

Szybciej, łatwiej, wydajniej, taniej – czyli kataliza w chemii

Scenariusz lekcji chemii w liceum

■ ROMUALD PIOSIK, ELŻBIETA KOWALIK

Scenariusz powstał z myślą o młodzieży trzecich klas liceum ogólnokształcącego, o profilu biologiczno-chemicznym, realizującej program chemii w zakresie rozszerzonym. Merytorycznie powiązany jest z działem „Kinetyka i równowaga chemiczna”. Pozwala nauczycielowi chemii odnieść się do problematyki znanej uczniom z życia codziennego oraz zgłębianej na lekcjach biologii. Uczniowie, wykonując doświadczenia według instrukcji pisemnej, doskonalią następujące umiejętności:

1. posługiwanie się pojęciami takimi jak: kataliza (heterogeniczna, homogeniczna, kwasowo-zasadowa, autokataliza, biokataliza), katalizator, kontakt, centrum aktywne, kompleks aktywny, inhibitor;
2. interpretowanie mechanizmu reakcji katalitycznych;
3. klasyfikowanie katalizatorów na podstawie mechanizmu ich działania;
4. wyjaśnianie wpływu katalizatorów na przebieg procesów chemicznych oraz biochemicznych;
5. wyjaśnianie znaczenia katalizy w zmniejszaniu zagrożeń dla środowiska naturalnego;
6. dostrzeganie i interpretowanie zależności przyczynowo – skutkowych.

Cel ogólny tak przeprowadzonych zajęć można sformułować następująco: **udowodnienie młodzieży, że kataliza jest wszechobecna w naszym życiu, a jej zastosowania w przemyśle chemicznym są nadzieją na całkowite wyeliminowanie „brudnych technologii”.**

Scenariusz przewidziany jest na dwie godziny lekcyjne, połączone w jedną jednostkę

metodyczną. Najważniejszym członem scenariusza są opisy doświadczeń chemicznych, możliwych do wykonania w szkolnej pracowni chemicznej. Zestaw obejmuje dwa pokazy oraz 7 doświadczeń uczniowskich, wykonywanych w grupach 4–5 osobowych.

Uczniowie mają do dyspozycji:

- karty pracy, opisy wykonywanych na lekcji doświadczeń,
- odpowiednie odczynniki i sprzęt laboratoryjny.

1. Część organizacyjna

Zaproponowane w scenariuszu doświadczenia ułożone są w sekwencje tematyczne. Nauczyciel sam może zdecydować, czy skorzysta z wszystkich, czy dokona pewnego wyboru. Najkorzystniejsze byłoby rozwiązanie, w którym każda grupa uczniów wykonywałaby zaproponowane doświadczenia w sposób rotacyjny, gwarantujący zetknięcie się z wybranymi aspektami katalizy. W tym celu przed lekcją przygotowujemy siedem stanowisk. Przy każdym stanowisku pracować będzie czterech–pięciu uczniów (razem około trzydziestu). Na każdym stoliku znajduje się kilka probówek, mała zlewka, palnik gazowy lub spirytusowy, łapka do probówek, okulary ochronne. Do wspólnego użytku: woda destylowana.

Odczynniki chemiczne:

Glukoza, błękit metylenowy, kwas siarkowy(VI), kwas solny, jodek potasu, siarczan(VI) miedzi(II), siarczan(VI) manganu(II), zasada sodowa, skrobia, suszone

drożdże, kawałek surowego ziemniaka, woda wapienna, winian sodowo potasowy, nadtlenek wodoru (w postaci wody utlenionej oraz perhydroflu), siarczan(VI) żelaza(II), szczawian sodu, manganian(VII) potasu, tlenek manganu(IV), azotan(V) kobaltu(II), kostki cukru, glukoza, mąka, woda wapienna, drut miedziany, benzyna, azotan(V) srebra(I), woda amoniakalna, wodorotlenek sodu.

Sprzęt:

Zlewki, probówki, butelka lub kolba płaskodenna o pojemności 1 dm³, stoper, kolby okrągłodenne, kolby stożkowe, łaźnia wodna, pipeta z nasadką, szczytce metalowe, palnik spirytusowy.

2. Część wprowadzająca

- Uczniowie wymieniają przykłady zastosowania katalizatorów, znane z techniki, biologii, życia codziennego. Podawane informacje rejestrują na tablicy w formie odpowiedniego asocjogramu (Rys. 1).
- Uczniowie próbują samodzielnie sformułować definicję katalizy i katalizatora.
- Pracując w grupach nad przygotowanymi krótkimi tekstami wyjaśniają następujące pojęcia (każda grupa jedno):
 - kataliza heterogeniczna,
 - kataliza homogeniczna,
 - autokataliza,
 - biokataliza.
- Korzystając z wykresu przedstawiającego zmiany energetyczne, zachodzące podczas

reakcji bez katalizatora i w jego obecności wyjaśniają znaczenie terminów:

- kompleks aktywny,
- bariera energetyczna,
- regeneracja katalizatora.

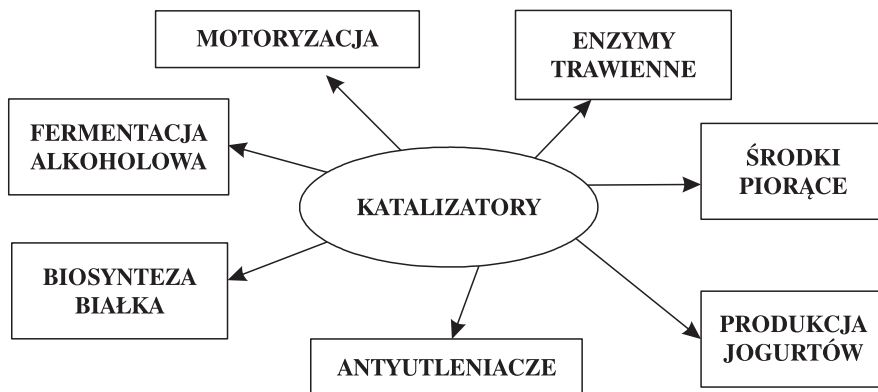
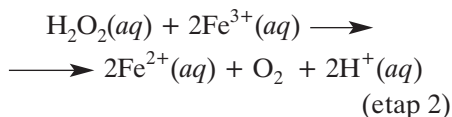
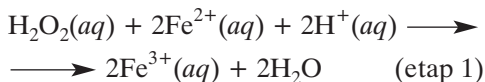
3. Część doświadczalna

Doświadczenie 1. Rozkład nadtlenuku wodoru w obecności jonów żelaza – kataliza homogeniczna

Do dwóch probówek wlewamy po 5 cm³ wody utlenionej (3% roztworu nadtlenuku wodoru), po czym do jednej z nich wkraplamy 1 cm³ 1 mol/dm³ roztworu siarczanu(VI) żelaza(II). Umieszczamy u wylotu probówki tłące się luczywo. Obserwujemy zmiany, zachodzące w obu probówkach.

Spodziewane obserwacje i wnioski:

W roztworze nadtlenuku wodoru w temperaturze pokojowej nie zachodzą zmiany. Po dodaniu jonów Fe²⁺ roztwór pieni się ponieważ zachodzi wydzielanie się gazu. Gazem tym jest tlen. Reakcja rozkładu nadtlenuku wodoru pod wpływem jonów Fe²⁺ zachodzi dwuetapowo:



Rys. 1.

W drugim etapie tej reakcji katalizator odtwarza się. W postaci sumarycznej, przebieg procesu można zapisać następującym równaniem reakcji:



Doświadczenie 2. Rozkład nadtlenu wodoru w obecności katalazy – kataliza heterogeniczna

Uwaga: Podczas wykonywania doświadczenia należy założyć okulary ochronne!

Do pierwszej probówki, zawierającej kilka cm^3 wody utlenionej (3% roztworu wodnego nadtlenu wodoru) dodajemy szczyptę suchych drożdży. Do drugiej probówki z kilkoma cm^3 wody utlenionej dodajemy nieco surowego, utartego ziemniaka. Do wylotu obu probówek wprowadzamy rozżarzone łuczywo.

Spodziewane obserwacje i wnioski:

W obu probówkach następuje intensywne wydzielanie się gazu, podtrzymującego palenie. Gazem tym jest tlen, produkt rozkładu nadtlenu wodoru. Suche drożdże oraz surowe ziemniaki zawierają enzym katalazę, który jest katalizatorem w przeprowadzonym doświadczeniu.



Katalaza pod wpływem wysokiej temperatury ulega rozkładowi, dlatego dodanie do wody utlenionej kawałka ugotowanego ziemniaka dałoby próbę negatywną.

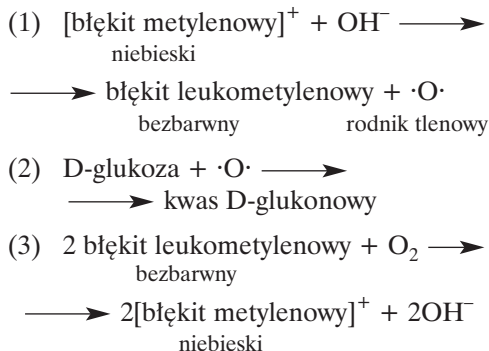
Katalaza jest enzymem z grupy oksydoreduktaz, katalizującym w żywych komórkach proces rozkładu nadtlenu wodoru, będącego niepożądanym produktem pośrednim w cyklach metabolicznych. Otrzymana po raz pierwszy w postaci krystalicznej w 1937 roku przez J.B. SUMNERA. Znaczne jej ilości występują w komórkach zwierzęcych, np. w wątrobie, nerce, leukocytach i erytrocytach (krwinkach czerwonych), w bakteriach tlenowych oraz w peroksysomach komórek roślinnych fotosyntezujących.

Doświadczenie 3. Tajemnica „niebieskiej butelki” – kataliza homogeniczna

Napełniamy butelkę lub kolbę płaskodenną o pojemności 1 dm^3 do połowy wodą destylowaną, wysypujemy do niej 5g stałego wodorotlenku sodu i całość starannie mieszamy, aż do uzyskania jednolitego roztworu. Rozpuszczamy w uzyskanym roztworze 10 g glukozy i dodajemy 2–5 cm^3 błękitu metylenowego. Otrzymany roztwór mieszamy starannie aż do uzyskania bezbarwnego, klarownego roztworu. Następnie zamykamy butelkę korkiem i wstrząsamy jej zawartość, aż do pojawienia się barwy niebieskiej. Po odstawieniu butelki barwa roztworu zanika, a po ponownym jej wstrząśnięciu – powraca. Czynność tę możemy powtórzyć kilkakrotnie.

Spodziewane obserwacje i wnioski:

Trwała na powietrzu glukoza, w obecności błękitu metylenowego zostaje utleniona do kwasu glukonowego. Sam błękit metylenowy w środowisku zasadowym tworzy bezbarwny związek, zwany błękitem leukometylenowym oraz rodnik tlenowy, powodujący utlenienie glukozy. Pod wpływem tlenu (z powietrza) forma leuko- (bezbarwna) przemienia się w błękit metylenowy (niebieski). Proces ten prawdopodobnie można opisać następującymi równaniami chemicznymi [1]:



Katalizatorem w tej reakcji jest błękit metylenowy, odtwarzający się w reakcji (3).

Dodatkowe informacje:

Doświadczenie z błękitem metylenowym miało istotne znaczenie w odkryciu

przez ROBERTA KOCHA w roku 1882 zarazków gruźlicy. Jeden z uczniów R. KOCHA, PAUL EHRLICH zabarwiał w ten sposób ich komórki.

Doświadczenie 4. Wykrywanie produktów pośrednich podczas katalitycznego utleniania anionów winianowych (anionów kwasu 2,3-dihydroksybutanodiowego)

Wskazówki metodyczne: Jedna część uczniów wykonuje wariant (1), a druga część wariant (2). Po wykonaniu całości uczniowie dzielą się spostrzeżeniami i wnioskami na forum klasy.

Wariant 1.

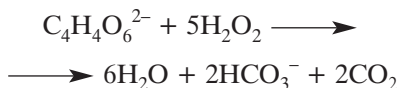
Do kolby okrągłodennej o pojemności 250 cm³ wlewamy 50 cm³ wody i dodajemy 3 g winianu sodowo-potasowego KOOC-(CHOH)₂-COONa. Po wymieszaniu składników podgrzewamy kolbę na łaźni wodnej do temperatury 40°C. Do tak przygotowanego roztworu wlewamy 20 cm³ 20% roztworu nadtlenku wodoru, zamykamy kolbę korkiem z rurką odprowadzającą, której koniec zanurzamy w probówce z wodą wapienną. Za pomocą stopera określamy czas pojawienia się zmętnienia.

Wariant 2.

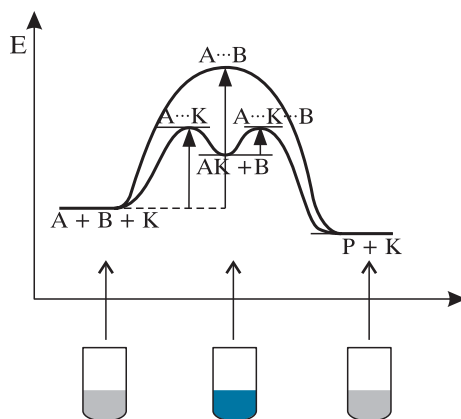
Do kolby okrągłodennej o pojemności 250 cm³ wlewamy 50 cm³ wody oraz dodajemy 3 g winianu sodowo-potasowego KOOC-(CHOH)₂-COONa. Po wymieszaniu składników podgrzewamy kolbę na łaźni wodnej do temperatury 40°C. Do tak przygotowanego roztworu wlewamy 20 cm³ 20% roztworu nadtlenku wodoru, dodajemy 0,2 g azotanu(V) kobaltu(II). Zamykamy kolbę korkiem z rurką odprowadzającą, której koniec zanurzamy w probówce z wodą wapienną. Za pomocą stopera określamy czas pojawienia się zmętnienia.

Spodziewane obserwacje i wnioski:

Aniony winianowe reagują z nadtlakiem wodoru w temperaturze 40°C bardzo wolno. W wyniku reakcji powstaje gaz, wywołujący zmętnienie wody wapiennej – tzn. tlenek węgla(IV). Przebieg reakcji można wyrazić równaniem:



Wprowadzenie do układu azotanu(V) kobaltu(II) powoduje znaczne przyspieszenie reakcji – tlenek węgla(IV) wydzielą się gwałtownie. Dodatkowym efektem jest zmiana barwy mieszaniny z różowej na ciemnozieloną, spowodowana utworzeniem kompleksu przejściowego. Po zakończeniu reakcji kompleks ulega rozkładowi i roztwór ponownie przybiera barwę różową¹. Proces ten można przedstawić odpowiednim diagramem (rys. 2).



Rys. 2. Wykres zmian energii podczas katalitycznego utleniania jonów winianowych

Doświadczenie 5. Utlenianie kwasu szczawiowego (etanodiowego (COOH)₂) – autokataliza

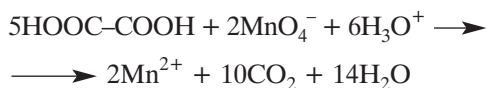
Wlewamy po 10 cm³ 0,25 mol/dm³ roztworu szczawianu sodu (przygotowanego

¹ Sole kobaltu(II) mają w roztworach wodnych charakterystyczną barwę różową, pochodzącą od uwodnionego jonu [Co(H₂O)₆]²⁺.

przed lekcją) do dwóch kolb stożkowych o pojemności 250 cm³ i do każdego z nich dodajemy **ostrożnie!** po 2 cm³ stężonego kwasu siarkowego(VI). Do tak uzyskanych roztworów dodajemy jednocześnie po kilka kropli 0,1 mol/dm³ roztworu manganianu(VII) potasu. Czekamy, aż obydwa roztwory ulegną odbarwieniu. Dodajemy ponownie do obu roztworów po dwie krople roztworu KMnO₄, natomiast do jednej z kolb dodajemy dodatkowo kilka kropli 1 mol/dm³ roztworu siarczanu(VI) manganu(II), a następnie odmierzamy stoperem czas, potrzebny do odbarwienia obu roztworów.

Spodziewane obserwacje i wnioski:

Kwas szczawiowy, powstały w reakcji kwasu siarkowego ze szczawianem sodu, po dodaniu roztworu manganianu(VII) potasu w środowisku kwaśnym ulega utlenieniu w myśl równania reakcji:



W układzie następuje **autokataliza**, ponieważ reakcja ta jest katalizowana przez powstające w wyniku redukcji w środowisku kwasowym jony Mn²⁺. Jest to kataliza, w której katalizatorem jest jeden z produktów reakcji. Dodanie do układu roztworu, zawierającego jony Mn²⁺ znacznie przyspieszyło proces utlenienia kwasu szczawowego.

Doświadczenie 6. Paląca się kostka cukru

Ujmujemy w metalowe szczypcy kostkę cukru i próbujemy ją zapalić w płomieniu palnika spirytusowego. Powtarzamy tę próbę, ale tym razem wprowadzamy do płomienia palnika kostkę cukru, posypaną niewielką ilością popiołu papierosowego.

Spodziewane obserwacje i wnioski:

W pierwszej próbie cukier topi się, ulega karmelizacji i nie zapala się. Cukier posypany popiołem spala się niebieskim pło-

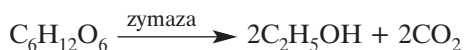
mieniem. Składniki popiołu papierosowego spełniają rolę katalizatora w tej reakcji.

Doświadczenie 7. Fermentacja alkoholowa

Przygotowujemy dwie kolby stożkowe o pojemności 100 cm³ (można też wykorzystać dwie małe, szklane butelki po produktach spożywczych). Do obu naczyń wysypujemy mieszaninę sporządzoną z: 20 g mąki, 2 g glukozy (cukru gronowego) oraz 5 cm³ wody. Do jednej mieszaniny dodajemy 3 g drożdży, całość dobrze mieszamy, zamykamy naczynie tamponem z waty i odstawiamy na kilkanaście minut w temperaturze pokojowej. Umieszczamy nad otworem naczynia bagietkę, zwilżoną wodą wapienną.

Spodziewane obserwacje i wnioski:

Tylko w naczyniu z drożdżami obserwujemy intensywne wydzielanie się gazu, powodującego zmętnienie wody wapiennej. Tampon z waty, zamykający to naczynie ma zapach etanolu. Pod wpływem zymazy, czyli występującego w drożdżach zespołu enzymów katalizujących fermentację alkoholową, zachodzi beztlenowa reakcja biochemiczna, polegająca na utlenieniu glukozy z utworzeniem etanolu oraz tlenku węgla(IV).

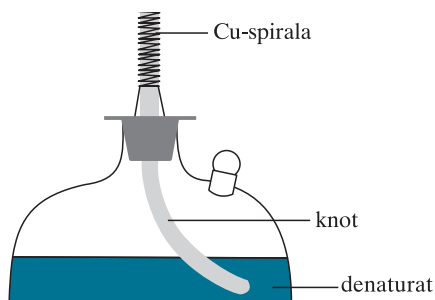


Fermentacja zachodząca w organizmach żywych polega na enzymatycznym rozkładzie związków organicznych bez udziału tlenu. Jej produktami są inne, prostsze związki organiczne oraz niewielkie ilości energii. Charakter tych związków zależy od wyposażenia enzymatycznego komórek.

Doświadczenie 8. Nocna lampka bez płomienia (Pokaz)

Cienką bagietkę szklaną owijamy czystym drucikiem miedzianym tworząc opaskę w kształcie spirali i przymocowujemy do knota palnika spirytusowego. Knot wraz ze spiralą ustawiamy pionowo, przy czym odstępy między zwojami spirali powinny wynosić około 1 mm. Napelniamy palnik spiry-

tusem (np. denaturowanym) i po nasyceniu knota zapalamy go, a następnie gasimy.

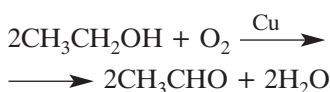


Rys. 3.

Po krótkim czasie spirala zaczyna żarzyć się i świecić. Świecenie trwa tak długo, dopóki nie zużyje się cały denaturat.

Spodziewane obserwacje i wnioski:

Efekt świecenia spirali miedzianej towarzyszy katalitycznej reakcji utleniania etanolu do etanal – dającego się rozpoznać po charakterystycznej woni:

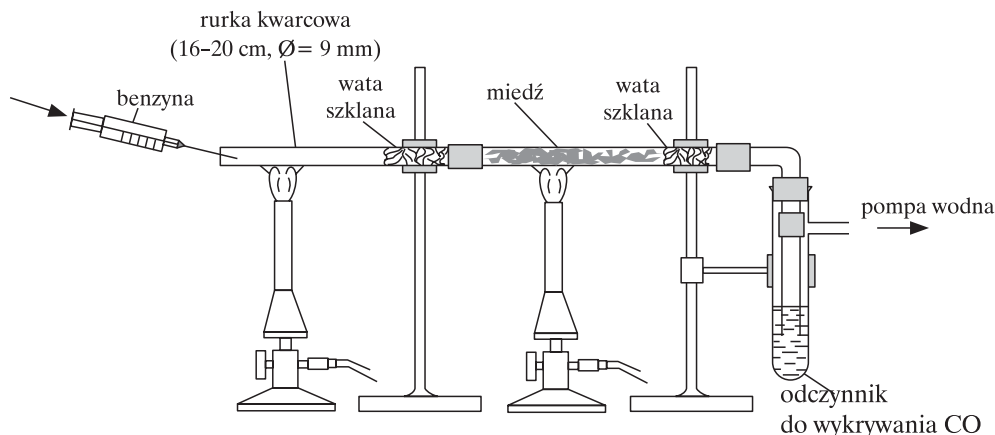


Na podobnej zasadzie działa lampka Davy'ego, bezpiecznie służąca od 1816 roku górnikom w kopalniach węgla kamiennego, nie wywołująca pożarów ani wybuchów w strefach zagrożonych wydzielaniem się metanu.

Doświadczenie 9. Usuwanie tlenku węgla(II) ze spalin przy pomocy katalizatora

Zestawiamy aparaturę według następującego schematu (Rys. 4).

Najpierw ogrzewamy silnym płomieniem palnika gazowego lewą rurkę trudnotopliwą, a następnie uruchamiamy pompkę wodną. W odstępach 5 sekundowych wstrzykujemy kolejne porcje benzyny (po 1 cm³). Po około minucie wlewamy do połowy wysokości probówki ssawkowej odczynnik do wykrywania tlenku węgla(II)², a następnie silnym płomieniem ogrzewamy rurkę z katalizatorem miedzowym. W dalszym ciągu w odstępach 5-sekundowych wstrzykujemy dalsze porcje benzyny ze strzykawki. Obserwujemy zmiany, zachodzące na powierzchni miedzi.



Rys. 4.

² Odczynnik do wykrywania tlenku węgla(II) sporządzamy rozpuszczając 0,17 g azotanu(V) srebra(I) w 2–3 cm³ wody destylowanej, a następnie dodając 3,6 cm³ 10% roztworu wody amoniakalnej oraz 20 cm³ 2 mol/dm³ roztworu NaOH. Otrzymany roztwór przechowujemy w butelce z ciemnego szkła, by zapobiec działaniu światła na jony srebra, przyspieszającego ich redukcję. $2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO} \longrightarrow 2\text{Ag} + 4\text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$

