



**Instytut Matematyki, Fizyki i Chemii**

**Zakład Chemii**

**Laboratorium chemii technicznej**

**Ćwiczenie laboratoryjne**

**Kataliza i katalizatory**

Opracowali:

dr inż. Andrzej Kozłowski

dr inż. Agnieszka Kalbarczyk-Jedynak

dr Magdalena Ślęczka-Wilk

dr inż. Konrad Ćwirko

mgr inż. Czesław Wiznerowicz

Grażyna Gorzycka

**KIEROWNIK**  
**Zakładu Chemii**  
*Kalbarczyk-Jedynak*  
dr inż. Agnieszka Kalbarczyk-Jedynak

Szczecin 2023

## KARTA ĆWICZENIA

1	<b>Powiązanie z przedmiotami:</b> ESO/26, DiRMiUO/26, EOUNIE/26		
	<b>Specjalność/Przedmiot</b>	<b>Efekty kształcenia dla przedmiotu</b>	<b>Szczegółowe efekty kształcenia dla przedmiotu</b>
	ESO/25 Chemia Techniczna	EKP1 K_W01, K_W02, K_U05 EKP2 K_U08, K_U09	SEKP7 – Opanowanie wiedzy doświadczalnej w badaniu szybkości reakcji chemicznych oraz wyciąganie wniosków z prowadzonych eksperymentów. Opanowanie wiedzy dotyczącej mechanizmu i rodzaju katalizy oraz identyfikowania katalizatorów i inhibitorów. Poszerzenie wiedzy dotyczącej zastosowań katalizatorów w technice i ochronie środowiska.
	ESO/26 Chemia Wody, paliw i smarów	EKP3 K_U014, K_U015, K_U016	SEKP6 – Oznaczenia zawartości w wodzie technicznej tlenu i azotu amonowego. SEKP6 – Oznaczanie w wodzie technicznej inhibitorów korozji.
	DiRMiUO/26 Chemia Wody, paliw i smarów	EKP3 K_U014, K_U015, K_U016	SEKP6 – Oznaczenia zawartości w wodzie technicznej tlenu i azotu amonowego SEKP6 – Oznaczanie w wodzie technicznej inhibitorów korozji.
	EOUNIE/26 Chemia Wody, paliw i smarów	EKP3 K_U014, K_U015, K_U016	SEKP6 – Oznaczenia zawartości w wodzie technicznej tlenu i azotu amonowego SEKP6 – Oznaczanie w wodzie technicznej inhibitorów korozji
2	<b>Cel ćwiczenia:</b> 1. Poznanie i utwalenie podstawowych pojęć związanych z szybkością reakcji chemicznych oraz katalizą. 2. Poznanie praktycznego wpływu wybranych czynników na szybkość reakcji chemicznych w warunkach laboratoryjnych. 3. Analizowanie teoretycznego sposobu wpływania na przyspieszenie lub opóźnienie procesów chemicznych.		
3	<b>Wymagania wstępne:</b> ogólna wiedza chemiczna dotycząca szybkości reakcji chemicznych, katalizy oraz katalizatorów		
4	<b>Opis stanowiska laboratoryjnego:</b> Podstawowy sprzęt laboratoryjny- statyw z probówkami, łańcze wodne, mikrołopatki, stoper z sekundnikiem, odczynniki chemiczne – 0,1M kwas siarkowy (VI) H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; 0,1M manganian (VII) potasu, KMnO <sub>4</sub> ; 0,1M kwas szczawiowy H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ; 0,1M kwas octowy; 3% roztwór nadtlenu wodoru, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; tlenek manganu (IV) MnO <sub>2</sub> , tlenek ołowiu (IV) PbO <sub>2</sub> ; siarczan (VI) manganu (II), MnSO <sub>4</sub> ; siarczan (IV) sodu, Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ;		

5	<p><b>Ocena ryzyka:</b>  prawdopodobieństwo oparzenia chemicznego wynikające z kontaktu z 0,2 M kwasem siarkowym jest bardzo małe, skutki – nikłe,  Końcowa ocena – <b>ZAGROŻENIE BARDZO MAŁE</b></p> <p><b>Wymagane środki zabezpieczenia:</b>  1. Fartuchy, rękawice i okulary ochronne.  2. Środki czystości BHP, ręczniki papierowe.</p>
6	<p><b>Przebieg ćwiczenia:</b>  1. Zapoznanie się z instrukcją stanowiskową do ćwiczenia (załącznik 1),  2. Wykonanie poszczególnych ćwiczeń zgodnie z instrukcją.</p>
7	<p><b>Sprawozdanie z ćwiczenia:</b>  1. Opracować ćwiczenie zgodnie z poleceniami zawartymi w instrukcji stanowiskowej.  2. Rozwiązać polecone zadanie i/lub odpowiedzieć na pytania zamieszczone w zestawie zadań i pytań do samodzielnego wykonania przez studenta.</p>
8	<p><b>Archiwizacja wyników badań:</b> Sprawozdanie z ćwiczenia złożyć w obowiązującej formie na początku kolejnych ćwiczeń laboratoryjnych.</p>
9	<p><b>Metoda i kryteria oceny:</b></p> <p>a. EKP1, EKP2 – kontrola znajomości podstawowych pojęć chemicznych dotyczących szybkości reakcji chemicznych, procesu katalizy, katalizatorów oraz inhibitorów podczas przeprowadzonych zajęć,</p> <p>b. SEKP7 – szczegółowy efekt kształcenia studenta oceniony zostanie na podstawie przedstawionych w sprawozdaniu obserwacji, wniosków oraz rozwiązanych zadań i problemów poleconych do samodzielnego rozwiązania/ opracowania:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ocena 2,0 – student ma zbyt małą wiedzę dotyczącą szybkości reakcji chemicznych, czynników wpływających na szybkość reakcji, procesu katalizy, katalizatorów i inhibitorów, albo nie potrafi rozwiązać zadań prostych dotyczących wyżej wymienionych pojęć;</li> <li>– ocena 3,0 – posiada podstawową wiedzę chemiczną dotyczącą szybkości reakcji chemicznych, procesu katalizy, katalizatorów i inhibitorów i potrafi rozwiązać proste problemy w swoim zawodzie dotyczące wyżej wymienionych pojęć;</li> <li>– ocena 3,5 – 4,0 – posiada poszerzoną wiedzę chemiczną i z zakresu szybkość reakcji chemicznych oraz procesu katalizy i posiada umiejętność rozwiązywania zadań złożonych w swojej specjalności dotyczących wyżej wymienionych pojęć;</li> <li>– ocena 4,5 – 5,0 – posiada umiejętność stosowania złożonej wiedzy dotyczącej szybkości reakcji chemicznych oraz procesu katalizy, i potrafi rozwiązywać zadania problemowe w swojej specjalności dotyczące wyżej wymienionych pojęć.</li> </ul>
10	<p><b>Literatura:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stundis H., Trzeźniowski W., Żmijewska S.: <i>Ćwiczenia laboratoryjne z chemii nieorganicznej</i>. WSM, Szczecin 1995.</li> <li>2. Kozłowski A., Gabriel-Półrolniczak U., Ćwirko K., <i>Instrukcja stanowiskowa do ćwiczeń laboratoryjnych: Szybkość reakcji chemicznych. Kataliza</i>, AM Szczecin, 2013.</li> <li>3. Kozłowski A., <i>Materiały dydaktyczne z chemii technicznej</i>, opracowane do zajęć audytoryjnych (nie publikowane).</li> <li>4. Cox. P.A. przekład Z. Zawadzki: <i>Chemia nieorganiczna</i>. PWN. Warszawa 2006.</li> <li>5. Drapała T.: <i>Chemia ogólna i nieorganiczna</i>. SGGW, Warszawa 1994.</li> <li>6. Bielański A.: <i>Chemia ogólna i nieorganiczna</i>. PWN, Warszawa 1994.</li> </ol>

	<p>7. Jones L., Atkins P., <i>Chemia ogólna. Cząsteczki, materia reakcje</i>, WN PWN, Warszawa 2004</p> <p>8. Mastalerz P.: <i>Elementarna chemia nieorganiczna</i>. Wydawnictwo Chemiczne. Warszawa 2000.</p> <p>9. Śliwa A.: <i>Obliczenia chemiczne. Zbiór zadań</i>. PWN. Warszawa 1994</p> <p>10. Pazdro M. <i>Zbiór zadań z chemii dla szkół średnich</i>.</p> <p>11. Zasoby Open AGH. <a href="http://open.agh.edu.pl/open2/">http://open.agh.edu.pl/open2/</a></p> <p>12. <a href="http://autokult.pl/2011/06/30/reaktor-katalityczny-czyli-nasz-stary-dobry-katalizator">http://autokult.pl/2011/06/30/reaktor-katalityczny-czyli-nasz-stary-dobry-katalizator</a></p>
11	Uwagi

# ZAŁĄCZNIK 1 – INSTRUKCJA

## 1. ZAKRES ĆWICZENIA

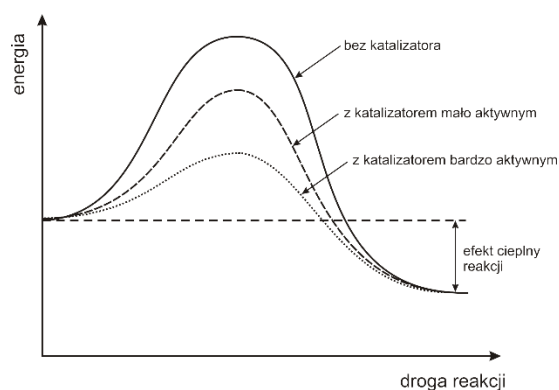
### Zagadnienia i słowa kluczowe:

- podstawowe pojęcia związane z katalizą,
- mechanizm działania katalizy,
- pojęcie katalizatora i inhibitora,
- praktyczne wykorzystanie katalizy, kontakty, konwertery katalityczne.

## 2. WPROWADZENIE TEORETYCZNE DO ĆWICZENIA

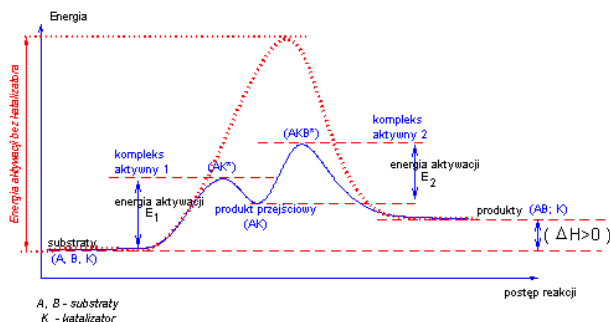
### 2.1. Kataliza i katalizatory

Katalizatorem nazywa się substancję, której obecność w mieszaninie reagentów zwiększa szybkość reakcji, a inhibitorem – substancję, której obecność powoduje obniżenie szybkości reakcji. Na rys. 1 przedstawiono wpływ katalizatora na energie aktywacji.



Rys. 1. Wpływ katalizatora na energię aktywacji

Działanie katalizatora polega na „zamianie” reakcji o dużej energii aktywacji  $E_a$  (bez katalizatora) na dwie, lub więcej, reakcji o mniejszej energii aktywacji. Innymi słowy droga od substratów do produktów zostaje zamieniona na ciąg reakcji elementarnych z udziałem katalizatora, o niskich energiach aktywacji poszczególnych etapów.



Rys. 2. Droga reakcji elementarnych o niskich energiach aktywacji poszczególnych etapów z katalizatorem

Czasami, gdy pewne procesy (np.: korozja, rozkład substancji) przebiegają zbyt szybko i chcemy je spowolnić lub sterować ich szybkością stosowane są inhibitory (czasami zwane „ujemnymi” katalizatorami). Zarówno katalizator jak i inhibitor praktycznie nie ulegają zużyciu podczas reakcji, po jej zakończeniu pozostają w stanie niezmienionym w stosunku do ich stanu sprzed reakcji.

Katalizator/inhibitor zmienia w jednakowym stopniu szybkość reakcji biegnącej z lewej na prawo, jak i reakcji odwrotnej. Katalizatory nie wpływają na położenie stanu równowagi, przyspieszają jedynie czas, po którym ta równowaga zostanie osiągnięta.

Szczególnym rodzajem katalizy chemicznej jest biokataliza enzymatyczna. Enzymy są to substancje białkowe, zawierające grupy hydrofilowe i hydrofobowe, warunkujące, poprzez różnego typu oddziaływania, strukturę przestrzenną białka enzymu. Enzymy ze względu na swój białkowy charakter są bardzo wrażliwe na wartość pH środowiska reakcji oraz temperaturę.

Istotnymi cechami katalizatorów/inhibitorów są ich selektywność i specyficzność. Selektywność katalizatora jest to zdolność do przyspieszania/opóźniania tylko niektórych z procesów możliwych w danym środowisku.

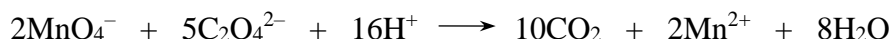
Specyficzność katalizatora powoduje, że działanie każdego z katalizatorów/inhibitorów ogranicza się co najwyżej do kilku różnych reakcji.

W zależności od tego, czy katalizator i substancje reagujące znajdują się w tej samej fazie, czy też katalizator stanowi oddzielną fazę, **katalizę** określa się odpowiednio jako **homogeniczną** i **heterogeniczną**. Przykładem katalizy homogenicznej może być reakcja estryfikacji kwasu octowego metanolem w obecności kwasu siarkowego(VI) jako katalizatora. Substraty reakcji oraz katalizator występują w fazie ciekłej. Innymi przykładami może być hydroliza sacharozy katalizowana jonami  $H^+$ , lub utlenianie  $SO_2$  katalizowane przez tlenek wanadu i platyną (jako przykład katalizy w fazie gazowej).

W przypadku katalizy heterogenicznej najczęściej mamy do czynienia z katalizatorem występującym w fazie stałej (tzw. kontaktem) oraz reagentami, które znajdują się w fazie gazowej lub ciekłej.

Przykładem katalizy heterogenicznej może być synteza amoniaku z azotu i wodoru na katalizatorze żelazowym lub rozkład wody utlenionej katalizowany przez tlenek manganu(IV).

Znane są również reakcje, w których rolę katalizatora pełni jeden z produktów reakcji. Ten typ katalizy nazywa się **autokatalizą**. Jej przykładem jest reakcja redukcji manganianu(VII) potasu przez kwas szczawiowy w środowisku kwaśnym:

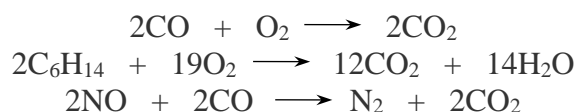


W reakcji tej katalizatorem są powstające w trakcie reakcji jony  $Mn^{2+}$ .

## 2.2.Znaczenie katalizatorów w praktyce

Poprawną naukową nazwą katalizatora samochodowego jest konwerter katalityczny. Konwerter katalityczny jest nieodzownym elementem układu wydechowego, aby nowo wyprodukowany samochód spełnił obowiązujące normy czystości spalin. Podczas pracy silników o zapłonie iskrowym w spalinach emitowane są do otoczenia szkodliwe substancje. Najniebezpieczniejszymi z nich są tlenek węgla (CO), węglowodory (HC) i tlenki azotu ( $NO_x$ ). Katalizatory w silnikach o zapłonie iskrowym powinny mieć możliwość zredukowania tlenków azotu oraz utlenienia tlenku węgla (do dwutlenku węgla) i węglowodorów (w wyniku którego powstaje woda oraz dwutlenek węgla).

Normy czystości spalin wymuszają zmniejszenie zawartości szkodliwych substancji w spalinach, a jednym ze sposobów jest ich oczyszczenie na drodze odpowiednio dobranych chemicznych reakcji utleniania i redukcji.

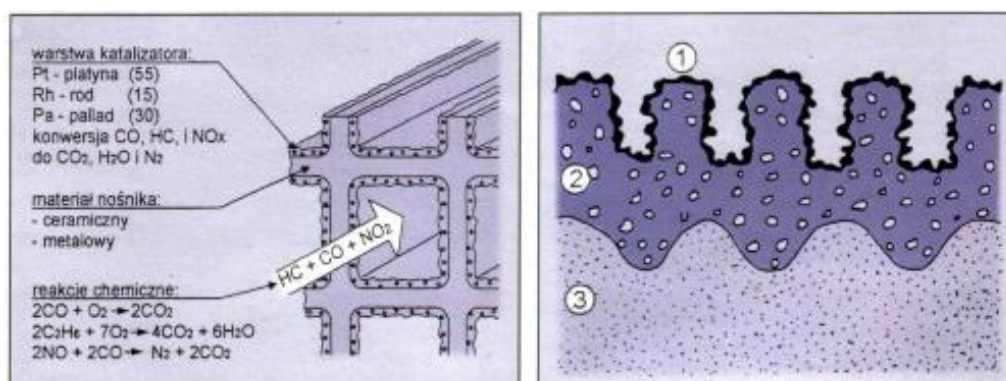


Masą czynną w reaktorach katalitycznych jest zwykle platyna, pallad oraz rod. Odpowiedni dobór substancji katalitycznych powoduje, że w wyniku takich wymuszonych katalizatorami przebiegów reakcji powstają związki chemiczne mniej (lub wcale) nie uciążliwe dla środowiska (np. z tlenku węgla powstaje dwutlenek węgla). Mimo, że katalizatory (jako substancje chemiczne) nie zużywają się, to trwałość reaktora katalitycznego szacuje się na ok. 80 – 100 tys. km, choć potrafią one służyć nawet dwukrotnie dłużej. Konwerter katalityczny jest umieszczany bliskim sąsiedztwie silnika. Dzięki takiemu umieszczeniu reaktor może szybciej się nagrzewać do swojej właściwej temperatury pracy (zwykle powyżej 300 – 400°C). Może być on także podgrzewany przez dodatkowe procesy (jak dotrysk paliwa, opóźnianie zapłonu) lub wspomagany małym konwerterem rozruchowym, działającym tuż po uruchomieniu silnika.

W silnikach benzynowych stosowane są konwertery trójfunkcyjne. Oznacza to, że pełnią one trzy role: utleniania tlenku węgla (do dwutlenku węgla, który nie jest szkodliwy dla człowieka, ale mimo wszystko negatywnie wpływa na efekt cieplarniany), utleniania węglowodorów (w wyniku czego powstaje woda oraz dwutlenek węgla) i redukcji tlenków azotu. Aby te trzy procesy mogły prawidłowo przebiegać, wymagany jest odpowiedni skład mieszanki paliwowo-powietrznej, dlatego niezbędna jest jej kontrola nadmiaru powietrza przy pomocy tzw. sondy lambda.

W silnikach wysokoprężnych ze względu na specyfikę ich pracy (na ubogiej mieszance) niemożliwa jest jednoczesna redukcja tlenków azotu ze spalin. Dlatego też wykorzystywane są dodatkowe konwertery, w których substancją katalityczną jest np. mocznik, który jednak ulega zużyciu.

Reaktor katalityczny zbudowany jest z rdzenia wykonanego w postaci monolitu ceramicznego lub metalowego o strukturze plastra miodu, warstwy pośredniej, warstwy aktywnej, warstwy uszczelniającej i izolującej cieplnie w postaci mat oraz żaroodpornej obudowy wykonanej ze stali odpornej na korozję.

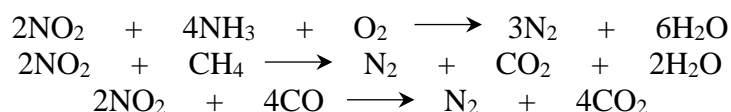


Rys. 3. Katalizator trójfunkcyjny:  
 1. Warstwa katalityczna, 2. Warstwa pośrednia, 3. Nośnik ceramiczny

Monolit zbudowany jest z dużej liczby kanalików ułożonych poprzecznie zgodnie z kierunkiem przepływu spalin. Oddzielone są one od siebie cienkimi ściankami, a w przekroju poprzecznym monolit tworzy strukturę podobną do plastra miodu.

Monolity ceramiczne posiadają kanaliki o kwadratowym kształcie, ale także mogą być prostokątne, trójkątne czy sześciokątne, co spotykane jest rzadziej. Grubość ich ścianek wynosi ok. 0,05 – 0,15 mm. Monolity metalowe wykonane są z bardzo cienkich folii ze stali odpornej na korozję. Formowane są poprzez zwijanie dwóch blach o różnej strukturze, które są następnie lutowane bądź zgrzewane. Grubość ścianek wynosi ok 0,03 – 0,07 mm.

Rozkład katalityczny tlenków azotu jest prostą metodą usuwania ich ze strumienia gazów przemysłowych. Redukcja katalityczna stosowana w procesach usuwania tlenków azotu z gazów odlotowych polega na redukcji tlenków azotu za pomocą amoniaku, tlenku węgla lub węglowodorów w obecności katalizatorów. Katalizatorami tej reakcji są metale szlachetne jak platyna, pallad, rod naniesione na ceramiczne nośniki. Reakcje zachodzą według schematu:



Inhibitory korozji. Nazwą inhibitorów korozji objęte są substancje, które dodane w małym stężeniu do agresywnego środowiska powodują znaczne zmniejszenie szybkości korozji metalu stykającego się z tym środowiskiem.

Jeżeli metal jest w kontakcie z fazą gazową (gazy spalinowe, inne gazy agresywne lub wilgotne powietrze) – stosuje się inhibitory lotne lub kontaktowe. Gdy faza jest roztwór elektrolitu – stosuje się inhibitory do kwasowych, zasadowych lub obojętnych środowisk.

Istnieje szereg różnych klasyfikacji inhibitorów, uwzględniających skład chemiczny (inhibitory organiczne lub nieorganiczne), środowisko korozyjne lub mechanizm ich działania. Żaden z tych podziałów nie jest jednak w pełni jednoznaczny.

W niniejszym opisie przyjęto podział inhibitorów ze względu na elektrochemiczny mechanizm ich działania, który wyodrębnia trzy następujące grupy:

- inhibitory katodowe,
- inhibitory anodowe,
- inhibitory o działaniu mieszanym.

Inhibitory anodowe dla przykładu zwiększają polaryzację anodową metalu i wskutek tego przesuują potencjał korozyjny w kierunku dodatnim. Do grupy tej zalicza się związki chemiczne o działaniu utleniającym (pasywatory) lub kryjącym. Aniony, które zwykle stanowią grupę czynnych związków, migrują do powierzchni metalu i w sprzyjających warunkach pasywują metal, często przy współdziałaniu tlenu.

Pasywatory są to inhibitory utleniające wprowadzone do agresywnego środowiska, które zapobiegają rozpuszczaniu się metalu, gdyż powodują tworzenie się na powierzchni metalu, tlenków tego metalu. W wyniku tej reakcji na powierzchni metalu powstaje zwarta warstwa tlenkowa, która powstrzymuje hydratację i przechodzenie jonów metalu do roztworu. Do najważniejszych pasywatorów zalicza się azotany(III) i chromiany(VI).

Inhibitory kryjące są to substancje alkaliczne o działaniu buforowym, np. NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, fosforany, krzemiany, benzoesany oraz lotne aminy. Stosowane są one do ochrony żelaza i stali w układach wodnych przy pH zbliżonym do obojętnego, przy czym skuteczne



działanie zapewnia stężenie rzędu  $10 \text{ mol/dm}^3$ . Ze względu na swoją nietoksyczność krzemiany znalazły zastosowanie jako inhibitory do obiegu wody pitnej.

Efekt ochronny inhibitora zależy od wielu czynników, z których najważniejszymi są: stężenie inhibitora, pH oraz rodzaj i stężenie agresywnych jonów w środowisku, temperatura i prędkość przepływu środowiska. Oddziaływanie wymienionych czynników uwarunkowane jest ich wpływem na kinetykę i mechanizm przebiegających reakcji na powierzchni metalu w danym środowisku korozyjnym.

### 3. WYKONANIE ĆWICZENIA

#### Doświadczenie 1 – Kataliza

##### Materiały i odczynniki:

Roztwór kwasu siarkowego (VI) ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 1 : 3), manganian (VII) potasu (0,1M  $\text{KMnO}_4$ ), azotan (V) potasu (1M  $\text{KNO}_3$ ), cynk metaliczny (Zn) w granulках.

##### Wykonanie:

Do dwóch probówek wlać po  $2\text{cm}^3$  roztworu kwasu siarkowego (VI) ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 1 : 3) dodać po kilka kropli roztworu manganianu(VII) potasu (0,1M  $\text{KMnO}_4$ ) i wstrząsnąć. Do jednej z probówek dodać dwie krople azotanu(V) potasu (1M  $\text{KNO}_3$ ), następnie do obu probówek wrzucić jednocześnie po granulce cynku (Zn). Obserwować szybkość odbarwienia się roztworu w obu przypadkach.

##### Opracowanie wyników:

1. Opisać przebieg doświadczenia pamiętając, że reakcja między azotanem(V) potasu i manganianem(VII) potasu nie zachodzi.
2. Jaki rodzaj katalizy występuje w przeprowadzonym doświadczeniu?

#### Doświadczenie 2 – Wpływ obecności katalizatora na szybkość reakcji

##### Materiały i odczynniki:

Roztwór manganianu(VII) potasu (0,1M  $\text{KMnO}_4$ ), kwas siarkowy(VI) (0,1M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), kwas szczawiowy (0,1M  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ), siarczan(VI) manganu(II) ( $\text{MnSO}_4$ ), cylinder miarowy.

##### Wykonanie:

Do probówki pierwszej wlać  $4\text{cm}^3$  manganianu(VII) potasu (0,1M  $\text{KMnO}_4$ ) i  $4\text{cm}^3$  kwasu szczawiowego (0,1M  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) do drugiej probówki to samo:  $4\text{cm}^3$  manganianu(VII) potasu (0,1M  $\text{KMnO}_4$ ) i  $4\text{cm}^3$  kwasu szczawiowego (0,1M  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ). Otrzymane roztwory zakwasić 2 – 3 kroplami kwasu siarkowego(VI) (0,1M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Do probówki drugiej dodać kryształek siarczanu(VI) manganu(II) ( $\text{MnSO}_4$ ) i obserwować zmianę barwy roztworu.

##### Opracowanie wyników:

1. Przedstawić zachodzącą reakcję odpowiednim równaniem wiedząc, że jednym z produktów, oprócz wydzielającego się gazu, są jony  $\text{Mn}^{2+}$ .
2. Wyjaśnić wpływ dodatku kryształu siarczanu(VI) manganu(II) na szybkość reakcji.

## Doświadczenie 3 – Wpływ obecności katalizatora/ inhibitora na szybkość reakcji

### Materiały i odczynniki:

Roztwór nadtlenu wodoru (3%  $\text{H}_2\text{O}_2$ ); tlenek manganu(IV) ( $\text{MnO}_2$ ), tlenek ołowiu(IV) ( $\text{PbO}_2$ ), roztwór kwasu ortofosforowego(V) (0,1M  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), cylinder miarowy.

### Wykonanie:

Do dwóch probówek wlać po 4  $\text{cm}^3$  roztworu nadtlenu wodoru ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Pierwszą probówkę pozostawić jako wzorzec. Do drugiej probówki dodać pół mikrołopatki tlenku manganu(IV) ( $\text{MnO}_2$ ). Porównać zmiany szybkości rozkładu nadtlenu wodoru w obu probówkach. Do wylotu obu probówek wprowadzić żarzące się łuczywko. Doświadczenie powtórzyć z tlenkiem ołowiu(IV) ( $\text{PbO}_2$ ).

Tabela 1

Zestawienie wyników dla doświadczenia 3

Probówka	Dodana substancja	Zmiana szybkości reakcji*	Rodzaj katalizatora**	Zachodzące reakcje	Wnioski, rodzaj katalizy
1	$\text{MnO}_2$				
2	$\text{PbO}_2$				
3	Kwas ortofosforowy(V)				
4	bez dodatku				

\* + mała; ++ średnia; +++ duża,

\*\* brak katalizatora, dobry, słaby, inhibitor

### Opracowanie wyników:

Ocenić szybkość rozkładu nadtlenu wodoru obserwując szybkość spalania łuczywka w wydzielającym się tlenie.

1. Określić charakter dodanych substancji (katalizator, inhibitor) ze względu na ich wpływ na szybkość reakcji rozkładu; czwarta probówka zawierająca tylko roztwór nadtlenu wodoru pełni rolę odnośnika.
2. Napisać reakcję samorzutnego rozkładu nadtlenu wodoru oraz reakcje zachodzące w obecności katalizatora.
3. Podsumować doświadczenie wnioskami.

#### **4. OPRACOWANIE ĆWICZENIA**

1. Opracować sprawozdanie zgodnie z wytycznymi zawartymi w części doświadczalnej.
2. Formatkę z tematem ćwiczenia i nazwiskami członków zespołu umieścić jako pierwszą stronę sprawozdania.
3. Po zwięzłym opracowaniu części teoretycznej w sprawozdaniu umieścić opracowanie poszczególnych doświadczeń oraz rozwiązane zadanie/zadania dodatkowe podane przez prowadzącego.

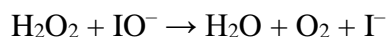
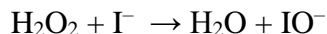
#### **5. FORMA I WARUNKI ZALICZENIA ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO**

1. Zaliczenie tzw. „wejściówki” przed przystąpieniem do wykonania ćwiczenia.
2. Złożenie poprawnego sprawozdania pisemnego z wykonanego ćwiczenia (zgodnie z wytycznymi do opracowania sprawozdania wg. <https://www.am.szczecin.pl/pl/jednostki/instytut-matematyki-fizyki-i-chemii/zaklad-chemii/dydaktyka/chemia-techniczna/chemia-tech-lab/>) na następnych zajęciach.

## I. Przykładowe zadanie z rozwiązaniem

### Przykład

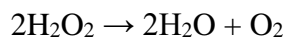
Reakcja przebiega w dwóch etapach:



- napisz sumaryczne równanie tej reakcji,
- wskaż produkt przejściowy,
- wskaż katalizator.

### Rozwiązanie:

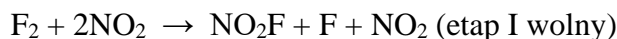
Sumaryczne równanie reakcji wygląda następująco:



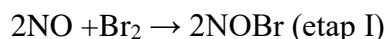
Produktem przejściowym reakcji jest:  $\text{IO}^-$ , natomiast katalizatorem reakcji jest:  $\text{I}^-$ .

## II. Zadania i pytania do samodzielnego wykonania przez studenta

1. Reakcja chemiczna przebiega w dwóch etapach:



- napisz równanie sumaryczne dla tej reakcji;
  - określ, który etap decyduje o całkowitej szybkości reakcji;
  - określ reagent przejściowy.
2. Na podstawie podanej poniżej reakcji ustal:



- wzór katalizatora,
  - wzór produktu przejściowego,
  - równanie reakcji bez katalizatora.
3. Określ, czy podane katalizatory są homo czy heterogeniczne:
- Fe w reakcji bromowania benzenu,
  - $\text{MnO}_2$  w reakcji rozkładu wodnego roztworu  $\text{KMnO}_4$ ,
  - $\text{H}_2\text{SO}_4$  w reakcji kwasu mrówkowego z metanolem,
  - $\text{H}_2\text{O}$  w reakcji syntezy jodku glinu z pierwiastków.

4. W wyniku katalitycznego rozkładu 30 g  $\text{H}_2\text{O}_2$  otrzymano 988  $\text{cm}^3$  tlenu (warunki normalne). Obliczyć stężenie procentowe roztworu.
5. Wyjaśnij działanie katalizatora w reakcjach katalitycznych.
6. Wyjaśnij, dlaczego dobrze rozdrobniony, stały katalizator jest bardziej efektywny w przyspieszaniu reakcji niż katalizator o tej samej masie, lecz w postaci dużych pastylek.
7. Wyszukaj kilka przykładów zastosowania katalizatorów lub inhibitorów w technice lubochronie środowiska.
8. Do jakiego typu katalizatorów zaliczamy nikiel katalizujący syntezę amoniaku (gaz) z wodoru i azotu?