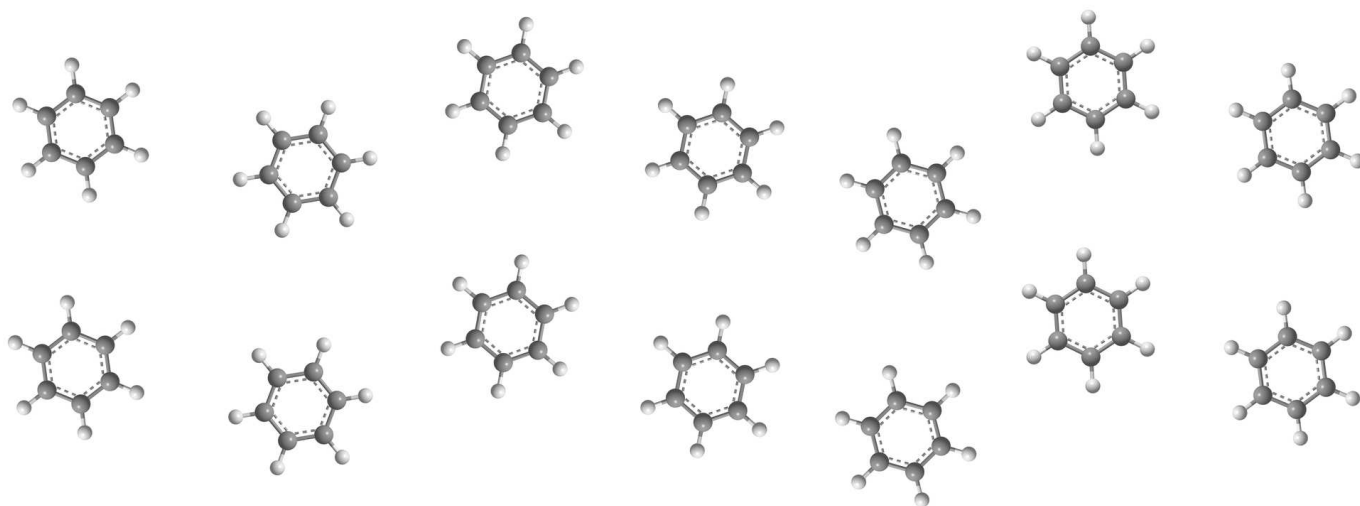
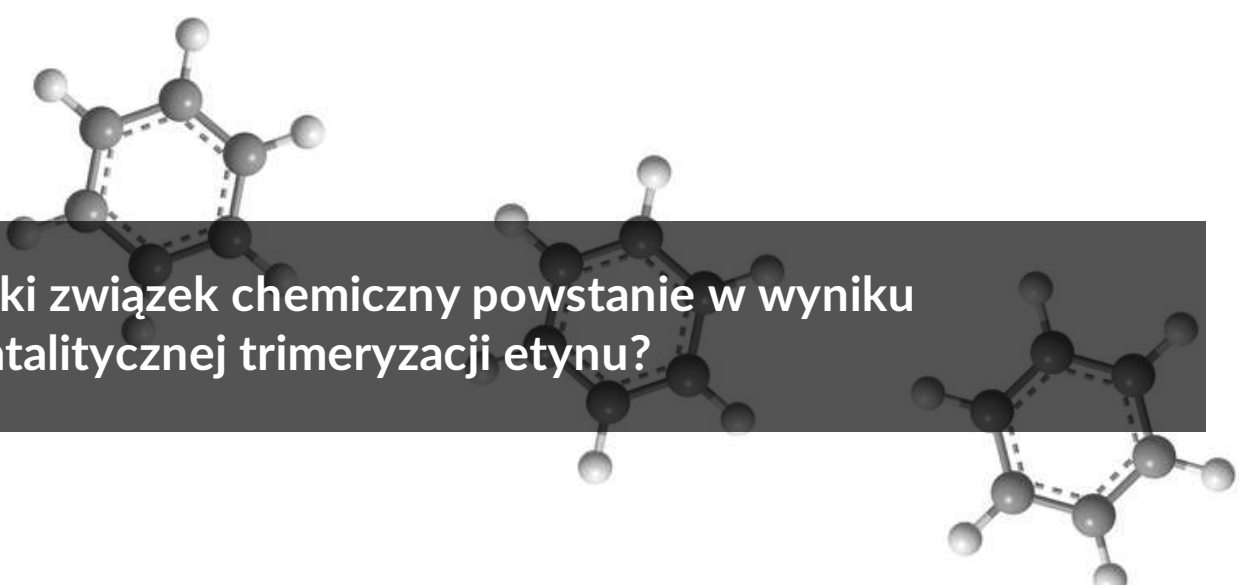




Jaki związek chemiczny powstanie w wyniku katalitycznej trimeryzacji etynu?

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



## Jaki związek chemiczny powstanie w wyniku katalitycznej trimeryzacji etynu?

Naukowcy przez długi czas zastanawiali się nad budową związku chemicznego, jakim jest benzen. Dopiero wprowadzenie teorii rezonansu chemicznego pozwoliło rozwiązać to zagadnienie.

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

Czy wiesz, że w odpowiednich warunkach z etynu, czyli najprostszego alkinu, można uzyskać benzen, związek będący najprostszym węglowodorem aromatycznym? Niemiecki chemik **Walter Reppe** (1892–1969) jest znany ze swojego wkładu w chemię etynu. Jedną z reakcji, nad którą pracował, jest właśnie **katalityczna trimeryzacja**. Z czym kojarzy Ci się ten proces?

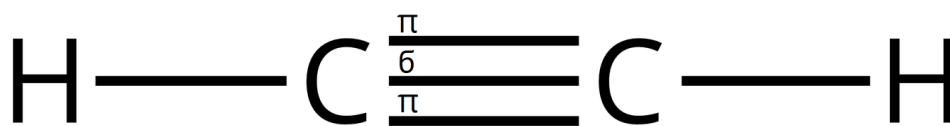
### Twoje cele

- Zapiszesz równanie reakcji trimeryzacji etynu.
- Przedstawisz warunki prowadzenia reakcji trimeryzacji etynu.
- Zastanowisz się nad wykorzystaniem reakcji trimeryzacji etynu w praktyce.
- Przedstawisz sposób, w jaki przebiega trimeryzacja etynu.

# Przeczytaj

## Etyn

Etyn (acetylen) jest pierwszym węglowodorem w szeregu homologicznym alkinów. Wiele właściwości chemicznych etynu wynika z budowy jego cząsteczki, która zawiera potrójne wiązanie pomiędzy atomami węgla, z czego jedno to wiązanie typu  $\sigma$ , a drugie typu  $\pi$ .



Wiązanie potrójne w cząsteczce etynu

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

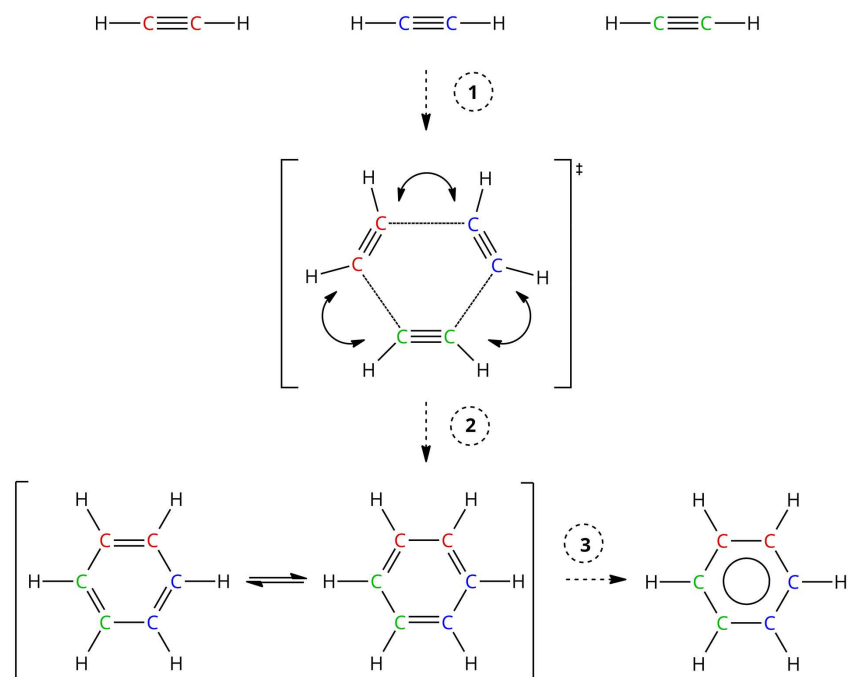
Wiązanie potrójne może zostać rozerwane pod wpływem różnych czynników. Oprócz reakcji utleniania i redukcji (spalania, addycji czy utleniania) etyn ulega reakcjom polimeryzacji.

## Reakcja trimeryzacji etynu

Szczególnym rodzajem polimeryzacji jest reakcja trimeryzacji, w której zamiast  $n$  cząsteczek monomerów, tylko trzy z nich biorą udział w reakcji, tak jak pokazano na poniższej animacji.

Trimery składają się więc z trzech merów, czyli takich samych fragmentów łańcucha. Są efektem połączenia trzech cząsteczek monomeru.

Analogicznie zachowują się cząsteczki etynu. Podczas ogrzewania do  $500^{\circ}\text{C}$  w obecności węgla aktywnego, etyn ulega **spontanicznej trimeryzacji**, czyli połączeniu się trzech cząsteczek w jedną nową, będącą produktem tej reakcji. Jedno z wiązań potrójnych, czyli wiązanie  $\pi$ , ulega pęknięciu. Następnie cząsteczki samoorganizują się (1) i tworzą się wiązania pojedyncze pomiędzy atomami węgla (2), tak jak w typowej reakcji polimeryzacji. Zachodzi zatem proces łączenia się merów. Produktem reakcji jest **benzen**. Można więc powiedzieć, że cząsteczka benzenu jest cyklicznym trimerem etynu.

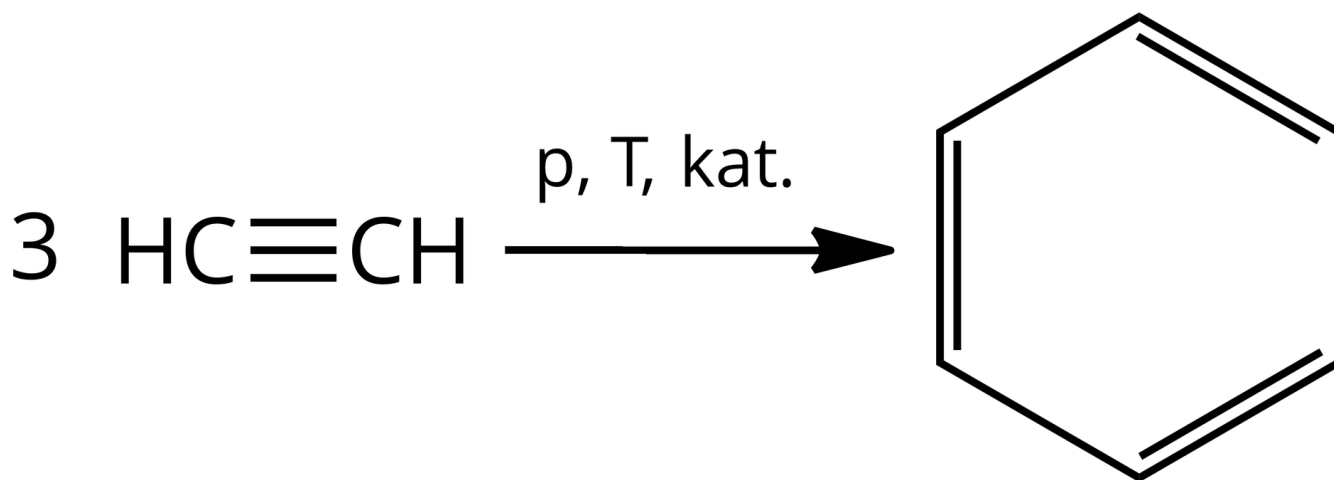


Mechanizm trimeryzacji etynu: 1 – utworzenie kompleksu aktywnego, 2 – zerwanie jednego z wiązań między atomami węgla w cząsteczkach i utworzenie wiązań między atomami węgla sąsiadujących cząsteczek, 3 – efekt rezonansowy

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

Należy pamiętać, że w powstałej cząsteczce benzenu wszystkie wiązania węgiel-węgiel mają jednakową długość (pośrednią między długością wiązania pojedynczego i podwójnego), a sześć pozostałych elektronów, pochodzących od każdego z atomów węgla, tworzy sekstet zdelokalizowanych elektronów  $\pi$  (3).

Równanie reakcji trimeryzacji etynu w obecności **katalizatora** zapisuje się w następujący sposób:



Równanie reakcji trimeryzacji etynu

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

Reakcja ta ma charakter historyczny i nie jest obecnie wykorzystywana na szeroką skalę. Wypracowane zostały nowe, bardziej opłacalne metody produkcji benzenu, do których należy m. in. **kraking parowy**, czyli rozkład lekkich frakcji ropy naftowej (gazu płynnego, benzyny, nafty) z parą wodną.

## Słownik

### alkiny

alifatyczne węglowodory nienasycone o wzorze ogólnym  $C_nH_{2n-2}$ , których cząsteczki zawierają jedno wiązanie potrójne między atomami węgla

### etyn (acetylen)

bezbardwy gaz palny, pierwszy węglowodór w szeregu homologicznym alkinów, o wzorze sumarycznym  $C_2H_2$

### szereg homologiczny

ciąg związków organicznych tej samej klasy, których cząsteczki różnią się między sobą liczbą grup metylenowych

### polimeryzacja

reakcja łączenia się wielu cząsteczek monomerów w jedną dużą cząsteczkę polimeru, bez powstawania produktów ubocznych, kosztem pęknięcia wiązań wielokrotnych

### trimeryzacja

typ reakcji polimeryzacji, w której z trzech monomerów otrzymuje się jedną nową cząsteczkę nazywaną trimerem

### monomery

substraty w reakcji polimeryzacji; zazwyczaj są to związki zawierające wiązania wielokrotne

### trimer

produkt reakcji trimeryzacji, powstały w wyniku połączenia trzech monomerów

powtarzający się fragment polimeru

### katalizator

substancja chemiczna, którą dodaje się do układu w celu zmiany szybkości reakcji chemicznej; katalizator nie zużywa się podczas trwania reakcji

### hybrydyzacja

operacja matematyczna, która polega na tworzeniu mieszanych orbitali elektronowych poprzez liniową kombinację odpowiednich funkcji falowych – czyli jest to powstawanie

kilku orbitali atomowych o jednakowym stanie energetycznym z odpowiedniej liczby orbitali, będących w różnych stanach energetycznych (np.  $sp^2$ ,  $sp^3$ )

## Bibliografia

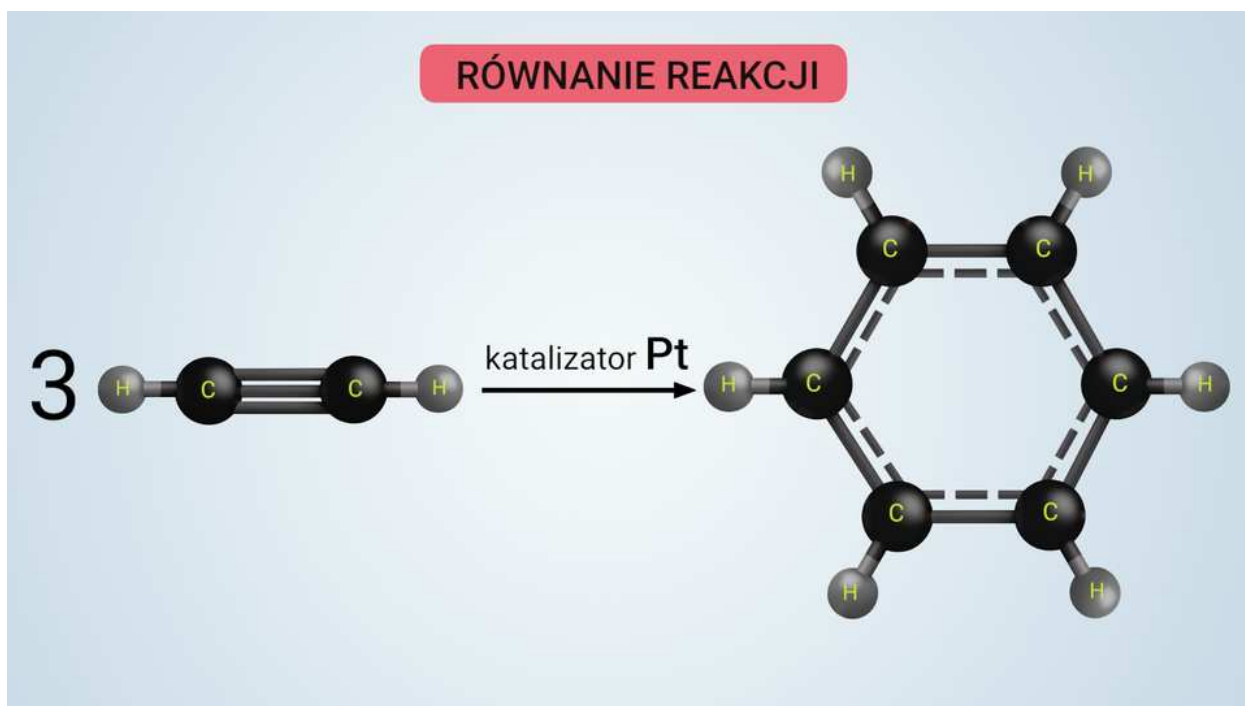
*Trimery*, online: <https://pl.wikipedia.org/wiki/Trimery>, dostęp: 04.02.2021.

Reppe W., *Acetylene Chemistry*, online: [https://en.wikipedia.org/wiki/Walter\\_Reppe](https://en.wikipedia.org/wiki/Walter_Reppe),  
dostęp: 04.02.2021.

# Animacja

## Polecenie 1

Czy wiesz, na czym polega katalityczna trimeryzacja etynu i jaki związek chemiczny powstaje w jej wyniku? Zapoznaj się z poniższą animacją i rozwiąż zadania.



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

Animacja pod tytułem „Jaki związek chemiczny powstanie w wyniku katalitycznej trimeryzacji etynu?”

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

Animacja przedstawia mechanizm reakcji trimeryzacji etynu z wykorzystaniem katalizatora.

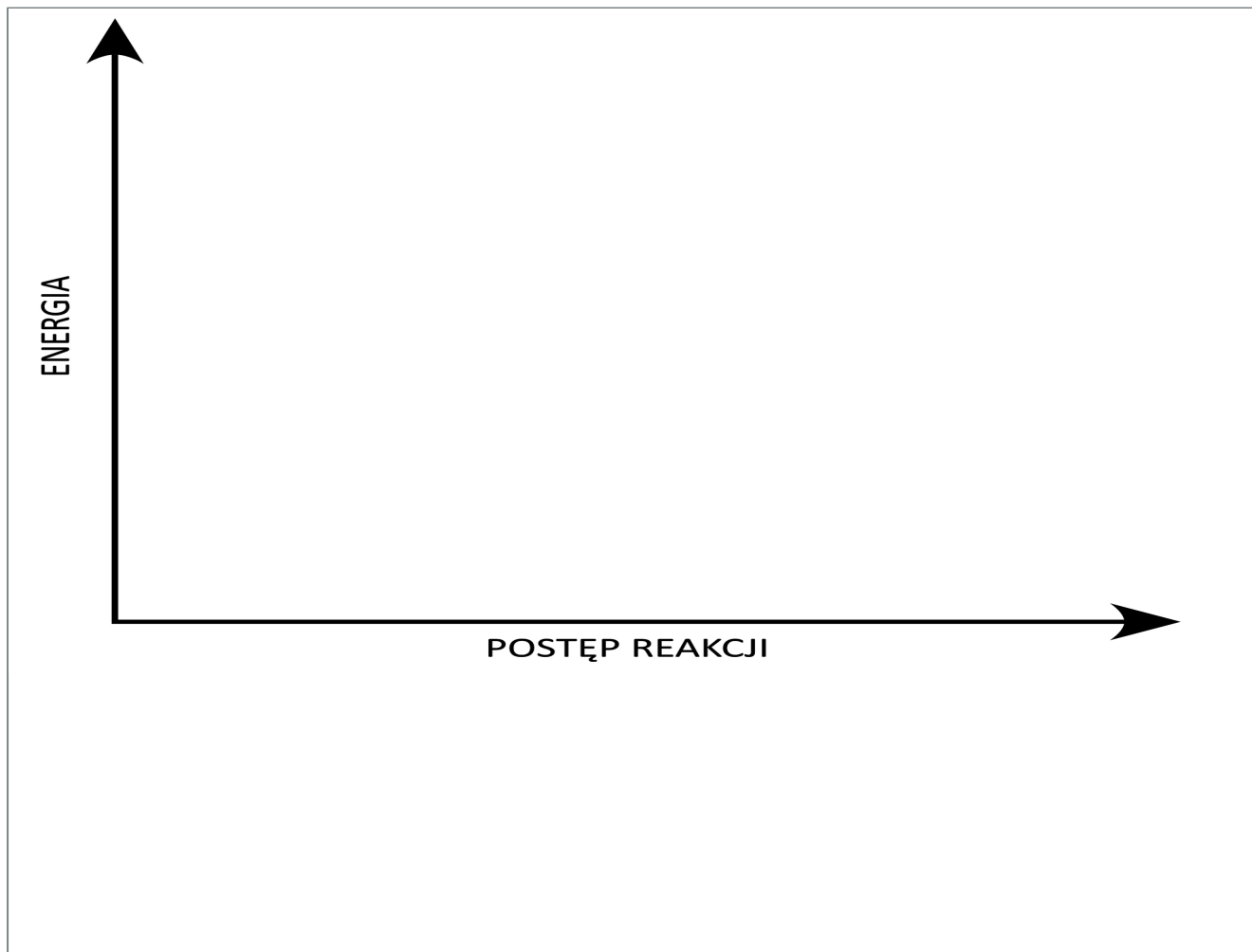
## Ćwiczenie 1

Czy reakcję trimeryzacji etynu można nazwać reakcją polimeryzacji? Odpowiedz i uzasadnij.

**Odpowiedź:**

## Ćwiczenie 2

Wyjaśnij, jaką funkcję w reakcji pełni katalizator. Narysuj wykres zmian energii w reakcji zachodzącej bez udziału katalizatora i z jego udziałem.



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 3

Wyjaśnij różnicę pomiędzy reakcją egzoenergetyczną a reakcją endoenergetyczną. Odpowiedz, które z określić odpowiada reakcji trimeryzacji etynu i dlaczego?

**Odpowiedź:**

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Połącz w pary pojęcia z ich definicjami. Dwie definicje nie pasują do żadnego z pojęć.

| pojęcie      | definicja |
|--------------|-----------|
| alkiny       |           |
| mer          |           |
| trimeryzacja |           |
| monomer      |           |
| katalizator  |           |
| hybrydyzacja |           |
| etyn         |           |

reakcja łączenia się wielu cząsteczek monomerów w jedną dużą cząsteczkę polimeru, bez powstawania produktów ubocznych, kosztem pękania wiązań wielokrotnych

jest to substancja chemiczna, którą dodaje się do układu w celu zmiany szybkości reakcji chemicznej; nie zużywa się ona podczas trwania reakcji

alifatyczne węglowodory nienasycone o wzorze ogólnym  $C_nH_{2n-2}$ , których cząsteczki zawierają jedno wiązanie potrójne między atomami węgla

operacja matematyczna, która polega na tworzeniu mieszanych orbitali elektronowych poprzez liniową kombinację odpowiednich funkcji falowych, czyli jest to powstawanie kilku orbitali atomowych o jednakowym stanie energetycznym z odpowiedniej liczby orbitali będących w różnych stanach energetycznych (np.  $sp$ ,  $sp^2$ ,  $sp^3$ ).

typ reakcji polimeryzacji, w której z trzech monomerów otrzymuje się jedną nową cząsteczkę, nazywaną trimere

bezbarwny gaz palny – pierwszy węglowódor w szeregu homologicznym alkinów o wzorze sumarycznym  $C_2H_2$

ciąg związków organicznych tej samej klasy, których cząsteczki różnią się między sobą liczbą grup metylenowych

substrat w reakcji polimeryzacji; zazwyczaj są to związki zawierające wiązania wielokrotne

powtarzający się fragment polimeru

## Ćwiczenie 2



Zweryfikuj, które ze zdań są prawdziwe, a które fałszywe.

| Zdanie                                                                                                                            | Prawda                | Fałsz                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| W cząsteczce etynu atomy węgla mają ten sam typ hybrydyzacji <i>sp</i> .                                                          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Kształt chmury elektronowej wokół atomów węgla w cząsteczce etynu jest tetraedryczny.                                             | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Etyn jest pierwszym węglowodorem w szeregu homologicznym alkanów.                                                                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Pomiędzy atomami węgla w cząsteczce etynu występuje wiązanie jonowe.                                                              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Masa molowa etynu wynosi $26 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ .                                                                       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Wiązanie potrójne pomiędzy atomami węgla w cząsteczce etynu składa się z jednego wiązania typu $\pi$ oraz jednego typu $\sigma$ . | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

## Ćwiczenie 3



Zapisz równanie reakcji katalitycznej trimeryzacji acetylenu, pamiętając o warunkach przeprowadzenia reakcji.

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

## Ćwiczenie 4



Oblicz masowy stosunek stechiometryczny reagentów w reakcji katalitycznej trimeryzacji acetylenu.

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

## Ćwiczenie 5



Uczeń nie przygotował się na sprawdzian z chemii. Poniżej znajdują się jego odpowiedzi, za które otrzymał 0 punktów. Zapoznaj się z nimi, a następnie przeredaguj w taki sposób, aby były prawdziwe.

1. *Kształt chmury elektronowej wokół atomów węgla w cząsteczce etynu jest trygonalny.*
2. *Etyn jest pierwszym węglowodorem w szeregu homologicznym alkenów.*
3. *Pomiędzy atomami węgla w cząsteczce etynu występuje wiązanie kowalencyjne spolaryzowane.*
4. *Wiązanie potrójne pomiędzy atomami węgla w cząsteczce etynu składa się z jednego wiązania typu  $\pi$  oraz dwóch wiązań typu  $\sigma$ .*

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

## Ćwiczenie 6



W wyniku katalitycznej trimeryzacji uzyskano  $25 \cdot 10^{20}$  cząsteczek benzenu. Oblicz objętość użytego acetylenu w warunkach normalnych. Wynik podaj z dokładnością do liczby całkowitej wyrażonej w  $\text{cm}^3$ .

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

## Ćwiczenie 7



Oblicz, jaką masę benzenu otrzymano, jeżeli do przeprowadzenia katalitycznej trimeryzacji użyto  $30 \text{ cm}^3$  acetylenu o gęstości  $1,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ , jeżeli wiesz, że reakcja zaszła z 75% wydajnością. Wynik podaj z dokładnością do drugiego miejsca po przecinku i wyraż w miligramach.

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

Zaloguj się, aby dodać ilustrację.

## Ćwiczenie 8



Produkt reakcji trimeryzacji w temperaturze pokojowej jest bezbarwną cieczą wrzącą w  $T = 80^\circ \text{C}$ . Jej zapach jest ostry i charakterystyczny. Do pierwszej probówki wlano po  $1 \text{ cm}^3$  wody i benzenu, a do drugiej po  $1 \text{ cm}^3$  chloroformu i benzenu. Wykonaj schematyczny rysunek, zapisz obserwacje i wyjaśnij je, odnosząc się do budowy strukturalnej związków.

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:** Daria Szeliga, Krzysztof Błaszczak

**Przedmiot:** chemia

**Temat:** Jaki związek powstaje w wyniku katalitycznej trimeryzacji etynu?

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

## Podstawa programowa:

Zakres podstawowy

XIII. Węglowodory. Uczeń:

4) opisuje właściwości chemiczne alkinów na przykładzie reakcji: spalania, addycji (przyłączenia):  $H_2$ ,  $Cl_2$ ,  $HCl$ ,  $H_2O$ , trimeryzacji etynu; pisze odpowiednie równania reakcji.

Zakres rozszerzony

XIII. Węglowodory. Uczeń:

6) opisuje właściwości chemiczne alkinów na przykładzie reakcji: spalania, addycji:  $H_2$ ,  $Cl_2$ ,  $IBr_2$ ,  $HCl$  i  $HBr$ ,  $H_2O$ , trimeryzacji etynu; 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 i w zakresie umiejętności uczenia się.

## Cele operacyjne

**Uczeń:**

- rekonstruuje równanie reakcji za pomocą modeli chemicznych;
- pisze równanie reakcji trimeryzacji acetylenu;
- przedstawia warunki prowadzenia reakcji trimeryzacji acetylenu;

- przedstawia mechanizm trimeryzacji acetyleny.

### **Strategie nauczania:**

- asocjacyjna.

### **Metody i techniki nauczania:**

- dyskusja dydaktyczna;
- pogadanka;
- analiza materiału źródłowego,
- ćwiczenia uczniowskie;
- modelowanie;
- animacja multimedialna;
- mapa myśli;
- technika zdań podsumowujących.

### **Formy pracy:**

- praca indywidualna;
- praca w parach;
- praca w grupach;
- praca całego zespołu klasowego.

### **Środki dydaktyczne:**

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

### **Przebieg zajęć**

#### **Faza wstępna:**

1. Zaciekawienie i dyskusja. Nauczyciel wykorzystuje informacje zawarte we wprowadzeniu do e-materiału i zadaje uczniom przykładowe pytanie: Na czym polega katalityczna trimeryzacja?
2. Rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów. Uczniowie starają się udzielić odpowiedzi na postawione pytanie: jaki związek powstanie w wyniku katalitycznej trimeryzacji etynu?
3. Ustalenie celów lekcji. Nauczyciel podaje temat zajęć i wspólnie z uczniami ustala cele lekcji, które uczniowie zapisują w portfolio.

#### **Faza realizacyjna:**

1. Pogadanka – krótkie przypomnienie reakcji polimeryzacji. Nauczyciel zadaje pytania:

- Jakie warunki są niezbędne, aby zaszła reakcja polimeryzacji?
- Na czym polega reakcja polimeryzacji?
- Jaki element budowy związków chemicznych jest niezbędny do zajścia reakcji?
- Czym się różni monomer od polimeru?
- Czym jest mer?

2. Nauczyciel losowo dzieli uczniów na grupy, rozdaje modele kulkowo-pręcikowe. Każda grupa ma za zadanie zbudowanie trzech modeli cząsteczki acetylenu, a następnie uczniowie rozrywają wiązanie potrójne, zostawiając wiązanie podwójne pomiędzy atomami węgla, po czym łączą trzy cząsteczki w jedną. Nauczyciel monitoruje przebieg pracy uczniów i wspiera ich oraz zatwierdza poprawność wykonania zadania.

3. Nauczyciel wyświetla na tablicy interaktywnej mechanizm trimeryzacji acetylenu i zadaje uczniom pytania:

- Jaka cząsteczka powstała w wyniku połączenia trzech cząsteczek acetylenu? (Benzen)
- Czy w powstałej cząsteczce zmienił się typ hybrydyzacji atomów węgla? (Tak, z hybrydyzacji  $sp$  na hybrydyzację  $sp^2$ .)
- Czy w powstałej cząsteczce mamy do czynienia z delokalizacją wiązań? (Tak, sześć elektronów, po jednym od każdego z atomów węgla tworzy sekstet elektronowy, czyli wiązanie zdelokalizowane.)

4. Wybrany uczeń zapisuje na tablicy równanie reakcji trimeryzacji acetylenu. Nauczyciel zwraca uwagę na warunki prowadzenia reakcji (odpowiednio wysoka temperatura i ciśnienie oraz metale przejściowe o funkcji katalitycznej, np. Ni, Pd, Co, Pt).

5. Uczniowie oglądają animację multimedialną zawartą w e-materiale dotyczącą mechanizmu trimeryzacji, po czym w parach wykonują zawarte tam ćwiczenia.

6. Uczniowie samodzielnie sprawdzają swoją wiedzę, wykonując ćwiczenia zawarte w e-materiale – „Sprawdź się”.

### **Faza podsumowująca:**

1. Uczniowie razem z nauczycielem omawiają wszystkie cele lekcji i podsumowują je. Nauczyciel zadaje przy tym pytania podsumowujące:

- Ile cząsteczek etynu bierze udział w reakcji? (trzy)
- Katalityczna trimeryzacja to jakiego typu reakcja? (polimeryzacji)
- Co jest monomerem w tej reakcji? (etyn)
- Co jest trimerem w tej reakcji? (benzen)
- W jakich warunkach zachodzi reakcja? (wysoka temperatura i ciśnienie, katalizator)

2. Jako podsumowanie lekcji nauczyciel może wykorzystać zdania do uzupełnienia, które uczniowie zamieszczają w swoim portfolio:

- Przypomniałem/łam sobie, że...
- Co było dla mnie łatwe...
- Dziś nauczyłem/łam się...
- Co sprawiało mi trudności...

### **Praca domowa:**

Uczniowie wykonują pozostałe ćwiczenia w e-materiale – „Sprawdź się”, których nie zdążyli wykonać na lekcji.

### **Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania multimedium:**

Animacja interaktywna może być wykorzystana przez ucznia w fazie przygotowania do lekcji, przygotowywania się ucznia do sprawdzianu lub do zdobycia wiedzy w razie nieobecności ucznia na lekcji.

### **Materiały pomocnicze:**

Polecenia podsumowujące (nauczyciel przed lekcją zapisuje je na niewielkich kartkach):

- Ile cząsteczek etynu bierze udział w reakcji?
- Katalityczna trimeryzacja to jakiego typu reakcja?
- Co jest monomerem w tej reakcji?
- Co jest trimerem w tej reakcji?
- W jakich warunkach zachodzi reakcja?