	12,5
80	4800	0,094	2,027E-07	99,79	2,034E-08	2405,0	1,287E-03	538,4	1,026E+03	10,0
85	5100	0,093	1,351E-07	99,86	1,916E-08	2553,5	1,291E-03	536,9	1,449E+03	7,1
90	5400	0,092	6,757E-08	99,93	1,811E-08	2701,9	1,348E-03	514,3	2,739E+03	3,7
Průměrná hodnota					6,749E-08	1093,9	1,359E-03	511,9	2,825E+02	297,7
Směrodatná odchylka					3,735E-08	738,4	8,060E-05	28,6	5,670E+02	237,6

Tabulka P 31 Experimentální a vypočtená data absorbance, aktuální koncentrace, dekolorizace a rychlostních konstant s odpovídajícími poločasů pro nultý, první a druhý řád reakce získané z fotochemického odbourávání Acid Blue 80 UVC zářením při $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, průtoku $V = 5,83\text{ ml s}^{-1}$, $\text{pH}_{\text{poč.}} = 7$, $\text{pH}_{\text{kon.}} = 6,83$. Počáteční koncentrace AB 80 $c_0 = 6,64 \cdot 10^{-5}\text{ mol dm}^{-3}$. Aplikované množství 30% peroxidu vodíku a katalyzujícího Fe^{2+} ionu bylo vůči výchozí koncentraci AB 80 v molárním poměru barvivo AB 80: FeSO_4 : $\text{H}_2\text{O}_2=0,9:1:10$.

čas (min)	čas (s)	A (-)	c (mol dm^{-3})	D (%)	k_0 ($\text{mol dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{0\frac{1}{2}}$ (s)	k_1 (s^{-1})	$t_{1\frac{1}{2}}$ (s)	k_2 ($\text{mol}^{-1}\text{dm}^{-3}\text{s}^{-1}$)	$t_{2\frac{1}{2}}$ (s)
0	0	1,075	6,649E-05	0,00	-	-	-	-	-	-
1	300	0,768	4,574E-05	31,20	6,914E-08	480,8	1,247E-03	556,1	2,274E+01	661,5
2	600	0,533	2,986E-05	55,08	6,104E-08	544,6	1,334E-03	519,7	3,074E+01	489,3
3	900	0,389	2,014E-05	69,72	5,150E-08	645,5	1,327E-03	522,2	3,847E+01	390,9
4	960	0,349	1,743E-05	73,78	5,110E-08	650,6	1,394E-03	497,1	4,409E+01	341,1
5	1020	0,34	1,682E-05	74,70	4,869E-08	682,8	1,347E-03	514,5	4,353E+01	345,5
6	1080	0,337	1,662E-05	75,00	4,617E-08	720,0	1,284E-03	540,0	4,178E+01	360,0
7	1140	0,324	1,574E-05	76,32	4,451E-08	746,8	1,264E-03	548,5	4,253E+01	353,7
8	1200	0,316	1,520E-05	77,13	4,274E-08	777,9	1,230E-03	563,7	4,228E+01	355,7
9	1260	0,307	1,459E-05	78,05	4,118E-08	807,2	1,203E-03	576,0	4,244E+01	354,4
10	1320	0,298	1,399E-05	78,96	3,977E-08	835,8	1,181E-03	586,9	4,277E+01	351,6
11	1380	0,288	1,331E-05	79,98	3,853E-08	862,7	1,166E-03	594,7	4,354E+01	345,4
12	1440	0,274	1,236E-05	81,40	3,758E-08	884,5	1,168E-03	593,4	4,572E+01	329,0
13	1500	0,265	1,176E-05	82,32	3,649E-08	911,1	1,155E-03	600,1	4,668E+01	322,2
14	1560	0,253	1,095E-05	83,54	3,560E-08	933,7	1,156E-03	599,4	4,892E+01	307,4
15	1620	0,265	1,176E-05	82,32	3,378E-08	984,0	1,069E-03	648,1	4,322E+01	348,0
20	1680	0,233	9,595E-06	85,57	3,386E-08	981,7	1,152E-03	601,6	5,309E+01	283,3
25	1740	0,227	9,189E-06	86,18	3,293E-08	1009,5	1,137E-03	609,4	5,390E+01	279,0
30	1800	0,213	8,243E-06	87,60	3,236E-08	1027,4	1,160E-03	597,7	5,904E+01	254,7
35	2100	0,168	5,203E-06	92,17	2,918E-08	1139,1	1,213E-03	571,3	8,437E+01	178,3
40	2400	0,136	3,041E-06	95,43	2,644E-08	1257,5	1,285E-03	539,2	1,308E+02	115,0
45	2700	0,121	2,027E-06	96,95	2,387E-08	1392,5	1,293E-03	536,2	1,771E+02	84,9
50	3000	0,116	1,689E-06	97,46	2,160E-08	1539,1	1,224E-03	566,2	1,923E+02	78,2
55	3300	0,104	8,784E-07	98,68	1,988E-08	1672,1	1,311E-03	528,7	3,404E+02	44,2
60	3600	0,1	6,081E-07	99,09	1,830E-08	1816,6	1,304E-03	531,6	4,526E+02	33,2
65	3900	0,097	4,054E-07	99,39	1,694E-08	1962,0	1,308E-03	530,1	6,286E+02	23,9
70	4200	0,095	2,703E-07	99,59	1,577E-08	2108,6	1,311E-03	528,8	8,774E+02	17,1
75	4500	0,094	2,027E-07	99,70	1,473E-08	2256,9	1,287E-03	538,4	1,093E+03	13,8
80	4800	0,093	1,351E-07	99,80	1,382E-08	2404,9	1,291E-03	536,8	1,539E+03	9,8
85	5100	0,093	1,351E-07	99,80	1,301E-08	2555,2	1,215E-03	570,3	1,448E+03	10,4
90	5400	0,092	6,757E-08	99,90	1,230E-08	2702,7	1,276E-03	543,1	2,738E+03	5,5
Průměrná hodnota					3,343E-08	1243,1	1,243E-03	559,7	3,496E+02	236,2
Směrodatná odchylka					1,453E-08	633,2	7,504E-05	34,5	6,084E+02	168,8