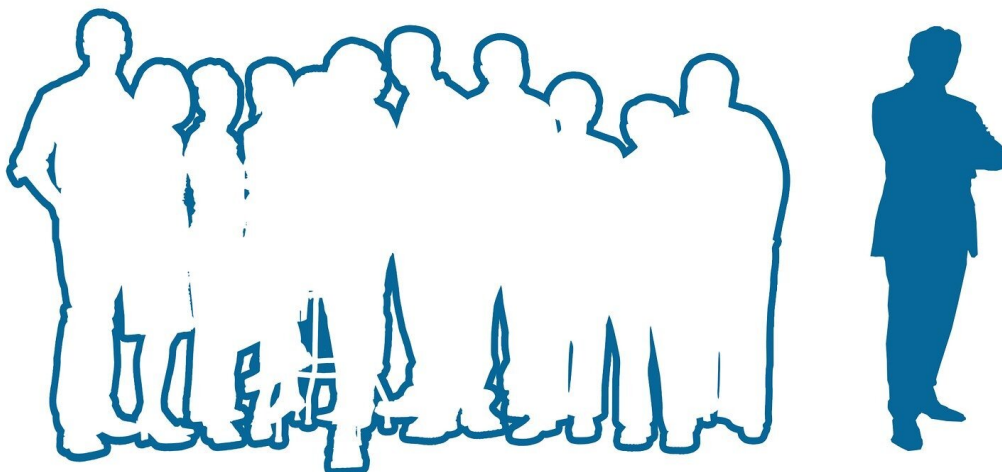




Addycja rodnikowa

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Animacja](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

Bibliografia:

- Źródło: Władysław Majewski, *Mechanizmy reakcji organicznych*, Wydawnictwo UMCS, Lublin 2012, s. 78–79.
- Źródło: Robert T. Morrison, Robert N. Boyd, *Chemia organiczna*, t. 1, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1985, s. 237.



Addycja rodnikowa

Wolne rodniki w reakcjach addycji posiadają jeden niesparowany elektron na powłoce walencyjnej jednego z atomów.

Źródło: dostępny w internecie: pixabay.com, domena publiczna.

Na początku XX w. zapanował chemiczny chaos w związku z proponowanymi mechanizmami reakcji addycji bromowodoru do wiązania podwójnego. Czy wiesz, w jaki sposób wyjaśniono ten problem? Czy wiesz, czego dotyczy **reguła Markownikowa** i co ma z nią wspólnego pojęcie addycji rodnikowej?

Twoje cele

- Zapoznasz się z mechanizmem addycji rodnikowej i zapiszesz równania reakcji alkenów z halogenowodorami według tego mechanizmu.
- Zidentyfikujesz produkty powstałe w reakcji addycji rodnikowej oraz zapiszesz ich wzory półstrukturalne oraz nazwy systematyczne.
- Wykorzystasz znajomość reguły Markownikowa do przewidywania rodzaju produktu addycji rodnikowej.

Przeczytaj

Niezwykłe odkrycie

Ważne!

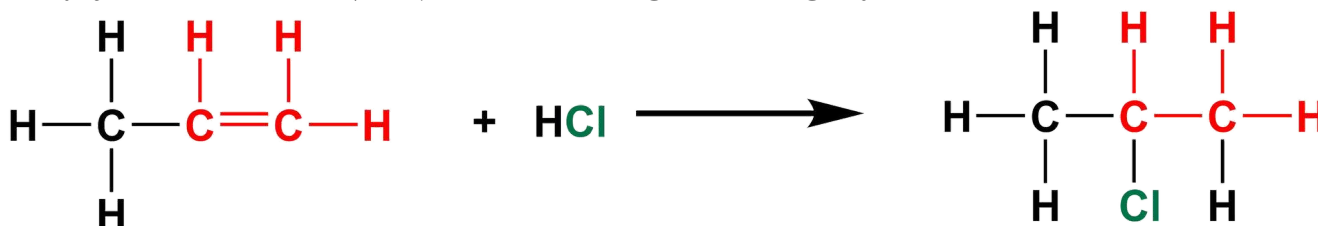
Rosyjski chemik **Vladimir Markownikov** w 1870 r. sformułował zasadę określającą kierunek reakcji **addycji** do wiązania podwójnego typu węgiel-węgiel ($=C=C=$).

Reguła ta – zwana **regułą Markownikowa** – mówi, że:

((atom wodoru w reakcji addycji przyłącza się do atomu węgla związanego z większą liczbą atomów wodoru („bogatszego w wodór”).

Przykład 1

Addycja chlorowodoru (HCl) do propenu, **zgodna z regułą Markownikowa**



Równanie reakcji addycji chlorowodoru do propenu

Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

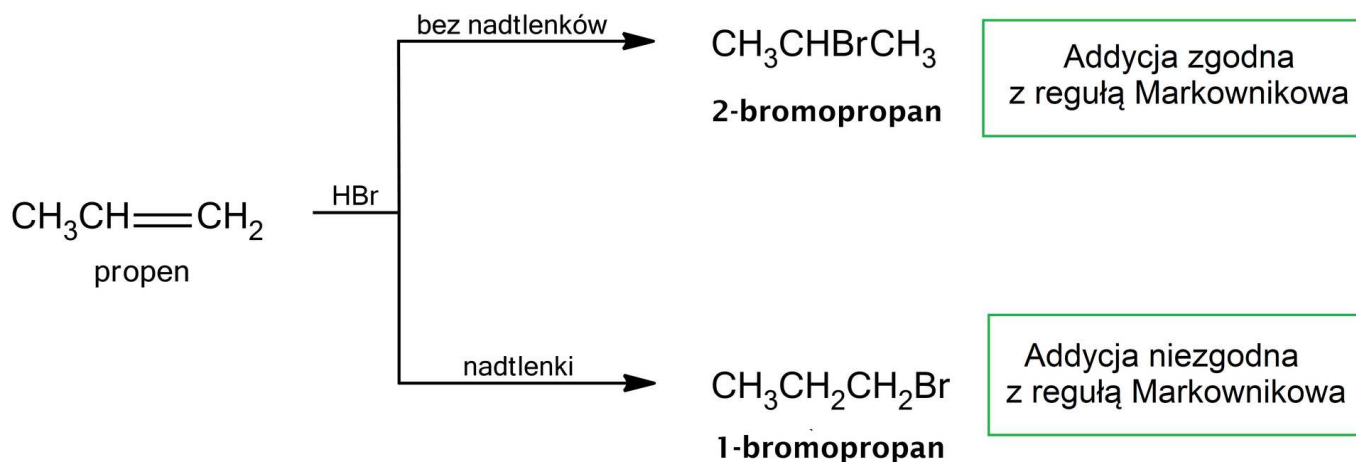
O ile addycja chlorowodoru (HCl) i jodowodoru (HI) do alkenów przebiega zgodnie z tą regułą, to większym problemem okazało się wyjaśnienie addycji bromowodoru (HBr) do danego alkenu. Naukowcy toczyli spór w tej sprawie przez wiele lat zakładając, że w reakcji powstają produkty, których struktura jest zgodna lub niezgodna z tą regułą. Inni zakładali również, że powstaje mieszanina produktów powstających w obu rozpatrywanych przypadkach.

Dopiero w **1933 r.** dwaj amerykańscy naukowcy, **Kharasch** i **Mayo**, uporządkowali informacje dotyczące ścieżki reakcji HBr z alkenami. Wykazali doświadczalnie, że na orientację tej reakcji wpływa wyłącznie obecność **nadtlenków** lub jej brak.

Kharasch i **Mayo** udowodnili, że wykluczenie ze środowiska reakcji nadtlenków lub dodatek **inhibitorów** (np. hydrochinonu, tlenu lub difenyloaminy) powoduje przebieg reakcji addycji zgodnie z regułą Markownikowa, a więc zgodnie z mechanizmem **addycji**

elektrofilowej. Jeśli jednak w mieszaninie są obecne nadtlenki, to proces przebiega **rodnikowo** (przez **karborodnik** w stanie przejściowym), a orientacja przyłączenia cząsteczki HBr jest niezgodna z regułą Markownikowa, co znane jest jako **efekt nadtlenkowy**.

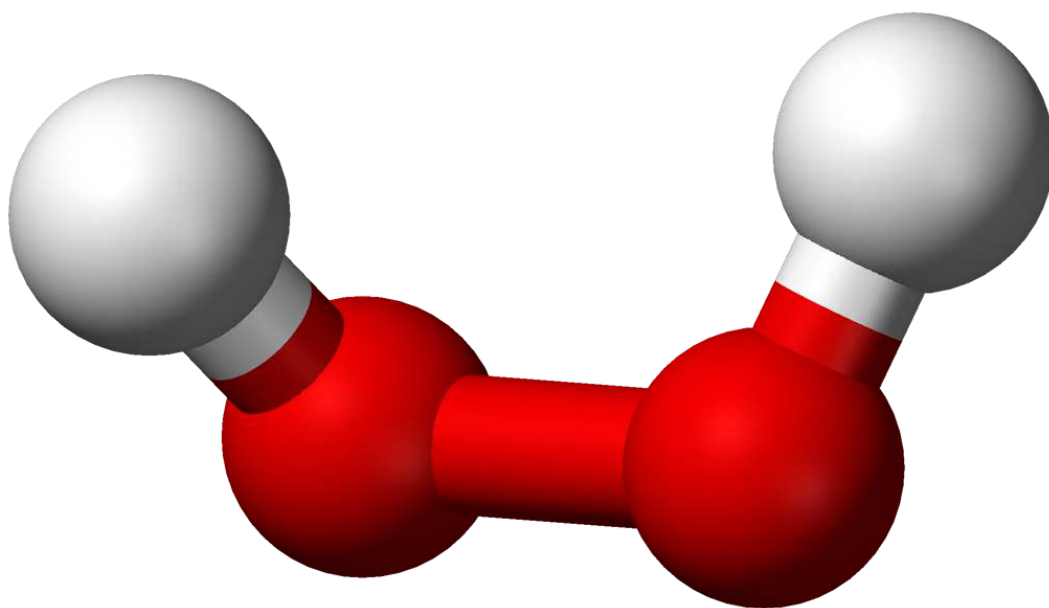
Wobec przeprowadzonych doświadczeń **Kharasch** i **Mayo** zaproponowali dwie odmienne drogi addycji bromowodoru do wiązania podwójnego.



Schemat reakcji chemicznej propenu z HBr, która przebiega zgodnie i niezgodnie z regułą Markownikowa.

Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Nadtlenki, które łamią wszelkie reguły



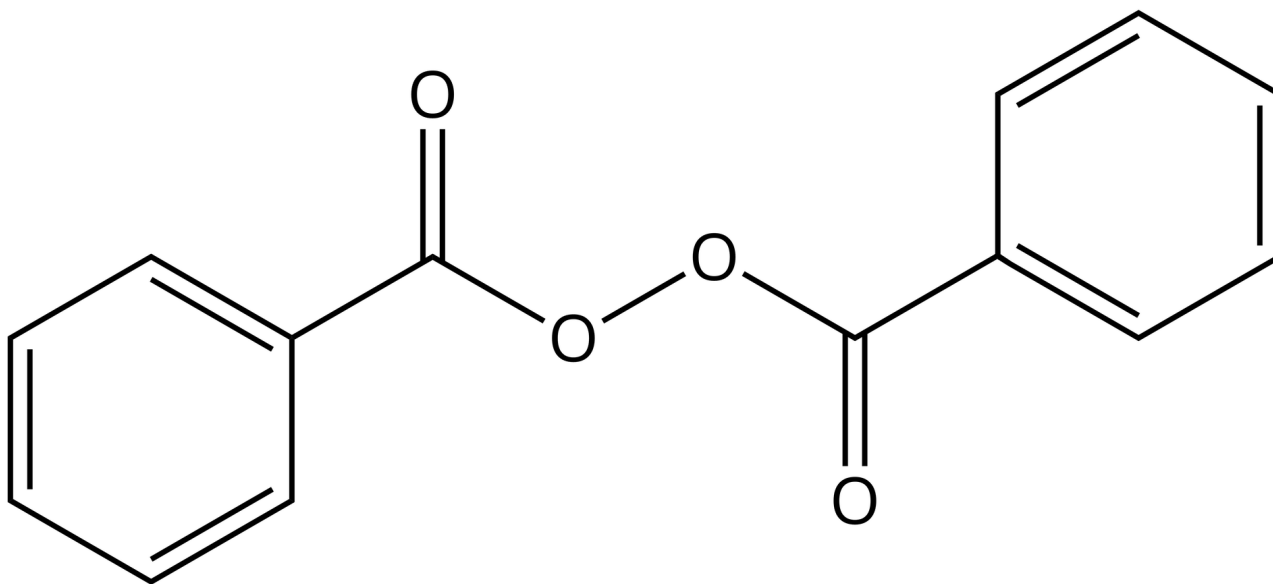
Wzór kulkowy nadtlenu wodoru. Kolorem czerwonym oznaczono atomy tlenu. Wiązanie pomiędzy nimi określa się mostkiem tlenowym. Kolorem szarym oznaczono atomy wodoru.

Źródło: dostępny w internecie: commons.wikimedia.org, domena publiczna.

Nadtlenki to związki, które posiadają łatwo rozrywalne wiązanie pomiędzy atomami tlenu –O – O– (mostek tlenowy).

W reakcjach addycji elektrofilowej, wg mechanizmu rodnikowego, najczęściej biorą udział:

Nadtlenek benzoilu $C_{14}H_{10}O_4$



Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Nadtlenek wodoru H_2O_2

Nadtlenek di-tert-butyłu $C_8H_{18}O_2$

Skąd w środowisku reakcji biorą się nadtlenki?

Największych ich źródłem są zanieczyszczenia związków organicznych, z których wytworzyły się na skutek działania tlenu na te związki. Niektóre nadtlenki są celowo dodawane do środowiska reakcji, by uzyskać produkty otrzymywane przeciwnie do reguły Markownikowa.

Mechanizm reakcji addycji bromowodoru do alkenów inicjowanej nadtlenkami

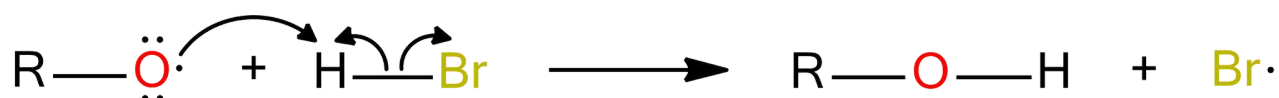
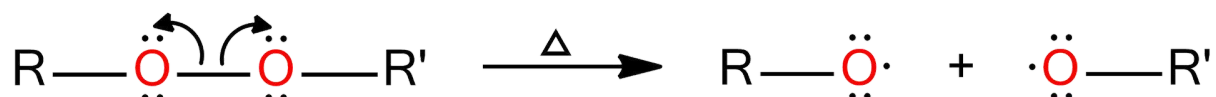
Główną cechą mechanizmu rodnikowego stanowi fakt, że w reakcji produktem przejściowym jest wolny rodnik (karborodnik), a nie **karbokation**.

Reakcja przebiega łańcuchowo i składa się z kilku etapów:

Etap 1. Inicjacja (inicjowanie łańcucha)

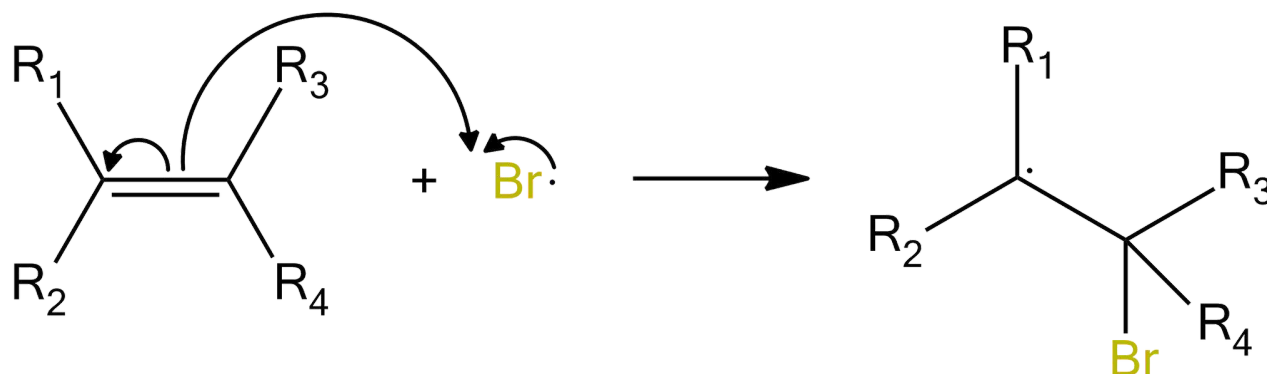
Na skutek ogrzewania lub działania promieni UV nadutlenek ulega rozkładowi.

Powstałe rodniki $\text{RO}\cdot$ reagują z cząsteczką HBr , która w związku z tym rozpada się na rodniki: $\cdot\text{H}$ oraz $\cdot\text{Br}$. Z uwagi na fakt, że powinowactwo rodników $\text{RO}\cdot$ jest większe względem $\cdot\text{H}$ niż $\cdot\text{Br}$, powstaje elektroobojętna cząsteczka R-OH , a w środowisku reakcji pozostaje rodnik $\cdot\text{Br}$.

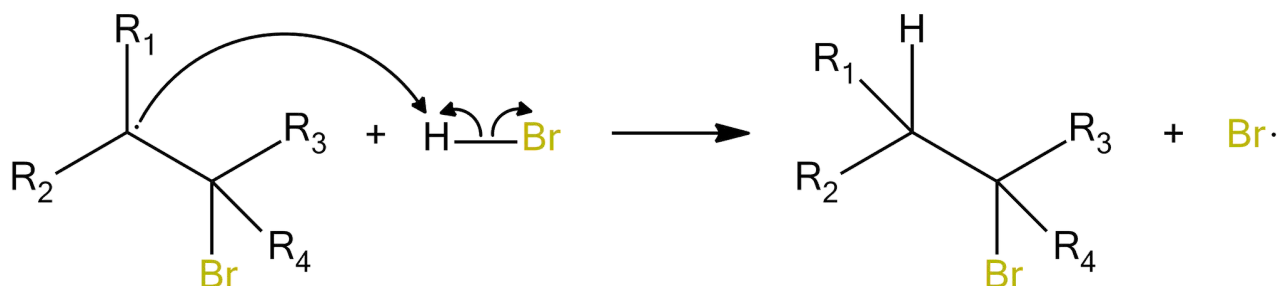


Etap 2. Propagacja

Rodnik $\cdot\text{Br}$ przyłącza się do podwójnego wiązania alkenu, co powoduje przemianę alkenu w wolny rodnik.



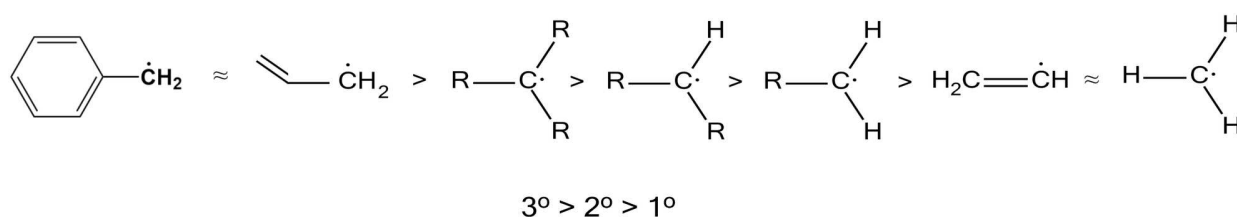
Następnie wolny rodnik odrywa atom wodoru od cząsteczki HBr , powodując powstanie rodnika $\cdot\text{Br}$, który uczestniczy w addycji do wiązania podwójnego.



Zaprezentowane powyżej procesy powtarzają się cyklicznie, dając produkt reakcji i odtwarzając rodnik $\bullet\text{Br}$.

WAŻNE:

Łatwość tworzenia się wolnych rodników zmienia się w szeregu: rodnik benzyłowy lub rodnik alilowy, rodnik trzeciorzędowy, rodnik drugorzędowy, rodnik pierwszorzędowy, rodnik winylowy lub metylenowy.

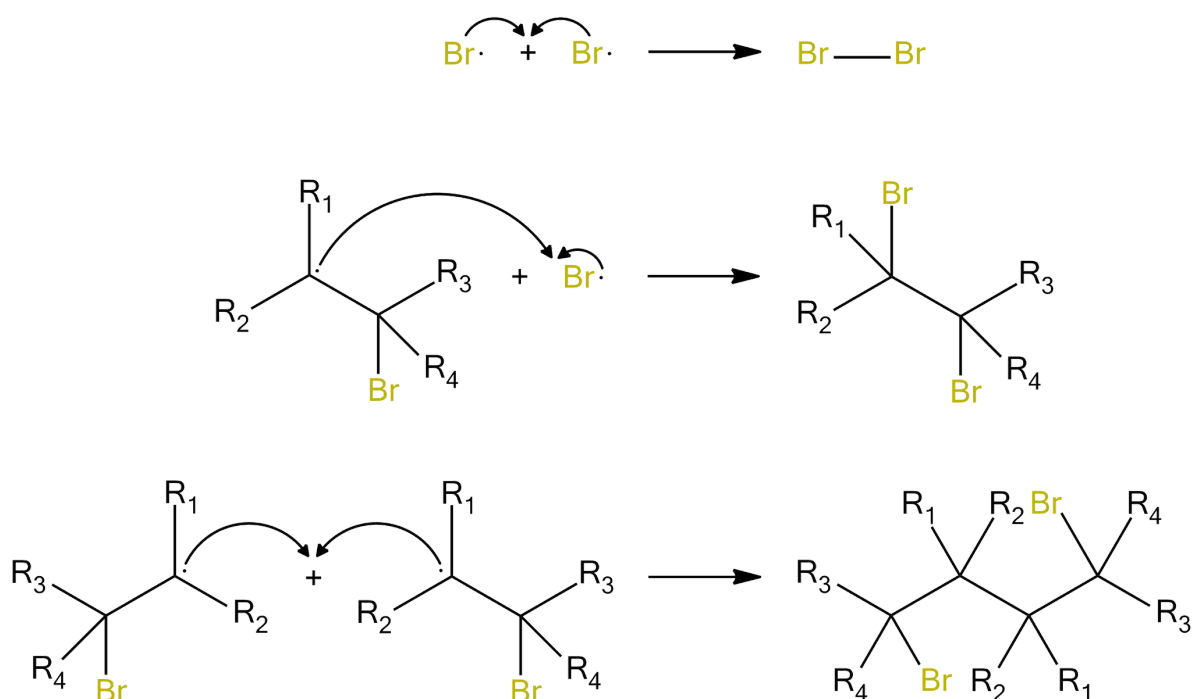


Warto zauważyć, że rodnik trzeciorzędowy (najbardziej podstawiony) jest trwalszy niż rodnik drugo- i pierwszorzędowy.

Dodatkowo należy zapamiętać, że im rodnik jest trwalszy, tym szybciej się tworzy.

Etap 3. Terminacja

Reakcja zostaje zakończona na skutek wyczerpania substratów, zderzenia rodników lub utraty ich energii na skutek zderzenia ze ścianką naczynia. Przypadek ten można przedstawić za pomocą poniższych reakcji:



Ważne!

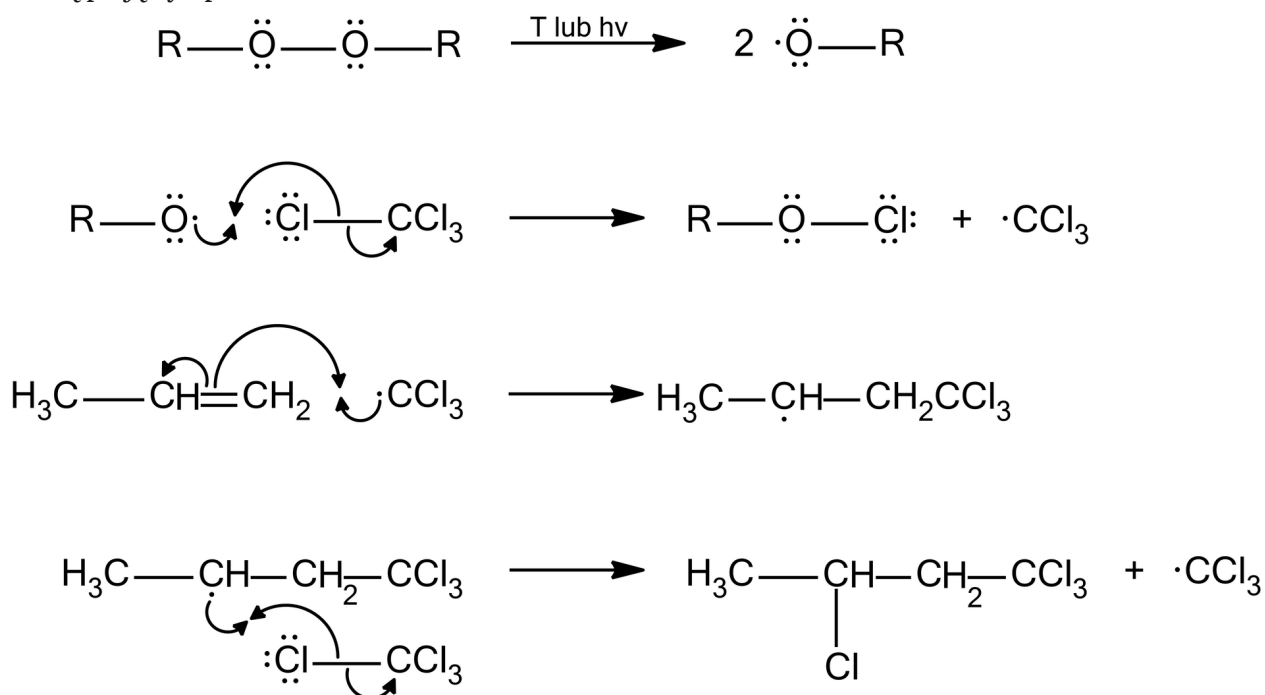
„Obecność lub brak obecności nadtlenków nie wywiera wpływu na addycję chlorowodoru, jodowodoru, kwasu siarkowego(VI) czy też wody do wiązania podwójnego. Wynika to z faktu, że etap propagacji wymaga dostarczenia energii do układu, stąd też zachodzi tak wolno, że nie tworzy się właściwy produkt.”

Źródło: Robert T. Morrison, Robert N. Boyd, *Chemia organiczna*, t. 1, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1985, s. 237.

Inne reakcje addycji wolnorodnikowej

Przykład 2

Zgodnie z mechanizmem addycji rodnikowej, z alkenami (w obecności nadtlenków) reaguje również tetrachlorometan (CCl_4). Mechanizm tej reakcji można przedstawić w następujący sposób:



Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Słownik

addycja

(łac. *additio* „dodawanie”) reakcja przyłączania, reakcja chemiczna polegająca na przyłączaniu atomów lub grup atomów z utworzeniem cząsteczki jednego produktu

(adduktu)

karbokation

(łac. *carbo* „węgiel”, gr. *katiōn* „idący w dół”) jon karboniowy, kation org., w którym dodatni ładunek wywołany deficytem elektronów jest zlokalizowany na atomie węgla

karborodnik

(łac. *carbo* „węgiel”) rodnik, w którym niesparowany elektron jest zlokalizowany na atomie węgla

nadtlenek

związek chemiczny zawierający jon nadtlenkowy O_2^{2-} albo mostek tlenowy $-O-O-$, w którym atom tlenu występuje na stopniu utlenienia $-I$

inhibitor

(łac. *inhibeo* „wstrzymuję”) substancja, która, dodana w niewielkiej ilości do układu reagującego, powoduje zmniejszenie szybkości lub niekiedy całkowite zatrzymanie reakcji chemicznej

efekt nadtlenkowy

odmienna orientacja reakcji addycji spowodowana obecnością nadtlenków

rodnik

indywiduum zbudowane z jednego lub powiązanych ze sobą atomów, z niesparowanym elektronem na powłoce walencyjnej jednego z atomów

Bibliografia

Encyklopedia PWN

Majewski W., *Mechanizmy reakcji organicznych*, Lublin 2012.

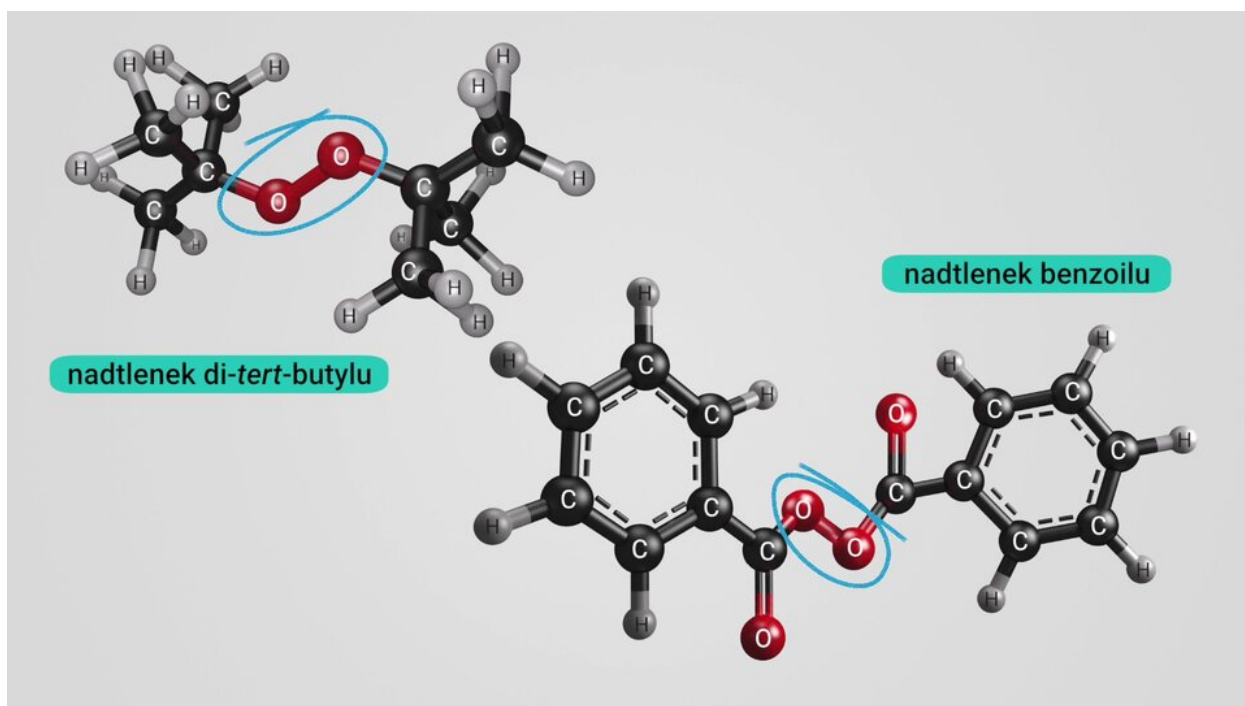
Morrison R. T., Boyd R. N., *Chemia organiczna*, tłum. W. Antkowiak i in., Warszawa 1985, t. 1-2.

Vollhardt P., Schore N. E., *Organic Chemistry structure and function*, New York 2007, wyd. 6.

Animacja

Polecenie 1

Czy wiesz, czym jest addycja rodnikowa? Czy wiesz, jakie związki ulegają tej reakcji? Zapoznaj się z animacją oraz wykonaj zadania znajdujące się poniżej.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RjljP2Mso4mOs>

Animacja pt. „Addycja rodnikowa”

Źródło: GroMar Sp. z o.o., Dominika Kruszewska, licencja: CC BY-SA 3.0.

Film nawiązujący do treści materiału – dotyczy addycji rodnikowej.

Ćwiczenie 1

Zaznacz produkt addycji rodnikowej bromowodoru do 2-metylopropenu.

☐ 2-bromo-2-metylopropan

☐ 1-bromo-1-metylopropan

☐ 1-bromo-2-metylopropan

☐ 2-bromo-1-metylopropan

Ćwiczenie 2

Wybierz wzór półstrukturalny produktu rodnikowej addycji bromowodoru do pent-1-enu.

☐ $\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{CH}_2 \text{CH}_2 \text{Br}$

☐ $\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{CH}_2 \text{CH}_2 \text{CH}_2 \text{Br}$

☐ $\text{CH}_3 \text{CHBrCH}_2 \text{CH}_2 \text{CH}_3$

☐ $\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{CH}_2 \text{CHBrCH}_3$

Ćwiczenie 3

Podaj nazwę najprostszego z alkenów, dla którego, niezależnie od mechanizmu reakcji addycji HBr, powstaje ten sam produkt.

Odpowiedź:

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



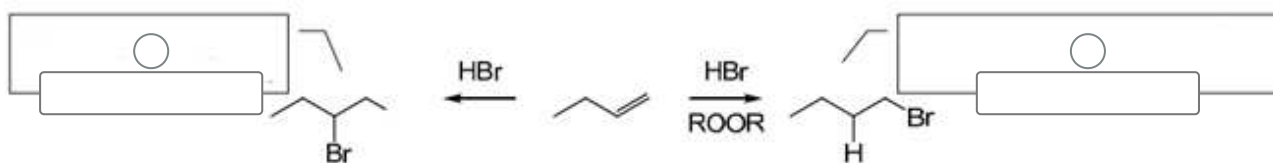
Zaznacz poprawną informację dotyczącą nadtlenków.

- ☐ Nadtlenki są inhibitorami reakcji addycji rodnikowej.
- ☐ Nadtlenki katalizują reakcję addycji elektrofilowej.
- ☐ Nadtlenki mogą rozpadać się pod wpływem promieni UV na rodniki.
- ☐ Nadtlenki biorą udział w reakcjach przebiegających zgodnie z regułą Markownikowa.

Ćwiczenie 2



Wstaw w puste pola słowa **zgodna** lub **niezgodna**, w zależności od tego, czy uważasz, że reakcja jest zgodna lub niezgodna z regułą Markownikowa.



niezgodna

zgodna

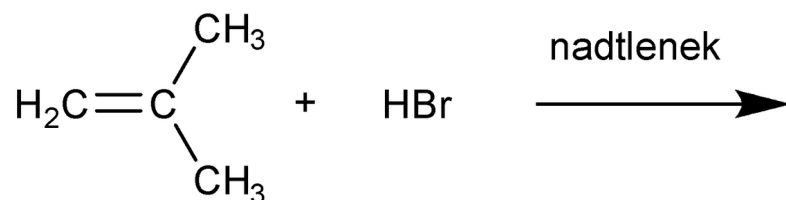
zgodna

niezgodna

Ćwiczenie 3



Dokończ poniższe równanie reakcji.



Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

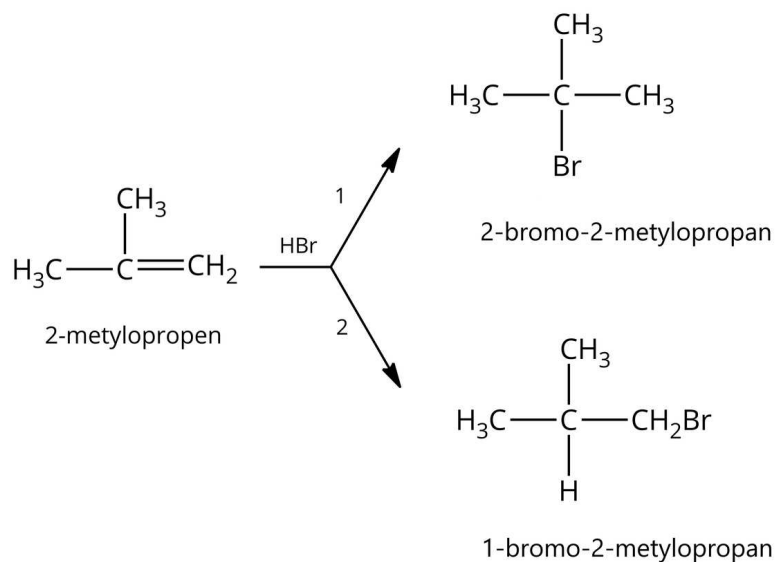
Odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 4



Przeprowadzono reakcję bromowodoru z 2-metylopropenem w dwóch odmiennych warunkach.



Informacja do zadania

Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Uzupełnij zdania wybierając odpowiednie wyrażenia spośród podanych.

Reakcja oznaczona numerem 1 przebiega zgodnie z mechanizmem addycji i zachodzi nadtlenków. Z kolei reakcja oznaczona numerem 2 przebiega nadtlenków, zgodnie z mechanizmem addycji . Bromowodór przyłącza się w tej reakcji z regułą Markownikowa.

zgodnie

nukleofilowej

przy udziale

bez

bez

elektrofilowej

rodnikowej

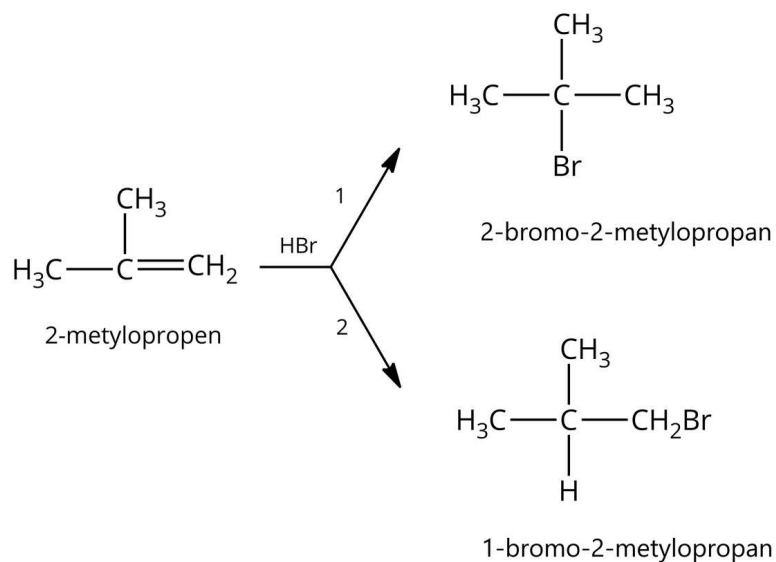
niezgodnie

przy udziale

Ćwiczenie 5



Przeprowadzono reakcję bromowodoru z 2-metylopropenem w dwóch odmiennych warunkach.



Informacja do zadania

Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

EPR (ang. ESR – *electron spin resonance*) – spektroskopowy rezonans paramagnetyczny to metoda, za pomocą której można wykryć obecność wolnych rodników, mimo ich nadzwyczaj małego stężenia, oraz uzyskać pewne informacje o strukturze rodnika.

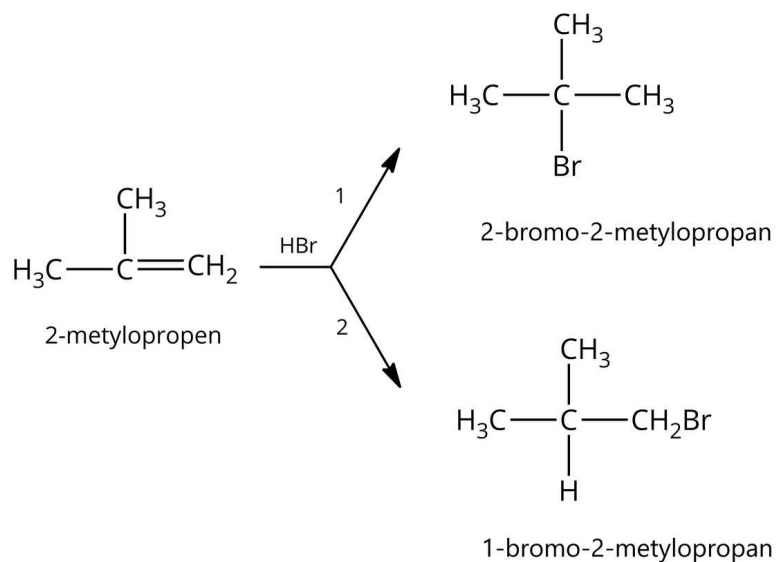
W której reakcji, 1 czy 2, metoda EPR zasygnalizuje obecność wolnych rodników? Odpowiedz i uzasadnij.

Odpowiedź:

Ćwiczenie 6



Przeprowadzono reakcję bromowodoru z 2-metylopropenem w dwóch odmiennych warunkach.



Informacja do zadania

Źródło: GroMar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Dopasuj podane wyrażenia do odpowiednich grup.

Reakcja nr 1:

terminacja

karborodnik

rodnik

addycja niezgodna z regułą Markownikowa

brak nadtlenków

karbokation

propagacja

nadtlenek

elektrofil

addycja zgodna z regułą Markownikowa

polaryzacja wiązania

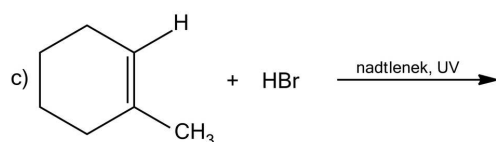
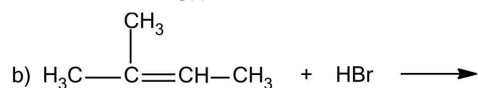
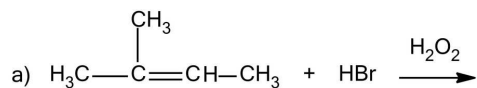
kation

Reakcja nr 2:

Ćwiczenie 7



Uzupełnij równania poniższych reakcji i oceń, czy dana reakcja jest zgodna, czy niezgodna z regułą Markownikowa.



Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Ćwiczenie 8



Narysuj wzór podstrukturalny karborodnika, który powstanie w reakcji addycji bromowodoru do 3-metylobut-2-enu jako pierwszy.

Odpowiedź zapisz w zeszycie do lekcji chemii, zrób zdjęcie, a następnie umieść je w wyznaczonym polu.

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

Dla nauczyciela

Scenariusz zajęć

Autor: Agata Jarszak-Tyl, Krzysztof Błaszczak

Temat: Addycja rodnikowa

Grupa docelowa: III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
uczniowie III etapu edukacyjnego – kształcenie w zakresie podstawowym i rozszerzonym

Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

XIII. Węglowodory. Uczeń:

3) opisuje właściwości chemiczne alkenów na przykładzie reakcji: spalania, addycji (przyłączania): H_2 , Cl_2 , HCl , H_2O ; polimeryzacji; przewiduje produkty reakcji przyłączenia cząsteczek niesymetrycznych do niesymetrycznych alkenów na podstawie reguły Markownikowa (produkty główne i uboczne); pisze odpowiednie równania reakcji.

Zakres rozszerzony

XIII. Węglowodory. Uczeń:

4) opisuje właściwości chemiczne alkenów na przykładzie reakcji: spalania, addycji: H_2 , Cl_2 i Br_2 , HCl i HBr , H_2O , polimeryzacji; przewiduje produkty reakcji przyłączenia cząsteczek niesymetrycznych do niesymetrycznych alkenów na podstawie reguły Markownikowa (produkty główne i uboczne); opisuje zachowanie alkenów wobec wodnego roztworu manganianu(VII) potasu; pisze odpowiednie równania reakcji.

Kształtowane kompetencje kluczowe:

- kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji;
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii;
- kompetencje cyfrowe;
- kompetencje osobiste, społeczne, samokontrola podczas nauki.

Cele operacyjne

Uczeń:

- na podstawie znajomości mechanizmu addycji rodnikowej zapisuje równania reakcji alkenów z halogenowodorami;
- identyfikuje produkty powstałe w reakcji addycji rodnikowej oraz zapisuje ich wzory półstrukturalne oraz nazwy systematyczne;
- wykorzystuje znajomość reguły Markownikowa do przewidywania rodzaju produktu addycji rodnikowej.

Strategie nauczania:

- asocjacyjna.

Metody i techniki nauczania:

- dyskusja dydaktyczna;
- animacja;
- analiza tekstu źródłowego;
- ćwiczenia uczniowskie;
- technika zdań podsumowujących.

Formy pracy:

- praca zbiorowa;
- praca w grupach;
- praca w parach;
- praca indywidualna.

Środki dydaktyczne:

- komputery z głośnikami, słuchawkami i dostępem do Internetu;
- zasoby multimedialne zawarte w e-materiale;
- rzutnik multimedialny;
- tablica interaktywna/tablica i kreda, pisak;
- podręcznik.

Przebieg zajęć

Faza wstępna:

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel wyświetla okładkę e-materiału na której widoczna jest grupa osób i jedna odłączona od grupy. Nauczyciel zadaje uczniom pytanie: „Czy bycie wolnym, niezależnym jest istotne w życiu? Co się dzieje, gdy atom posiada wolny elektron? Jak można zdefiniować pojęcie rodnika”?
2. Rozpoznawanie wiedzy wyjściowej uczniów. Uczniowie starają się udzielić odpowiedzi na pytanie: „Na czym polega reguła Markownikowa”?

3. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele lekcji, które uczniowie zapisują w portfolio.

Faza realizacyjna:

1. Nauczyciel odsyła uczniów do części „Przeczytaj” w e-materiale. Uczniowie samodzielnie analizują dwa fragmenty: „Niezwykłe odkrycie” oraz „Nadtlenki, które łamią wszelkie reguły”. Po pracy z tekstem nauczyciel zadaje uczniom pytania odnoszące się do pojęć: nadtlenek, rodnik, inhibitor, reguła Markownikowa, a jeżeli znajdzie taka potrzeba wyjaśnia niezrozumiałe kwestie. Następnie uczniowie podają przykłady nadtlenków i zapisują w zeszytach możliwe sposoby ich rozpadu. Nauczyciel podkreśla, że na reakcję HBr z alkenami wpływa brak lub obecność nadtlenków w wyniku czego otrzymuje się inne produkty reakcji.
2. Uczniowie samodzielnie sprawdzają swoją wiedzę wykonując ćwiczenia 1-3 zawarte w e-materiale – sprawdź się.
3. Powrót do części „Przeczytaj” i praca w parach. Uczniowie w parach analizują mechanizm addycji rodnikowej. Na podstawie opisu mechanizmu zapisują w zeszytach nazwy kolejnych etapów reakcji i ich charakterystyczne cechy. Poznają definicję karborodnika i analizują trwałość w zależności od rzędowości.
4. Nauczyciel odczytuje na głos fragment treści z przykładu nr 2 z części „przeczytaj” e-materiału: „Zgodnie z mechanizmem addycji rodnikowej z alkenami (w obecności nadtlenków) reaguje również tetrachlorometan (CCl_4).” Następnie prosi chętnego ucznia, by zapisywał na tablicy kolejne etapy reakcji. Pozostali uczniowie podają swoje propozycje lub korygują błędy osoby przy tablicy. W trakcie pisania mechanizmu nauczyciel prosi uczniów o wskazanie karborodnika i wyjaśnienie, jak na trwałość rodników wpływa ich rzędowość.
5. Po zakończeniu zadania nauczyciel wyświetla na tablicy interaktywnej poprawną odpowiedź i porównuje ją z propozycją uczniów. W razie błędów wyjaśnia poprawny sposób wykonania zadania.
6. Animacja. Uczniowie dobierają się w pary i zapoznają się z medium bazowym – animacją pt. „Addycja rodnikowa”. Następnie w parach wykonują zadania do medium. Efektem pracy z medium ma być poznanie warunków reakcji oraz roli nadtlenków, inhibitorów, temperatury, czy światła na przebieg reakcji addycji rodnikowej.
7. Uczniowie pracują w parach z częścią „Sprawdź się” i wykonują zadania 4-8. Po każdym przeczytanym poleceniu nauczyciel wyznacza uczniom określony czas na zastanowienie się, a następnie ochotnik z danej pary udziela odpowiedzi. Pozostali uczniowie ustosunkowują się do niej, proponując swoje pomysły. Nauczyciel w razie potrzeby koryguje odpowiedzi, dopowiada istotne informacje, udziela uczniom informacji zwrotnej.

Faza podsumowująca

1. Nauczyciel sprawdza wiedzę uczniów zadając przykładowe pytania: na czym polega reguła Markownikowa? O czym mówi efekt nadtlenny? Co jest główną cechą reakcji addycji bromowodoru do alkenów? Z jakich etapów składa się reakcja addycji bromowodoru do alkenów? Co to jest karborodnik?
2. Jako podsumowanie lekcji nauczyciel może wykorzystać zdania do uzupełnienia, które uczniowie również zamieszczają w swoim portfolio:

- Dziś nauczyłem/łam się...
- Zrozumiałem/łam, że...
- Zaskoczyło mnie...
- Dowiedziałem/łam się...
- Łatwe było dla mnie...
- Trudność sprawiało mi...
- Przypomniałem/łam sobie, że...

Praca domowa:

1. Uczniowie wykonują pozostałe ćwiczenia w e-materiale – „Sprawdź się”.
2. Przygotowanie dwóch pytań na kartkówkę na kolorowych kartkach. Nauczyciel zadaje pracę domową. Rozdaje uczniom kolorowe kartki i prosi, aby przygotowali się do kartkówki z tematu „Addycja rodnikowa”. W tym celu mają za zadanie sformułować dwa pytania na kartkówkę i zapisać je na kolorowych kartkach. Ich treść powinna się różnić od ćwiczeń z omawianego tematu. Nauczyciel zapowiada uczniom, że na kolejnych zajęciach zbierze kartki i wylosuje spośród nich jedną na kartkówkę.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:

Nauczyciel może wykorzystać medium w sekcji „Animacja” do pracy przed lekcją. Uczniowie zapoznają się z jego treścią i przygotowują do pracy na zajęciach w ten sposób, żeby móc samodzielnie rozwiązywać zadania w temacie. Uczniowie nieobecni na lekcji mogą medium wykorzystać do uzupełnienia swoich luk kompetencyjnych.

Materiały pomocnicze:

1. Polecenia podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach): Na czym polega reguła Markownikowa? O czym mówi efekt nadtlenny? Co jest główną cechą reakcji addycji bromowodoru do alkenów? Z jakich etapów składa się reakcja addycji bromowodoru do alkenów? Co to jest karborodnik?
2. Podręczniki do dyspozycji na lekcji:
 - K. H. Lautenschläger, W. Schröter, A. Wanninger, *Nowoczesne kompendium chemii*, tłum. A. Dworak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014.
 - R. T. Morrison, R. N. Boyd, *Chemia organiczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1985, t. 1.

2. Kolorowe kartki do przygotowania pytań.