

TKP4105/TKP4110  
Fentonoksidasjon  
Rapport

Audun F. Buene                      Elise Landsem  
audunfor@stud.ntnu.no              elisel@stud.ntnu.no

Gruppe B19  
Veileder: Tom G. Skog  
Laboratorie: K4-213  
Utført: 9. Oktober 2012

## Sammendrag

I dette eksperimentet er det blitt undersøkt hvordan organiske forurensninger kan brytes ned ved oksidasjon. Fargestoffet Naphtol blue black ble bleket med hydrogenperoksid, og konsentrasjonen av forurensningen ble målt ved å kontinuerlig sjekke absorbansen til løsningen ved forskjellige bølgelengder. Det ble undersøkt hvilken innvirkning endringer i konsentrasjonen av katalysatoren Fe(II) hadde på nedbrytningsraten. Både nedbrytning av azo-grupper, ansvarlig for blåfargen, og aromat-ringer ble undersøkt. Det ble konkludert med at nedbrytningen av azo-gruppene gikk omtrent 25 ganger raskere enn nedbrytningen av aromatringerne, og at reaksjonen hadde en aktiveringsenergi på 122 kJ/mol. Det var mange feilkilder i dette eksperimentet, så resultatene må kunne anses som svært grove estimat.

# Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Teori</b>	<b>4</b>
2.1	Fentonoksidasjon . . . . .	4
2.2	Kinetikk . . . . .	4
2.3	Aktiveringsenergi . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Eksperimentelt</b>	<b>7</b>
3.1	Fremgangsmåte . . . . .	7
3.2	Apparatur . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Resultater</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>16</b>
5.1	Feilkilder . . . . .	17
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>18</b>
<b>A</b>	<b>Sikkerhetsanalyse og kjemikaliekort</b>	<b>20</b>
<b>B</b>	<b>Fremstilling av løsninger</b>	<b>23</b>
<b>C</b>	<b>Absorbansmålinger og notater fra labdagen</b>	<b>24</b>

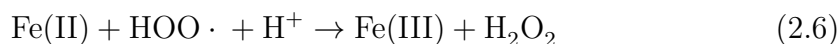
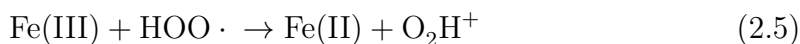
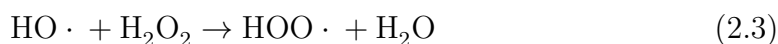
# 1 Innledning

Dette eksperimentet ble utført som en del av faget TKP4110 *Reaksjonsteknikk* ved NTNU, høsten 2012. Hensikten med oppgaven var å demonstrere mulighetene for å bruke en moderne *in-situ* spektroskopimetode, UV-VIS spektroskopi, for å undersøke reaksjonskinetikk. Dette ble gjort ved å undersøke reaksjonen hvor fargestoffet *Naphtol blue black* brytes ned av hydrogenperoksid. I eksperimentet ble det hovedsaklig undersøkt hvordan reaksjonskinetikken ble påvirket av endring i konsentrasjonen av katalysatoren Fe(II), samt temperaturens innvirkning på reaksjonskinetikken. Det ble også undersøkt om antakelsen om at dette er en pseudo-første ordens reaksjon var gyldig.

## 2 Teori

### 2.1 Fentonoksidasjon

Fentonoksidasjon er mye brukt i oksidering av avfallsstoffer i avløpsvann. I praksis er dette eksperimentet en blekeprosess hvor Naphtol blue black (NBB) blekes med hydrogenperoksid. Selve oksideringen skjer med hydroksylradikaler, som er katalysert av jernioner. Vesentlige reaksjoner for forsøket er:



### 2.2 Kinetikk

Det er mange reaksjoner som inngår i dette eksperimentet, noe som gjør at studien av kinetikken blir ganske komplisert. Et generelt uttrykk for nedbrytingen av organiske forurensninger er gitt ved:

$$r = -\frac{dc_{RH}}{dt} = k_{\text{OH}} \cdot c_{\text{HO}\cdot} \cdot c_{\text{RH}} + \sum_i k_{ax_i} \cdot c_{ax_i} \cdot c_{\text{RH}} \quad (2.9)$$

Uttrykket over kan forenkles ved å gjøre noen antakelser. Reaksjonen kan da antas å ha en reaksjonsrate som følger en pseudo-første orden. Hydroksylradikalet antas å være det eneste aktive oksidasjonsmiddelet, slik at leddene med subskript  $ax_i$  kan neglisjeres da disse beskriver andre aktive oksidasjonsmidler. Konsentrasjonen

av HO· er vanskelig å måle, men denne kan antas å være konstant under de gitte betingelser. Uttrykket i Ligning 2.9 forenkler seg dermed til:

$$r = -\frac{dc_{RH}}{dt} = k_{app} \cdot c_{RH} \quad (2.10)$$

hvor  $k_{app}$  er den observerte hastighetskonstanten. Hvis man intergrerer opp denne formelen, står man igjen med et uttrykk for konsentrasjonen av organiske foruren-singer:

$$\ln c_{RH} = \ln c_{RH_0} - k_{app} \cdot t \quad (2.11)$$

Absorbans,  $A$ , skal benyttes for å måle konsentrasjonen av NBB i løsningen,  $c_{RH}$ . Disse er relatert via følgende formel, som kalles Lambert- Beers lov:

$$A = \varepsilon_{RH} \cdot c_{RH} \cdot l \quad (2.12)$$

hvor  $\varepsilon_{RH}$  er molar absorpsjonskoeffisient og  $l$  er lengden lyset vandrer i prøven. Si-den konsentrasjonen og absorbansen er direkte proporsjonale, kan konsentrasjonen substitueres med absorbansen, og Ligning 2.11 kan skrives om til:

$$\ln (A_{RH} - A_{\infty}) = \ln (A_{RH_0} - A_{\infty}) - k_{app} \cdot t \quad (2.13)$$

Siden  $A_{\infty}$  betyr at NBB er 100 % nedbrutt, kan antakelsen om at  $A_{\infty} = A_{ref} = 0$  benyttes. Dette forenkler Ligning 2.13 til:

$$\ln \frac{A_{RH_0}}{A_{RH}} = k_{app} \cdot t \quad (2.14)$$

som gir sammenhengen mellom absorbans og reaksjonsraten  $k_{app}$ .

## 2.3 Aktiveringsenergi

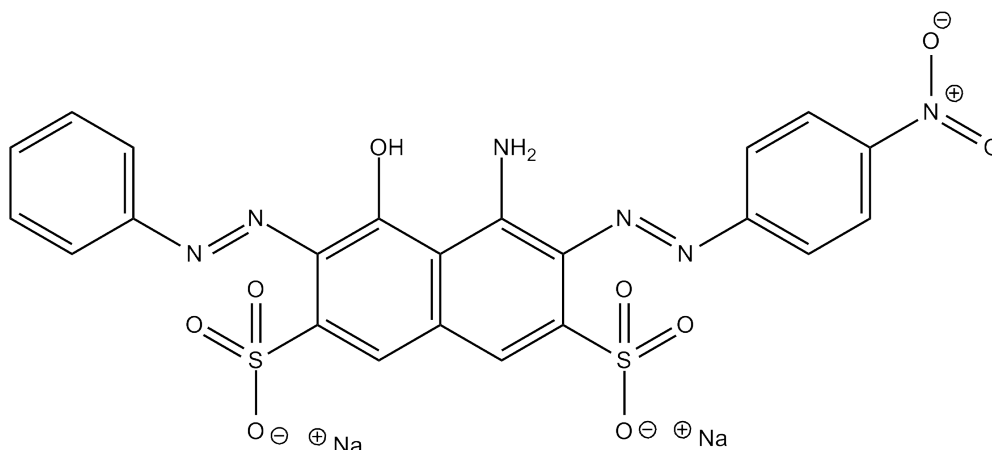
Til slutt settes opp Arrhenius ligning for  $k_{app}$ :

$$k_{app} = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (2.15)$$

Denne ligningen kan lineariseres for å bestemme aktiveringsenergien for blekingsreaksjonen, og blir på formen  $y = ax + b$ :

$$\ln k_{app} = -\frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} + \ln A \quad (2.16)$$

hvor  $A$  er absorptans,  $E_a$  aktiveringsenergi,  $R$  den universelle gasskonstant og  $T$  temperatur i Kelvin. Aktiveringsenergien kan bestemmes fra stigningstallet til det lineære plottet,  $-\frac{E_a}{R}$ .



Figur 2.1: Strukturformel for *Naphtol blue black*. Azogruppene er N=N-bindingene. Disse forårsaker den sterke blåfargen NBB har.

### 3 Eksperimentelt

Eksperimentet er beskrevet i dokumentet *Kinetic studies using UV-VIS spectroscopy - Fenton reaction* <sup>[1]</sup>.

#### 3.1 Fremgangsmåte

Først ble det veid ut 20.9 mg NBB, som ble løst i 2 liter vann. Hydrogenperoksid ble også tynnet ut, og 0.1 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ble tynnet med 60 ml vann. Spektrometer og pH-meter ble kalibrert i forkant av veileder. Løsninger til de syv målingene ble laget, som beskrevet i Tabell 3.1. Deretter ble følgende fremgangsmåte fulgt for hvert eksperiment: pH til Naphtol-løsningen ble justert til pH 3, før jernsulfat ble tilsatt under omrøring. Reaksjonskolben ble dekket med aluminiumsfolie for å unngå direkte lys på proben, som kunne forstyrre avlesningen. Temperaturen ble justert og proben tilsatt. Til slutt ble lagring av spektra startet og hydrogenperoksid ble tilsatt som siste steg.

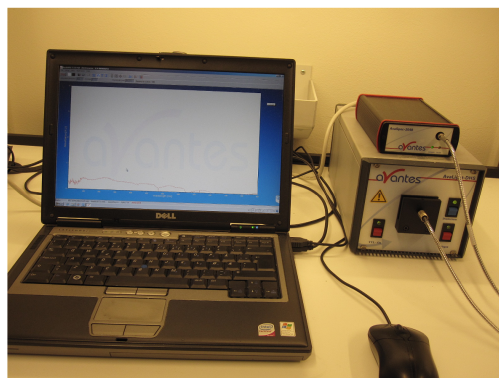
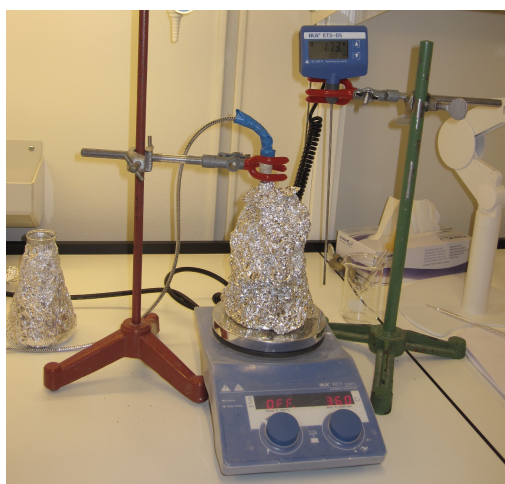
Tabell 3.1: Detaljert oversikt over forsøkskriterier for hvert eksperiment. Gjengitt slik oppgitt i utdelt regenark.

Eksp. nr.	Temp. [°C]	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> [mL sol.]	pH	Naphtol Blue Black [mL sol.]	Totalt volum [mL]	Jernsulfat [mg/245.5mL]
1	21	0.5	3	245	245.5	5
2	21	0.5	3	245	245.5	5
3	21	0.5	3	245	245.5	10
4	21	0.5	3	245	245.5	10
5	21	0.5	3	245	245.5	15
6	21	0.5	3	245	245.5	15
7	30	0.5	3	245	245.5	5



## 3.2 Apparat

Apparaturen bestod av en datamaskin koblet til et UV-VIS-spektrometer. Målingene ble utført i en Erlenmeyer-kolbe dekket med aluminiumsfolie. Det ble også benyttet et pH-meter og et termometer for å forsikre at forholdene var tilnærmet like for alle målingene. Oppsettet er vist i Figur 3.1.

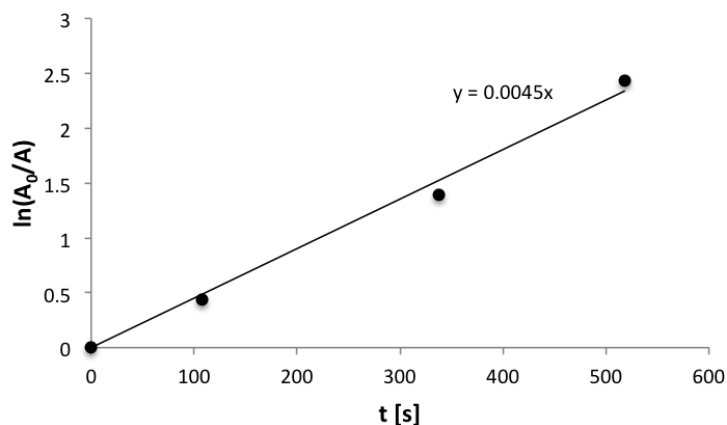


(a) Erlenmeyer-kolbe og termometer. (b) Datamaskin og UV-VIS-spektrometer

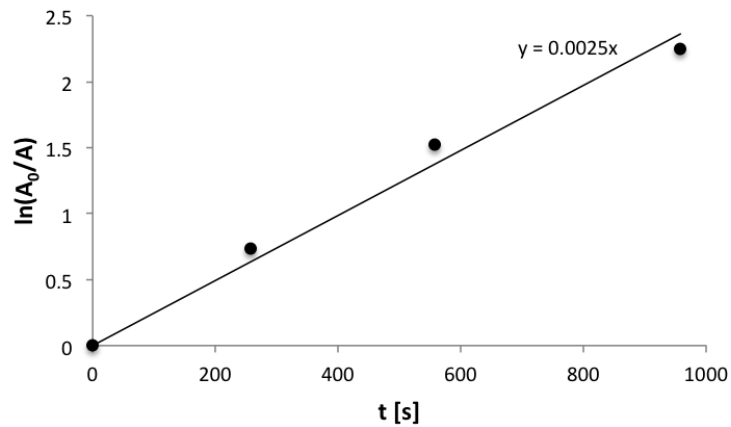
Figur 3.1: Forsøksoppsett

## 4 Resultater

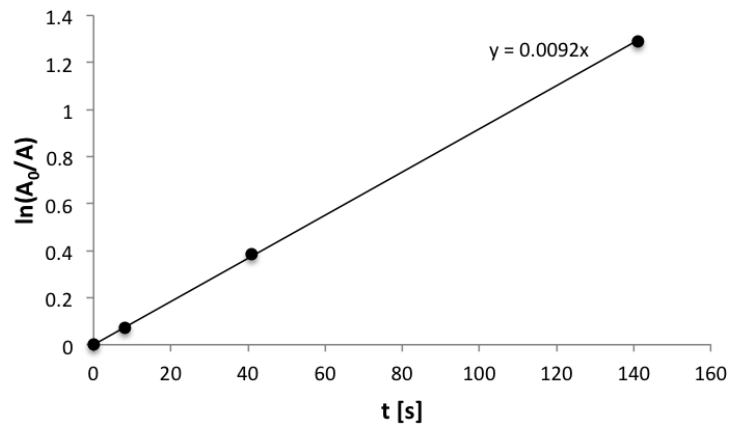
Figur 4.1- 4.7 viser  $\ln \frac{A_{RH0}}{A_{RH}}$  plottet mot tiden  $t$  for bølgelengden 618 nm. Dataene er hentet fra Appendix C. Dette er en av bølgelengdene hvor azo-gruppene har størst absorpsjon. Stigningstallene i plottene er på grunn av en antakelse om pseudo-førsteordens reaksjonskinetikk  $k_{app}$ . Verdiene for  $k_{app}$  finnes i Tabell 4.1.



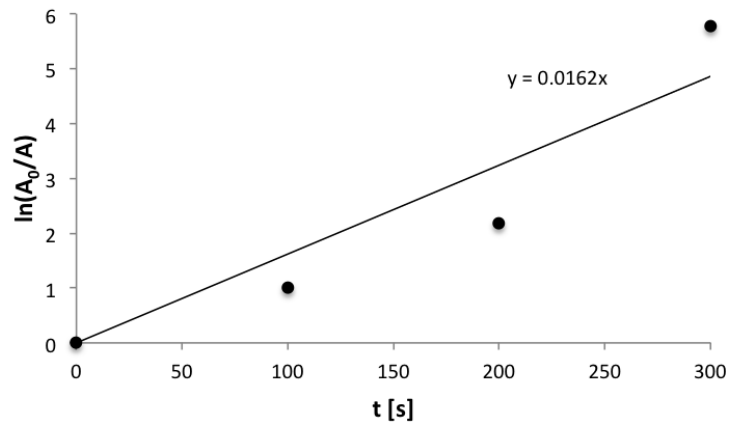
Figur 4.1: Figuren viser  $\ln \frac{A_{RH0}}{A_{RH}}$  plottet mot tiden  $t$  for bølgelengden 618 nm, for måling 1. Temperaturen var  $22^{\circ}\text{C}$ , volum hydrogenperoksid var 0.5 ml 3wt.%  $\text{H}_2\text{O}_2$  og pH for løsningen var på 3.007. Vekt av  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  var 4.9 mg. Stigningstallet fra lineærapproximasjonen er  $k_{app}$ .



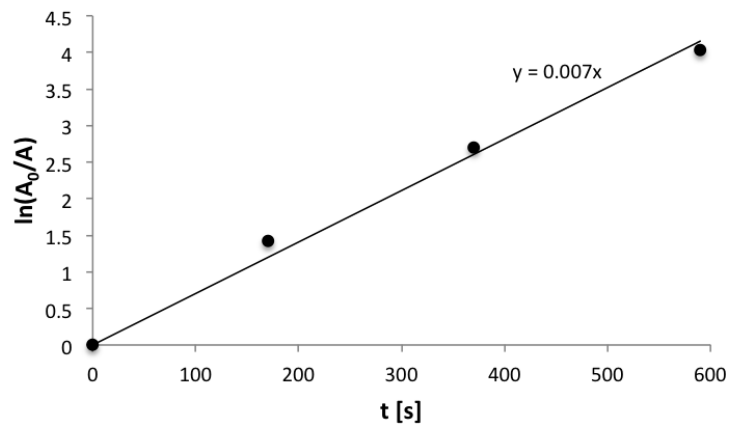
Figur 4.2: Figuren viser  $\ln \frac{A_{RH0}}{A_{RH}}$  plottet mot tiden  $t$  for bølglengden 618 nm, for måling 2. Temperaturen var  $22^{\circ}\text{C}$ , volum hydrogenperoksid var 0.5 ml 3wt.%  $\text{H}_2\text{O}_2$  og pH for løsningen var på 3.027. Vekt av  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  var 5.1 mg. Stigningstallet fra lineærapproximasjonen er  $k_{app}$ .



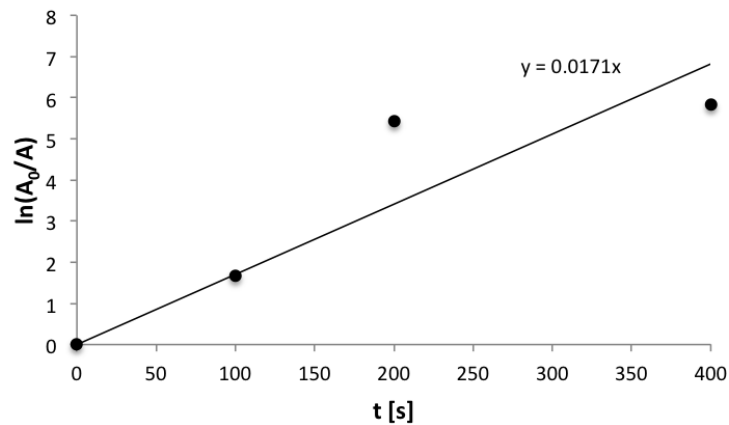
Figur 4.3: Figuren viser  $\ln \frac{A_{RH0}}{A_{RH}}$  plottet mot tiden  $t$  for bølglengden 618 nm, for måling 3. Temperaturen var  $22^{\circ}\text{C}$ , volum hydrogenperoksid var 0.5 ml 3wt.%  $\text{H}_2\text{O}_2$  og pH for løsningen var på 2.960. Vekt av  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  var 10.2 mg. Stigningstallet fra lineærapproximasjonen er  $k_{app}$ .



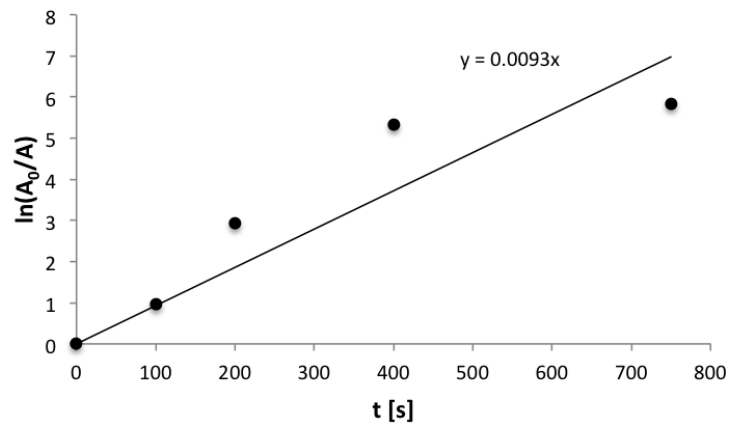
Figur 4.4: Figuren viser  $\ln \frac{A_{RH0}}{A_{RH}}$  plottet mot tiden  $t$  for bølgelengden 618 nm, for måling 4. Temperaturen var  $22^{\circ}\text{C}$ , volum hydrogenperoksid var 0.5 ml 3wt.%  $\text{H}_2\text{O}_2$  og pH for løsningen var på 3.044. Vekt av  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  var 10.8 mg. Stigningstallet fra lineærapproximasjonen er  $k_{app}$ .



Figur 4.5: Figuren viser  $\ln \frac{A_{RH0}}{A_{RH}}$  plottet mot tiden  $t$  for bølgelengden 618 nm, for måling 5. Temperaturen var  $22^{\circ}\text{C}$ , volum hydrogenperoksid var 0.5 ml 3wt.%  $\text{H}_2\text{O}_2$  og pH for løsningen var på 2.980. Vekt av  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  var 15.7 mg. Stigningstallet fra lineærapproximasjonen er  $k_{app}$ .

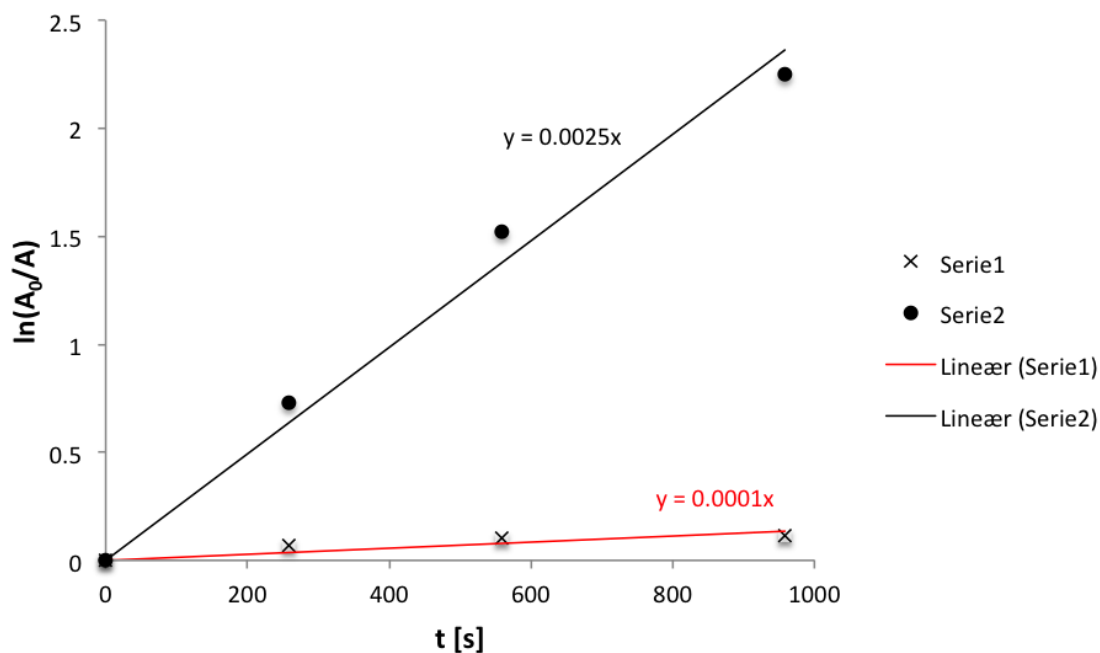


Figur 4.6: Figuren viser  $\ln \frac{A_{RH0}}{A_{RH}}$  plottet mot tiden  $t$  for bølgelengden 618 nm, for måling 6. Temperaturen var  $22^{\circ}\text{C}$ , volum hydrogenperoksid var 0.5 ml 3wt.%  $\text{H}_2\text{O}_2$  og pH for løsningen var på 3.017. Vekt av  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  var 15.5 mg. Stigningstallet fra lineærapproximasjonen er  $k_{app}$ .



Figur 4.7: Figuren viser  $\ln \frac{A_{RH0}}{A_{RH}}$  plottet mot tiden  $t$  for bølgelengden 618 nm, for måling 7. Temperaturen var  $30^{\circ}\text{C}$ , volum hydrogenperoksid var 0.5 ml 3wt.%  $\text{H}_2\text{O}_2$  og pH for løsningen var på 2.985. Vekt av  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  var 4.9 mg. Stigningstallet fra lineærapproximasjonen er  $k_{app}$ .

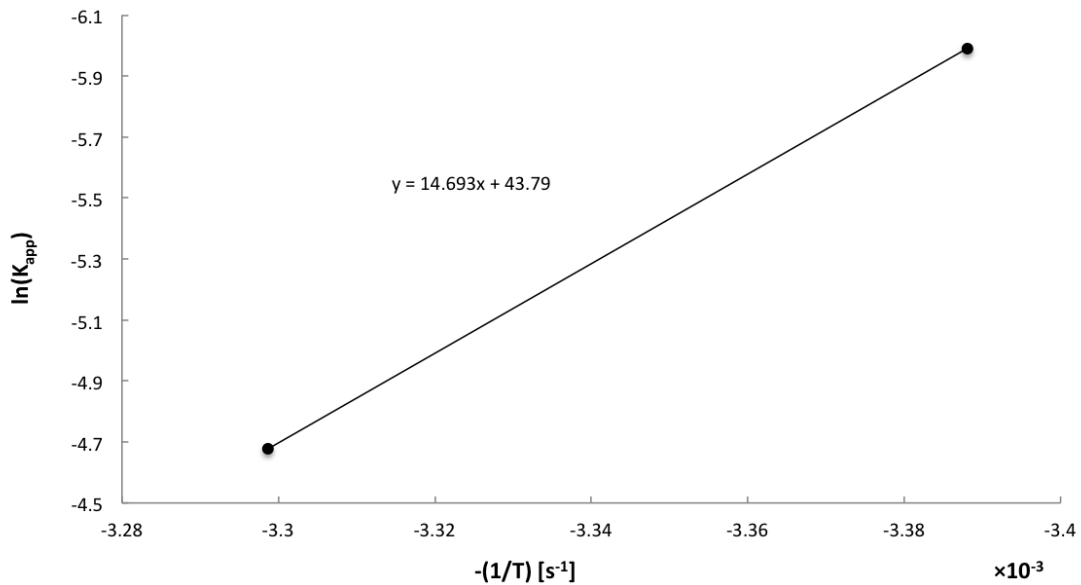
En sammenligning av raten for blekning (618 nm) og raten for fjerning av aromat-ringer (320 nm) er vist i Figur 4.8.



Figur 4.8: Figuren viser  $\ln \frac{A_{RH0}}{A_{RH}}$  plottet mot tiden  $t$  for bølgelengdene 320 nm og 618 nm, for måling 2. Temperaturen var 22°C, volum hydrogenperoksid var 0.5 ml 3wt.%  $H_2O_2$  og pH for løsningen var på 3.027. Vekt av  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  var 5.1 mg.

$k_{app}$  for fjerning av azo-gruppene i NBB er funnet ved en lineærapprosimasjon til å være  $0.0025 [s^{-1}]$ , mens  $k_{app}$  for fjerning av aromatiske ringer er funnet til  $0.0001 [s^{-1}]$ .

Et Arrhenius-plott for å finne aktiveringsenergien til reaksjonen er vist i Figur 4.9.



Figur 4.9: Figuren viser  $\ln k_{app}$  plottet mot  $-\frac{1}{T}$  for bølgelengden 618 nm, for måling 2 og 7. Temperaturen var  $22^{\circ}\text{C}$  for måling 2 og  $30^{\circ}\text{C}$  for måling 7. Volum hydrogenperoksid var 0.5 ml 3wt.%  $\text{H}_2\text{O}_2$ . pH for måling 2 var på 3.027 og for måling 7 var pH 2.985. Vekt av  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  var 5.1 mg for måling 2 og 4.9 mg for måling 7.

Stigningstallet til lineærapprosimasjonen i Figur 4.9 er  $\frac{E_a}{R}$ . Ved å bruke  $R = 8.314\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ , fås en verdi for aktiveringsenergien:

$$E_a = 122.158 \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right] \quad (4.1)$$

Tabell 4.1 viser for måling 1-7 sammenhengen mellom  $k_{app}$  og de gitte parameterne.

Tabell 4.1: Tabell som viser ratekonstanten for blekningsproseesn av NBB,  $k_{app}$  fra måling 1-7, med tilhørende pH, temperatur og mengde katalysator

Måling nr.	pH	Temp. [°C]	$m_{\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}}$ [mg]	$k_{app}$
1	3.007	22	4.9	0.0045
2	3.027	22	5.1	0.0025
3	2.960	22	10.2	0.0092
4	3.044	22	10.8	0.0162
5	2.980	22	15.7	0.0070
6	3.017	22	15.5	0.0171
7	2.985	22	4.9	0.0093



## 5 Diskusjon

Fra plottene i Figur 4.1-4.7 ser man at en lineær approksimasjon passer godt til de målte datene. Dette indikerer at en antakelse om at reaksjonen kan sies å være pseudo-førsteordens, er forholdsvis god. Det ser ikke ut til å være noen merkbar forskjell i hvor godt en lineær approksimasjon passer datapunktene når konsentrasjonen av katalysator økes. Ut fra Tabell 4.1 kan det synes å være en trend mellom økende mengde katalysator og økende  $k_{app}$ . Det er likevel ganske stor spredning mellom de to målingene i hver parallell, slik at usikkerheten i disse tallene må kunne antas å være stor.

Det største avviket fra den lineære trendlinjen finnes for måling 7, da temperaturen var økt til 30°C. Dette tyder på at approksimasjonen om en pseudo-førsteordens reaksjon kanskje ikke er gyldig for høyere temperaturer. Det var kun tid å gjennomføre én økning av temperaturen. Dette medfører at en lineær trendlinje ikke nødvendigvis gir et godt bilde av den virkelige trenden, da det holder at ett av to punkter er en feilmåling før hele approksimasjonen er ødelagt.

Fra Figur 4.8 observeres det en tydelig trend, nedbrytningen av azo-gruppene går merkbart raskere enn nedbrytningen av aromatiske ringer. Dette illustreres ved at  $k_{app}$  for azogruppenedbryting er 25 ganger større enn  $k_{app}$  for aromatedbryting. Dette betyr at fentonoksidasjon er en svært effektiv metode for å bryte opp azo-grupper, mens det kanskje burde benyttes andre metoder for å bryte opp aromaringene.

Arrheniusplottet i Figur 4.9 gir ut fra stigningstallet en verdi for aktiveringsenergien til fentonoksidasjonen. Verdien for aktiveringsenergien ble bestemt til 122 kJ/mol. På grunn av manglende litteraturverdier for liknende eksperimenter, er det vanskelig å si om dette er en sannsynlig verdi. Siden det kun ble utført to målinger, er det grunn til å anta at den beregnede verdien har stor usikkerhet knyttet til seg.

## 5.1 Feilkilder

Det er en mengde ulike feilkilder i dette eksperimentet. Det var svært vanskelig å veie ut riktig mengde katalysator for de forskjellige målingene. Dette resulterte i en relativt sett stor variasjon innenfor hver serie. Dette gjør det vanskelig å sammenlikne resultatene og finne trender. En annen faktor som bidrar til dette problemet er at for få målinger ble gjennomført, og at flere enn fire til fem måletidspunkter burde vært valgt til hver dataanalyse. På grunn av forvirring rundt bruken av UV-VIS-spektrometeret ble alle målingen systematisk startet samtidig som  $\text{H}_2\text{O}_2$  ble tilsatt. Da det lå inne en forsinkelse før første måling ble gjennomført førte dette til at startabsorbansen til hver prøve ikke ble avlest til riktig tid, og blekningen hadde da allerede startet.

Det er mye som kan påvirke de målte resultatene i dette eksperimentet. Det kan dannes gassbobler på UV-VIS-proben, noe som vil hindre refleksjonen av strålingen, og gi en kunstig høy absorbans. Støy fra omgivelsene vil påvirke resultatene i motsatt retning, og føre til en kunstig lav absorbans, fordi det kan antas at innpakningen av reaksjonkolben ikke var helt tett. Det er også mulighet for at jernkatalysatoren kan krystallieres ut, som vil gi færre aktive seter hvor reaksjonen kan finne sted, og senke reaksjonsraten. I tillegg vil det alltid være en usikkerhet forbundet til de ulike komponentene i oppsettet.

## 6 Konklusjon

Det ble konkludert med at en pseudo-førsteordens approksimasjon passer relativt godt til resultatene, men at det generelt sett ble gjort for upresise og for få målinger. Nedbrytningen av azo-gruppene gikk merkbart raskere enn nedbrytningen av aromatringerne. Aktiveringsenergien for reaksjonen ble bestemt til 122 kJ/mol, men uten noen referanser til andre eksperimenter er det vanskelig å anslå sikkerheten til denne verdien.

Forsøket bar preg av endel feilkilder, noe som gjorde at resultatene må anses som svært grove estimater. Likevel har forsøket gitt en god innsikt i nedbrytning av organiske forurensninger, og hvordan disse kan undersøkes ved bruk av UV-VIS-spektroskopi.

Trondheim, 14. oktober 2012

---

Elise Landsem

Audun F. Buene

## Referanser

- [1] Felleslab; *Kinetic studies using UV-VIS spectroscopy, Fenton reaction*, laboratorieoppgave.
- [2] Datablad Naphtol blue black; *<https://www.itslearning.com/file/download.aspx?FileID=2845440&FileVersionID=-1>, lest 05.10.2012 kl 12.00..*

# A Sikkerhetsanalyse og kjemikaliekort

Data for utfylling av kjemikaliekort er hentet fra utlevert skjema<sup>[2]</sup>.




NTNU  
Norges teknisk-  
naturvitenskapelige  
universitet



## Kjemikaliekort

	STOFFNAVN Naphthol Blue Black			FORMEL $C_{22}H_{14}N_6Na_2O_9S_2$	
				HELSEFARE Grad 2	
FYSIKALSKE DATA	Molvekt	Form	Farge	BRANNSFARE Grad 0	
	616,49 g/mol	Pulver	Mørk brun	REAKSJONSFARE Grad 0	
VERNETILTAK	Bruk gassmaske ved behov. Benytt hansker. Bruk beskyttelsesbriller. Beskytt hud og kropp etter mengde og konsentrasjon som håndteres.			ADMINISTRATIV NORM	
HELSEFARE	Innånding Kan gi irritasjon ved innånding.  Svelging Kan være skadelig ved svelging.  Hud Kan være skadelig ved absorpsjon gjennom huden. Irriterer huden.  Øyne Irriterer øynene.			BRANNSLUKKING Bruk vannspray, alkoholresistant skum, tørre kjemikalier eller karbondioksid.	
				MERKNADER Unngå sterke oksiderende midler. Danner farlige produkter ved brann: karbonoksider, nitrogenoksider, svoveloksider, natriumoksider.	
FØRSTEHJELP				ØYNE Rens kontinuerlig med vann i flere minutter. Fjern kontaktlinser hvis disse er tilstede og det er enkelt å gjøre dette. Fortsett rensingen, minst 15 minutter. Konsulter med lege.  HUD Vask med såpe og store mengder vann. Konsulter med lege.	SVELGING Aldri gi noe via munn til en bevisløs person. Rens munn med vann. Konsulter med lege.  INNÅNDING Flytt personen til et område med frisk luft. Hvis personen ikke puster skal kunstig åndedrett gis. Konsulter med lege.
SPESIELLE MERKNADER					
SPILL/ RESTER	Samles opp og destrueres i henhold til lokale retningslinjer.				
LAGRING	Beholderen skal være godt lukket og oppbevares på et tørt og godt ventilert sted.				

NTNU	<b>Hazardous activity identification process</b>				Risikovurdering	Nummer	Dato
					HMS	HMS-avd.	HMSRV2601
		Godkjent av	Side	Erstatter			



Unit:

*Kjemisk prosess teknologi*

Date:

14.09.2012

Line manager:

*Øyvind Gregersen*

Participants in the identification process (including their function):

Short description of the main activity/main process.

ID no.	Activity/process	Responsible person	Laws, regulations etc.	Existing documentation	Existing safety measures	Comment
1	Fenton oxidation	T.G.S		Kinetic studies using UV-VIS spectroscopy, Fenton reaction	Safety goggles, lab coat	
2						
3						
4						



## B Fremstilling av løsninger

20 mg/L Naphtol blue black: 2 liter skal lages. 0.04 gram NBB kan da løses i vann, og volumet fylles opp til 2 liter.

FeSO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O: M<sub>FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O</sub> = 278.0171 g/mol. For 1 liter løsning med X g FeSO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O:

$$c_{\text{FeSO}_4} = \frac{X \text{ [g FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O]}}{278.017 \text{ [g FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O/mol]}} = Y \text{ [mol FeSO}_4\text{/ L sol.]} \quad (\text{B.1})$$

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: Har 4 M løsning. For å lage 1 M løsning må startløsningen fortynnes 1:4 med vann.

$$c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{c_0(\text{H}_2\text{SO}_4)}{4} \quad (\text{B.2})$$

NaOH: M<sub>NaOH</sub> = 39.9971 g/mol. 1 M NaOH-løsning kan lages ved at 3.99971 gram NaOH (s) veies ut, og vann tilsettes til løsningen har et totalt volum på 100 mL.

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: Utlevert konsentrasjon er c<sub>0</sub>, og ønsket konsentrasjon er c. Tetthetene til vann og hydrogenperoksid kan antas å være like. Dette kan oppnås ved å:

$$c_{\text{H}_2\text{O}_2} = \frac{370 \text{ [g H}_2\text{O}_2\text{/1000 g]}}{34.0147 \text{ [g H}_2\text{O}_2\text{/mol]}} = 10.877 \text{ [mol H}_2\text{O}_2\text{/ L sol.]} \quad (\text{B.3})$$



## C Absorbansmålinger og notater fra labdagen

Fæstern oversigt:

$$M_{\text{NBS}} = 20.9 \text{ mg} \quad (\text{nr. 13} \rightarrow)$$

måling  
1)  $M_{\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}} = 4.9 \text{ mg}$ ,  $\text{pH} = 3.007$  *katalysator  
eddeløst?*  
 $T = 22.0^\circ\text{C}$

måling  
2)  $m_{\text{Fe}} = 5.1 \text{ mg}$   $\text{pH} = 3.027$   $(\text{nr. 196} \rightarrow)$   $(200, 230, 260, 300)$   
 $T = 22^\circ\text{C}$

måling  
3)  $M_{\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}} = 10.2 \text{ mg}$   $\text{pH} = 2.960$   $(\text{nr. 71} \rightarrow)$   
 $T = 22^\circ\text{C}$   $(73, 90, 110, 120)$

måling  
5)  $(\text{nr. 132} \rightarrow)$ ,  $M_{\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}} = 15.7 \text{ mg}$   
 $\text{pH} = 2.980$   $T = 22.0^\circ\text{C}$   $(133, 150, 170, 192)$

Q: Hva er  $l$  i  $A = \epsilon \cdot c \cdot R \cdot l$   $A$ : *konsekvens*  
( $2 \times$  avstanden? pga. refleksjon).

måling  
4)  $m_{\text{Fe}} = 10.8 \text{ mg}$   $\text{pH} = 3.044$   
 $T = 22.0^\circ\text{C}$   $(\text{nr. 316} \rightarrow)$   $(317, 327, 337, 347)$

Q: Lage mer saltløsning for pH-meter?

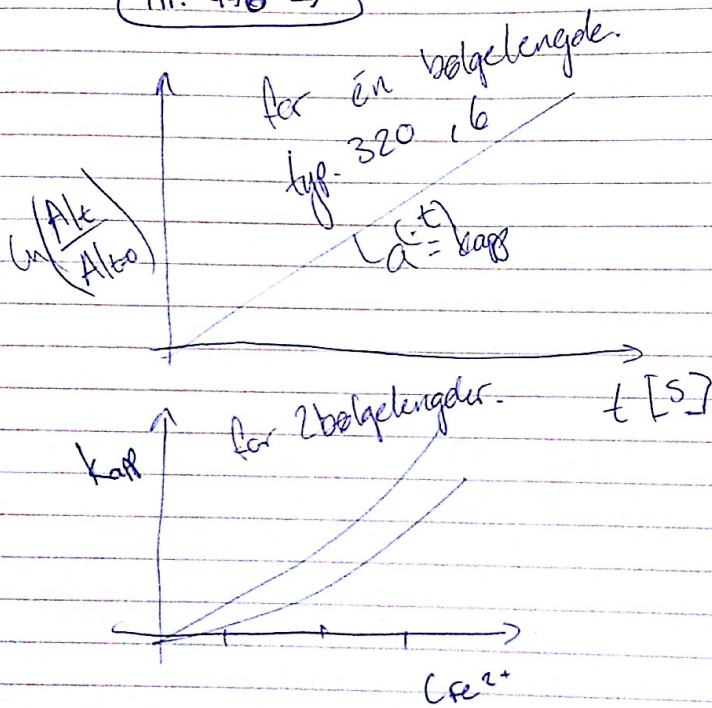
måling  
6)  $m_{\text{Fe}} = 15.5 \text{ mg}$   $T = 22.0^\circ\text{C}$   $560, 370, 389, 400$   
 $\text{pH} = 3.017$   $(\text{nr. 357} \rightarrow)$

Q: apparatur bort? NEI!

7]  $T = 30^\circ\text{C}$   $g_{\text{Fe}} = 4,9 \text{ mg}$

$\text{pH} = 2,985$  (80,90, 00,520,555)

nr. 475 →



### MÅLING 1

BØLGELENGDE: 618.057605353733

t [s]	A
0	0.56493378
108	0.36297749
338	0.1404677
518	0.04946242

### MÅLING 2

BØLGELENGDE: 320.461094418908

t	A
0	0.43216593
258	0.40421625
558	0.39011682
958	0.38584156

BØLGELENGDE: 618.057605353733

t	A
0	0.59599427
258	0.28658811
558	0.1302893
958	0.06271148

### MÅLING 3

BØLGELENGDE: 618.057605353733

t	A
0	0.58748475
8	0.54651895
41	0.3992104
141	0.16137938

### MÅLING 4

BØLGELENGDE: 618.632178277858

t	A
0	0.49211687
100	0.18085976
200	0.05556391
300	0.00152962

### MÅLING 6

BØLGELENGDE: 618.057605353733

t	A
0	0.37225149
100	0.07083177
200	0.00164393
400	0.00109757

### MÅLING 5

BØLGELENGDE: 618.057605353733

t	A
0	0.4798808
170	0.11625215
370	0.03230668
590	0.00851455

### MÅLING 7

BØLGELENGDE: 618.057605353733

t	A
0	0.38960271
100	0.14825389
200	0.02072832
400	0.00190006
750	0.00114595