Maria Litwin
Szarota Styka-Wlazło
Joanna Szymońska

To jest chemia

Chemia organiczna

Podręcznik dla liceum ogólnokształcącego i technikum

2

Zakres rozszerzony

nowa era
Twoje mocne strony

To jest chemia

Podręcznik dopuszczony do użytku szkolnego przez ministra właściwego do spraw oświaty i wychowania i wpisany do wykazu podręczników przeznaczonych do kształcenia ogólnego do nauczania chemii, na podstawie opinii rzeczoznawców:
prof. zw. dr. hab. Tadeusza Krygowskiego, dr. Andrzeja Persony, dr Agaty Hąci.

Zakres kształcenia: rozszerzony
Etap edukacyjny: III
Typ szkoły: ponadpodstawowa (liceum ogólnokształcące i technikum)
Rok dopuszczenia: 2020

Numer ewidencyjny w wykazie MEN: 991/2/2020

Podręcznik został opracowany na podstawie *Programu nauczania chemii w zakresie rozszerzonym dla liceum ogólnokształcącego i technikum „To jest chemia"* autorstwa Marii Litwin i Szaroty Styki-Wlazło.

Nabyta przez Ciebie publikacja jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy o przestrzeganie praw, jakie im przysługują. Zawartość publikacji możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym, ale nie umieszczaj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, to nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. Możesz skopiować część publikacji jedynie na własny użytek.

Szanujmy cudzą własność i prawo. Więcej na **www.legalnakultura.pl**

© Copyright by Nowa Era Sp. z o.o. 2024
ISBN 978-83-267-5058-8

Współpraca autorska: Grażyna Barcińska, Karol Dudek-Różycki, Romuald Hassa, Małgorzata Jelińska-Kazimierczuk, Aleksandra Mrzigod, Janusz Mrzigod, Michał Płotek, Grażyna Świderska, Tomasz Wichur.
Konsultacja merytoryczna: Karol Dudek-Różycki, Romuald Hassa, Elżbieta Megiel.

Opracowanie redakcyjne: Magdalena Kaczanowicz, Marta Mieszkowska.
Redakcja merytoryczna: Marta Mieszkowska.
Współpraca redakcyjna: Małgorzata Cholewińska, Justyna Kamińska, Anna Koc, Oliwia Pierzyńska, Honorata Pilasiewicz, Justyna Poliszkiewicz, Patrycja Ściślewska.
Redakcja językowa: Aleksandra Hofman, Katarzyna Miller, Joanna Sawicka.
Nadzór artystyczny: Kaia Pichler.
Opieka graficzna: Ewa Kaletyn.
Projekt okładki: Maciej Galiński, Wojtek Urbanek.
Projekt graficzny: Maciej Galiński.
Ilustracje: Ewelina Baran, Elżbieta Buczkowska, Rafał Buczkowski, Zuzanna Dudzic, Piotr Gotkowski, Wioleta Herczyńska, Adam Kłodecki, Przemysław Klosin, Adam Król, Ewa Sowulewska.
Opracowanie graficzne: Marek Błoszko, Maciej Galiński, Klaudia Jarocka, Marcin Kołacz, Zuzanna Sri, Grażyna Truchlińska.
Realizacja projektu graficznego: Dorota Sameć.
Fotoedycja: Beata Chromik, Katarzyna Iwan-Malawska.

Nowa Era Sp. z o.o.
Aleje Jerozolimskie 146D, 02-305 Warszawa
www.nowaera.pl, nowaera@nowaera.pl
Centrum Kontaktu: 58 721 48 00

Druk i oprawa: Quad/Graphics Europe Sp. z o.o.

O czym jest podręcznik?

W części 2. podręcznika znajdują się informacje dotyczące chemii organicznej, m.in. budowy, właściwości i reakcji charakterystycznych związków organicznych.
Treści nadobowiązkowe wyróżniono pionową, niebieską linią, a wszystkie kluczowe wiadomości i umiejętności, ważne w dalszej nauce chemii, oznaczono ikoną .



Czemu służą poszczególne elementy podręcznika?

Doświadczenie 1.

Pozwalają opanować umiejętności opisu doświadczeń chemicznych.

- N — do wykonania wyłącznie przez nauczyciela
- oznaczenie substancji niebezpiecznych
- ważne informacje dotyczące m.in. zasad BHP

Wszystkie doświadczenia obowiązkowe oznaczono ikoną .

W tym dziale zwróć uwagę na umiejętności

Kluczowe umiejętności wymienione na początku działu ważne dla dalszego kształcenia.

Ciągi przemian

Porządkują wiedzę na temat przemian związków chemicznych.

Krok po kroku

Przedstawienie kolejnych etapów procesów na infografikach ułatwia ich zrozumienie.

Zastosowania

Infografiki, które dzięki prostym skojarzeniom ułatwiają zapamiętanie zastosowań substancji.

Mapa pojęć

Pokazuje związki przyczynowo-skutkowe i zależności między najważniejszymi pojęciami.

Zadania ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

Umożliwiają utrwalenie wiadomości i ćwiczenie umiejętności z lekcji na lekcję.

Przykład 1.

Przykłady z planem rozwiązywania krok po kroku pokazują sposoby rozwiązywania zadań obliczeniowych i problemowych.

WIESZ, UMIESZ, ZDASZ

Podsumowanie

Najważniejsze definicje i wzory – kluczowe wiadomości w każdym dziale.

Sposób na zadania

Tłumaczenie krok po kroku sposobów rozwiązywania przekrojowych zadań problemowych i obliczeniowych.

Trening – rozwiąż zadania

Zadania przekrojowe, które umożliwią ćwiczenie kluczowych umiejętności z każdego działu.

Regulamin pracowni chemicznej i oznaczenia BHP

Przebywając w pracowni chemicznej, należy ściśle przestrzegać jej regulaminu i postępować zgodnie z zasadami bezpiecznej pracy.

- Wszystkie doświadczenia chemiczne można wykonywać wyłącznie na polecenie nauczyciela.
- Przed wykonaniem doświadczenia chemicznego na polecenie nauczyciela należy założyć fartuch i okulary ochronne, a jeśli to konieczne – rękawice ochronne.



- Doświadczenia chemiczne należy przeprowadzać według instrukcji zamieszczonej w podręczniku lub podanej przez nauczyciela.
- Wszystkie substancje stosowane do doświadczeń chemicznych należy traktować jako potencjalne trucizny: nie wolno ich dotykać, sprawdzać smaku ani zapachu.
- Na polecenie nauczyciela można sprawdzić zapach substancji, kierując jej pary ruchem wachlującym dłoni w stronę nosa.
- Podczas ogrzewania substancji w probówce trzeba skierować jej wylot w stronę, gdzie nikogo nie ma, i delikatnie nią poruszać.
- Należy zachować szczególne środki ostrożności podczas pracy z substancjami oznaczonymi znakami ostrzegawczymi w postaci piktogramów.
- Odpady, które zostają po wykonaniu doświadczeń chemicznych, należy zbierać w odpowiednich pojemnikach i poddawać utylizacji.

Zagrożenia fizykochemiczne



substancje wybuchowe



substancje łatwopalne



substancje utleniające



gazy pod ciśnieniem

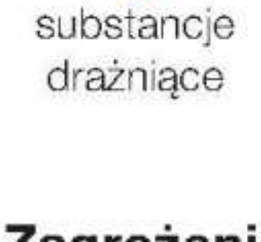


substancje korodujące metale

Zagrożenia dla zdrowia



substancje toksyczne



substancje drażniące



substancje rakotwórcze, mutagenne



substancje żrące

Zagrożenia dla środowiska



substancje niebezpieczne dla środowiska

Spis treści

Mapa pojęć – przypomnienie wiadomości 6

Chemia organiczna jako chemia związków węgla

1. Węgiel $_{6}C$ i jego związki chemiczne 8
2. Wykrywanie pierwiastków chemicznych w związkach organicznych 17
3. Metody rozdzielania mieszanin i oczyszczania związków chemicznych 23
4. Wzory i rodzaje reakcji związków organicznych 32

Podsumowanie 37
Sposób na zadania 41
Trening – rozwiąż zadania 42

Węglowodory

5. Węglowodory nasycone – alkany 44
6. Węglowodory nienasycone – alkeny 66
7. Węglowodory nienasycone – alkiny. 83
8. Węglowodory aromatyczne – areny. Benzen 97
9. Metylobenzen – toluen 110
10. Areny wielopierścieniowe 119
11. Izomeria węglowodorów. 122
12. Paliwa kopalne i ich przetwarzanie 126

Podsumowanie 143
Sposób na zadania 147
Trening – rozwiąż zadania 148

Jednofunkcyjne pochodne węglowodorów

13. Fluorowcopochodne węglowodorów . . . 150
14. Alkohole monohydroksylowe 164
15. Alkohole polihydroksylowe 181
16. Fenole 189
17. Aldehydy – karbonylowe związki organiczne 201
18. Ketony – karbonylowe związki organiczne 212
19. Kwasy karboksylowe 221
20. Wyższe kwasy karboksylowe 238
21. Estry. 252
22. Tłuszcze 262
23. Aminy 275
24. Amidy 287

Podsumowanie 300
Sposób na zadania 310
Trening – rozwiąż zadania 311

Wielofunkcyjne pochodne węglowodorów

25. Izomeria optyczna 314
26. Hydroksykwasy 327
27. Aminokwasy 341
28. Białka 352
29. Sacharydy 370
30. Monosacharydy 372
31. Disacharydy 385
32. Polisacharydy 392

Podsumowanie 413
Sposób na zadania 418
Trening – rozwiąż zadania 419

Odpowiedzi do zadań obliczeniowych 420
Szkło laboratoryjne 421
Sprzęt laboratoryjny 422
Rozpuszczalniki najczęściej stosowane do oczyszczania substancji metodą krystalizacji uporządkowane według zmniejszającej się polarności 423
Reakcje charakterystyczne związków organicznych 424
Wzory i nazwy aminokwasów białkowych. . . 431
Bibliografia 433
Indeks 434

Mapa pojęć – przypomnienie wiadomości

hybrydyzacja orbitali atomowych

dla anionu: $Lp = \sigma + \frac{1}{2}(n - m + a)$

dla cząsteczki: $Lp = \sigma + \frac{1}{2}(n - m)$

dla kationu: $Lp = \sigma + \frac{1}{2}(n - m - a)$

$Lp =$ liczba wolnych par elektronowych atomu centralnego + liczba par elektronowych wiązań typu σ

metoda VSEPR → Lp liczba przestrzenna

- Lp = **2** → hybrydyzacja *sp* dygonalna (liniowa) → 1 orbital *s* i 1 orbital *p*
  - typ cząsteczki: AB_2E_0
  - figura geometryczna
  - geometria cząsteczki: 180°
  - cząsteczka liniowa, np.: $\overline{O}=C=\overline{O}$
- Lp = **3** → hybrydyzacja sp^2 trygonalna → 1 orbital *s* i 2 orbitale *p*
  - AB_3E_0: trójkąt równoboczny, 120°, np.: $\left[\overline{|O|}=N(\rightarrow\overline{O}|)(\overline{|O}|)\right]^-$
  - AB_2E_1: cząsteczka kątowa, 119°, np.: $\overline{O}=S\rightarrow\overline{O}|$
- Lp = **4** → hybrydyzacja sp^3 tetragonalna → 1 orbital *s* i 3 orbitale *p*
  - AB_4E_0: tetraedr, 109,5°, np.: $H-C(H)(H)-H$
  - AB_3E_1: piramida trygonalna, 107,5°, np.: $H-\overline{N}(H)-H$
  - AB_2E_2: cząsteczka kątowa (kształt litery V), 104,5°, np.: $H-\overline{O}|-H$

Wyjaśnienia symboli:

σ – liczba wiązań typu σ w cząsteczce lub jonie,
n – liczba elektronów walencyjnych atomu centralnego,
m – liczba elektronów konieczna do uzupełnienia dubletu lub oktetu przez wszystkie atomy ligandów,
a – wartość bezwzględna ładunku jonu,
A – atom centralny,
B – ligandy,
E – wolne pary elektronowe atomu centralnego.



Chemia organiczna jako chemia związków węgla

W tym dziale zwróć uwagę na umiejętności

Obliczenia chemiczne

- ustalanie wzoru empirycznego i rzeczywistego związku chemicznego na podstawie jego składu i masy molowej

Korzystanie z informacji

- określanie właściwości i zastosowań odmian alotropowych węgla na podstawie ich budowy
- określanie metody rozdzielenia składników mieszaniny na podstawie właściwości tworzących ją substancji
- określanie mechanizmów i typów reakcji związków organicznych

1. Węgiel $_6$C i jego związki chemiczne



Fot. 1. Węgiel może występować w postaci grafitu – miękkiego niemetalu.

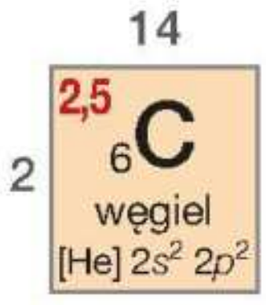
Węgiel (fot. 1.) jest przedstawicielem węglowców, czyli pierwiastków chemicznych bloku *p* tworzących 14. grupę układu okresowego.

Konfiguracja elektronowa atomu węgla

Atom węgla ma 4 elektrony walencyjne i następującą konfigurację elektronową:

$$_6\text{C: [He] } 2s^2\ 2p^2$$





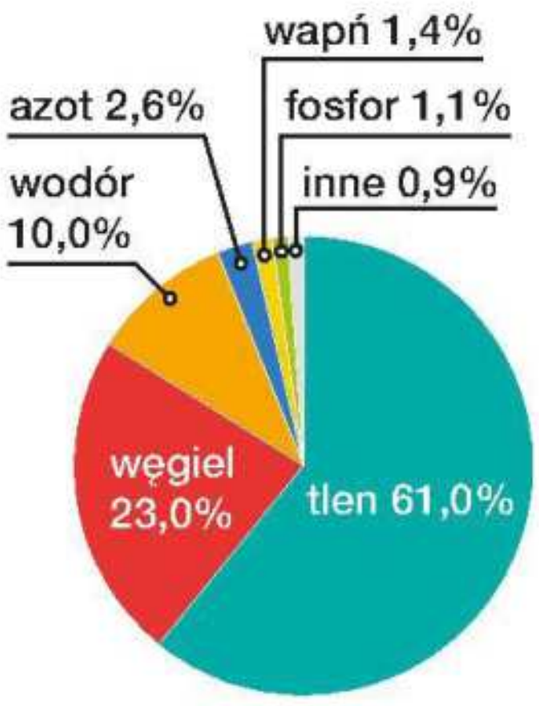
Stopnie utlenienia węgla

Węgiel **w związkach nieorganicznych** występuje zazwyczaj na **II i IV** stopniu utlenienia. **W związkach organicznych** może występować na stopniach utlenienia **od –IV do IV**.

Występowanie węgla

Węgiel występuje we wszystkich organizmach. Jego zawartość w organizmie człowieka (rys. 1.) oraz różnorodność związków organicznych, które tworzy, powodują, że jest on uważany za chemiczną podstawę życia. Pod względem zawartości w organizmie człowieka wyprzedza go tylko tlen, który stanowi 61% masy ciała.

Węgiel jest składnikiem ropy naftowej, gazu ziemnego oraz kopalnych paliw stałych, czyli węgli kopalnych. Powstały one w większości w okresie karbonu (360–300 mln lat temu) w wyniku przeobrażenia szczątków roślinnych. W zależności od okresu geologicznego, w którym powstały, mają różną zawartość węgla pierwiastkowego (tabela 1.).



Rys. 1. Pierwiastki chemiczne, których zawartość w organizmie człowieka jest mniejsza niż 1% masy, to m.in.: S, Na, K, Cl, Mg, Si.

Tabela 1. Zawartość węgla pierwiastkowego w węglach kopalnych

Nazwa węgla kopalnego	szungit	antracyt	węgiel kamienny	węgiel brunatny	torf
Zawartość węgla pierwiastkowego, % (procent masowy)	99	94–97	75–92	63–78	< 60

W skorupie ziemskiej węgiel występuje także w postaci minerałów, głównie węglanów, takich jak: kalcyt, dolomit, magnezyt i syderyt (patrz tabela 2., s. 9).

Tabela 2. Wybrane minerały, których składnikiem jest węgiel

Nazwa minerału	kalcyt	dolomit	magnezyt	syderyt
Nazwa systematyczna	węglan wapnia	węglan magnezu i wapnia	węglan magnezu	węglan żelaza(II)
Wzór sumaryczny	$CaCO_3$	$CaMg[CO_3]_2$	$MgCO_3$	$FeCO_3$
Fotografia				

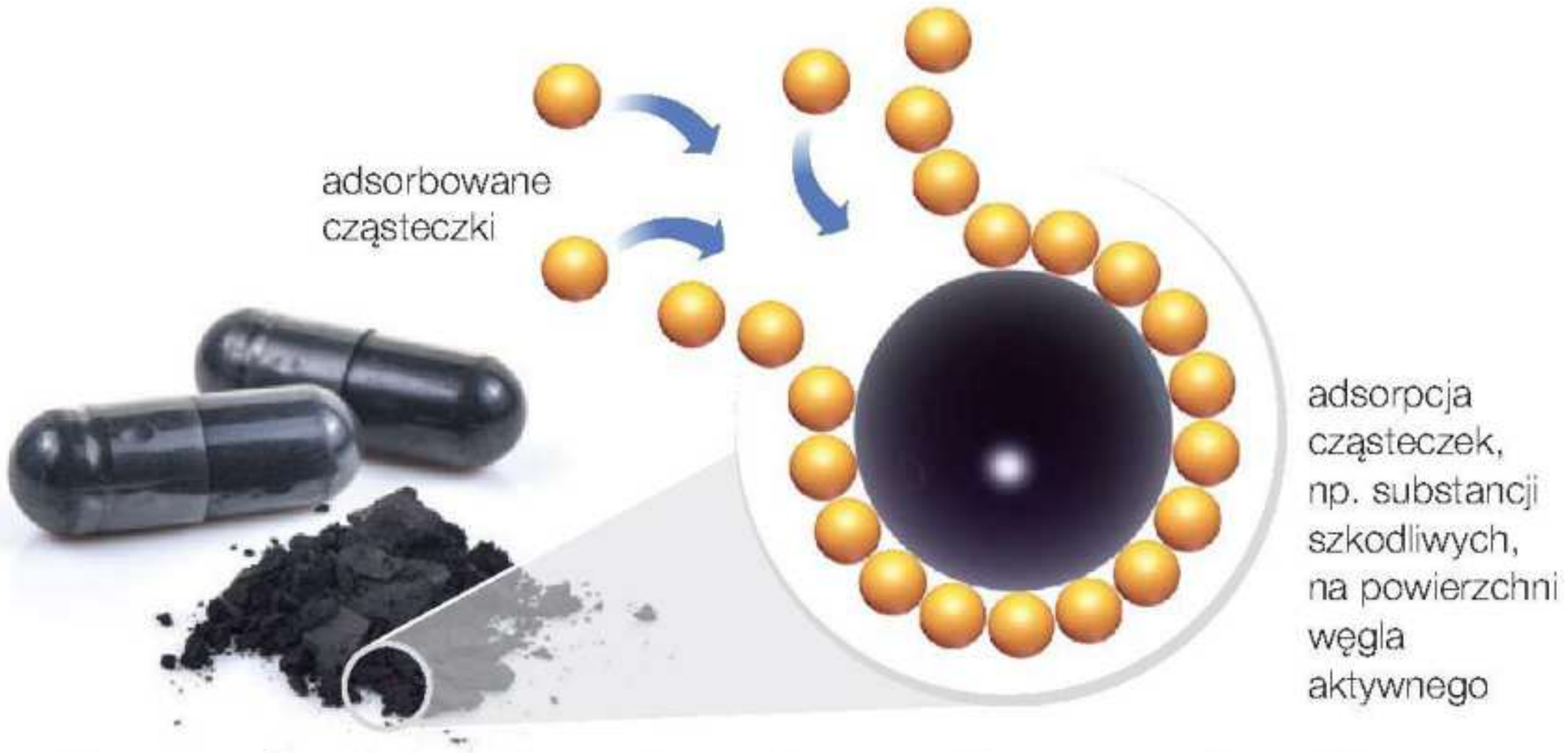
Węgiel aktywny

Z odpowiednio spreparowanego węgla drzewnego można otrzymać **węgiel aktywny** (fot. 2.). Węgiel w tej postaci nazywa się także potocznie węglem leczniczym lub węglem aktywowanym.

Ma on silne właściwości adsorpcyjne, dzięki którym pochłania substancje szkodliwe, będące przyczyną zatruć i dolegliwości żołądkowych. Takie właściwości wynikają z rozdrobnienia węgla, dzięki czemu jego cząstki mają bardzo dużą powierzchnię: 1 g węgla leczniczego może mieć powierzchnię 400–1500 m^2. Węgiel aktywny nie wchłania się z przewodu pokarmowego, jest więc uznawany za substancję nieszkodliwą dla organizmu.

Węgiel drzewny – produkt termicznego, beztlenowego rozkładu drewna.

Adsorpcja – wiązanie substancji z roztworu (ciekłego lub gazowego) na powierzchni substancji stałej.



Fot. 2. Węgiel aktywny jest sprzedawany jako produkt leczniczy najczęściej w postaci tabletek lub kapsułek.

Krok po kroku

Cztery odmiany alotropowe węgla

Czysty węgiel pierwiastkowy występuje w kilku odmianach alotropowych. Najważniejsze z nich to: **diament**, **grafit**, **grafen** i **fulereny**.

1 Diament

Atomy węgla w diamencie połączone są bardzo silnymi wiązaniami kowalencyjnymi. Dzięki nim diamenty są najtwardszymi substancjami występującymi na Ziemi.

Właściwości fizyczne

- substancja stała, krucha
- zwykle bezbarwne kryształy, nierozpuszczalne w wodzie
- nie przewodzi prądu elektrycznego
- dobrze przewodzi ciepło

Właściwości chemiczne

- bezwonny
- mało aktywny chemicznie, spala się w temp. wyższej niż 850°C
- w podwyższonej temperaturze reaguje m.in. z F_2



diament

2 Grafit

Jego sieć krystaliczna składa się z oddalonych od siebie warstw połączonych oddziaływaniami van der Waalsa. Łatwo je rozdzielić, dlatego grafit jest ścieralny i łupliwy.

Właściwości fizyczne

- substancja stała, ścieralna, tłusta w dotyku
- ciemnoszare płytki, nierozpuszczalne w wodzie
- dobrze przewodzi prąd elektryczny i ciepło

Właściwości chemiczne

- bezwonny
- mało aktywny chemicznie w temp. 0°C; w podwyższonej temperaturze reaguje m.in. z Br_2
- ulega reakcjom spalania



grafit

3 Grafen

Jest zbudowany z pojedynczej warstwy atomów węgla, która przypomina plaster miodu.

Właściwości fizyczne

- substancja stała, wytrzymała mechanicznie
- przezroczysty
- nierozpuszczalny w wodzie
- dobrze przewodzi prąd elektryczny i ciepło

Właściwości chemiczne

- bezwonny
- mało aktywny chemicznie
- w wyniku reakcji z wodorem staje się izolatorem



grafen

4 Fulereny

Jedna warstwa atomów węgla, połączonych wiązaniami kowalencyjnymi, np. C_{60} tworzy kształt piłki.

Właściwości fizyczne

- substancje stałe o metalicznym połysku
- kryształy o barwie od żółtej do czerwonobrązowej
- nierozpuszczalne w wodzie, rozpuszczają się w rozpuszczalnikach organicznych
- mają właściwości nadprzewodzące i półprzewodnikowe

Właściwości chemiczne

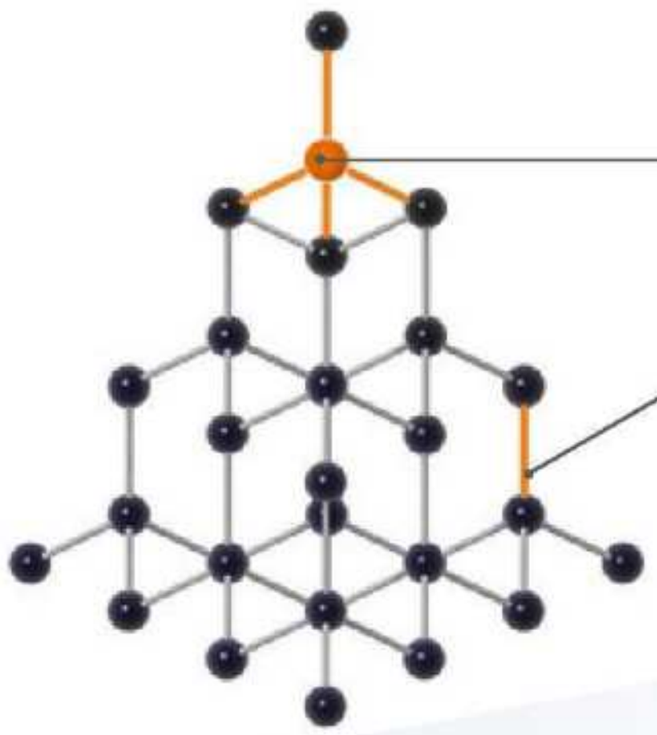
- bezwonne
- pod wpływem światła ulegają rozkładowi
- reagują z najaktywniejszymi litowcami
- ulegają reakcjom spalania



fulereny

zdjęcia mikroskopowe odmian alotropowych węgla





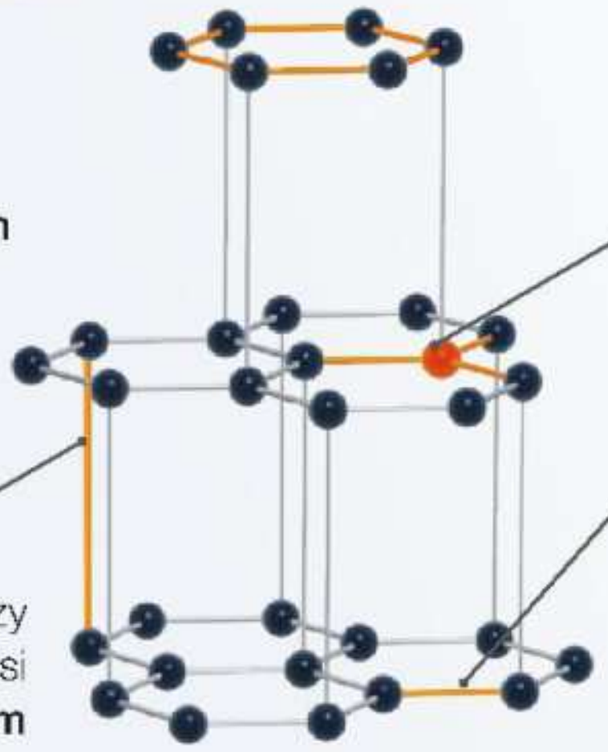
hybrydyzacja sp^3

każdy atom węgla łączy się z **4 innymi atomami węgla**

wiązanie kowalencyjne długość wiązań C–C wynosi **0,154 nm**, kąty pomiędzy wiązaniami mają **109,5°**



warstwy zbudowane z sześciokątnych pierścieni



hybrydyzacja sp^2

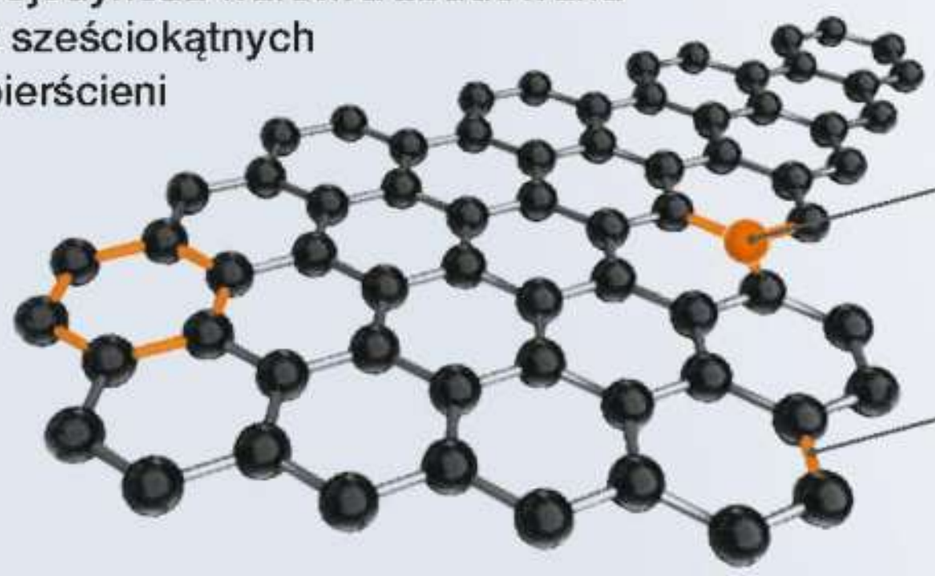
każdy atom węgla łączy się z **3 innymi atomami węgla**

wiązanie kowalencyjne długość wiązań C–C wynosi **ok. 0,142 nm**, kąty pomiędzy wiązaniami mają **120°**

odległość między warstwami wynosi **ok. 0,340 nm**



pojedyncza warstwa zbudowana z sześciokątnych pierścieni



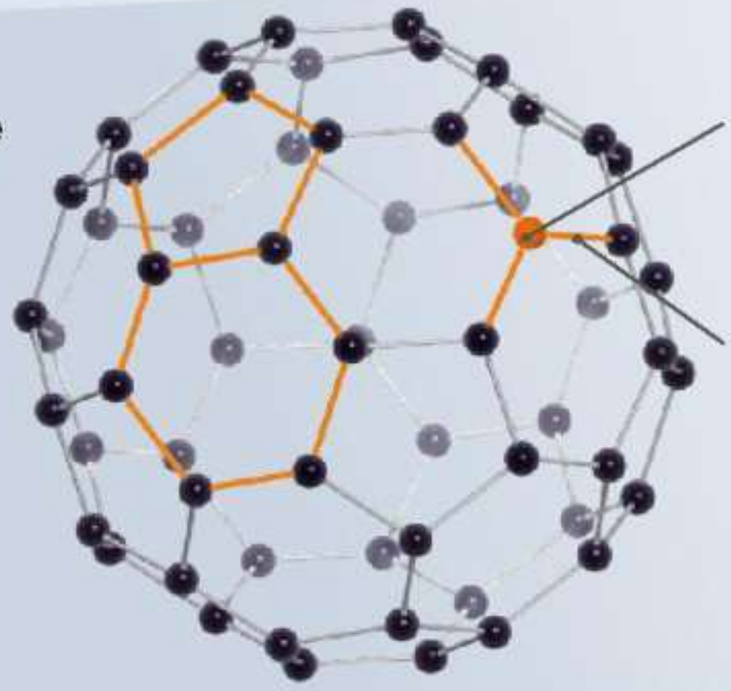
hybrydyzacja sp^2

każdy atom węgla łączy się z **3 innymi atomami węgla**

wiązanie kowalencyjne długość wiązań C–C wynosi **ok. 0,142 nm**, kąty pomiędzy wiązaniami mają **120°**



pięciokątne i sześciokątne pierścienie



każdy atom węgla łączy się z **3 innymi atomami węgla**

wiązanie kowalencyjne

Pozostałe odmiany alotropowe węgla

Jednoatomowe warstwy grafenu zwinięte w walec tworzą struktury zwane **nanorurkami węglowymi**. Mogą mieć od 1 do 1,5 nm średnicy. Nanorurki węglowe są bardzo trwałe i wytrzymałe na rozciąganie. Mają też zdolność przewodzenia prądu elektrycznego i ciepła.

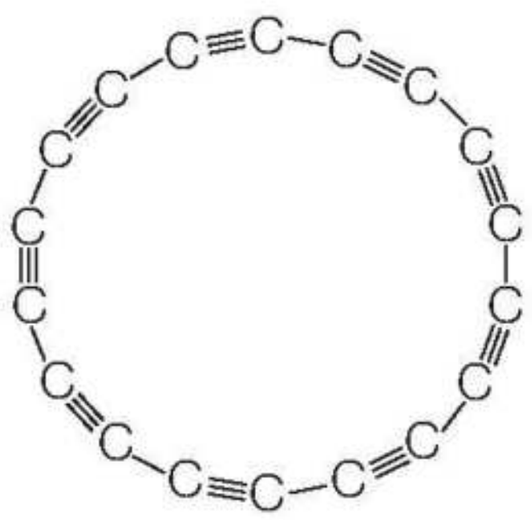
Mniej znaną odmianą alotropową węgla jest **karbin**. Ma on postać białych kryształów. Karbin jest zbudowany z atomów węgla, których orbitale walencyjne mają hybrydyzację *sp*. Atomy węgla łączą się w długie łańcuchy (do 300 atomów), które zawierają wiązania podwójne lub naprzemiennie wiązania pojedyncze i potrójne.

Karbin jest twardszy od diamentu i bardziej wytrzymały na rozciąganie niż grafen.

Najsłabiej poznaną odmianą alotropową węgla jest **cyklokarbon** (cyklooktadekawęgiel). Jego cząsteczkę tworzy pierścień zbudowany z 18 atomów węgla, które łączą się naprzemiennie wiązaniami pojedynczymi i potrójnymi (rys. 2.).

Naprzemienne wiązania węgiel-węgiel

—C≡C—C≡C—



Rys. 2. Wzór strukturalny cząsteczki cyklokarbonu.

Zastosowania

Zastosowania odmian alotropowych węgla

Najwięcej zastosowań mają najlepiej poznane odmiany – fulereny, grafit i diament. Grafen może być stosowany np.: w elektronice, medycynie oraz do produkcji materiałów o zwiększonej wytrzymałości.



Fulereny

Fulereny coraz częściej są wykorzystywane w **medycynie**, m.in. do projektowania leków stosowanych w leczeniu AIDS i nowotworów. Natomiast dodanie fulerenu C_{60} do aluminium zwiększa jego twardość, dlatego jest on używany również w przemyśle metalurgicznym.



Grafit

Dzięki poruszającym się względem siebie warstwom atomów węgla grafit pozostawia ślady przy pocieraniu np. o kartkę papieru, dlatego jest stosowany do **produkcji ołówków**. Grafit można także znaleźć w prętach reaktorów jądrowych oraz szczotkach do silników elektrycznych.



Diament

Diamenty oszlifowane w specjalny sposób to brylanty – najcenniejsze kamienie szlachetne. Są wykorzystywane w **jubilerstwie** do wytwarzania biżuterii. Stosuje się je także do produkcji narzędzi tnących oraz sprzętów elektronicznych.

Przykłady pierwiastków chemicznych występujących w odmianach alotropowych

Odmiany alotropowe ma nie tylko węgiel. Zjawisko alotropii dotyczy także innych pierwiastków chemicznych, np.: fosforu (tabela 3.), siarki czy tlenu.

Fosfor występuje w kilku odmianach alotropowych, z czego najczęściej spotyka się trzy: fosfor biały, czerwony i czarny. Istnieje także kilka odmian alotropowych siarki. Najważniejsze z nich to siarka rombowa i siarka jednoskośna, różniące się strukturą krystaliczną. Z kolei tlen, w gazowym stanie skupienia, występuje w dwóch odmianach – w cząsteczkach dwuatomowych O_2 oraz w cząsteczkach trójatomowych O_3 (ozon).

Wybrane pierwiastki chemiczne występujące w odmianach alotropowych:

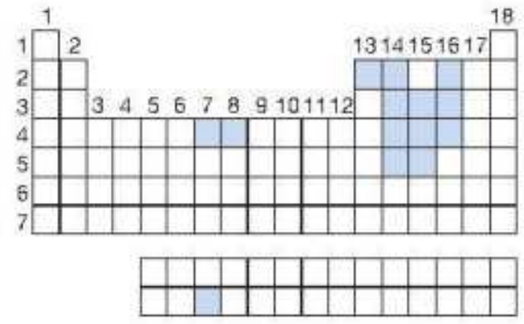
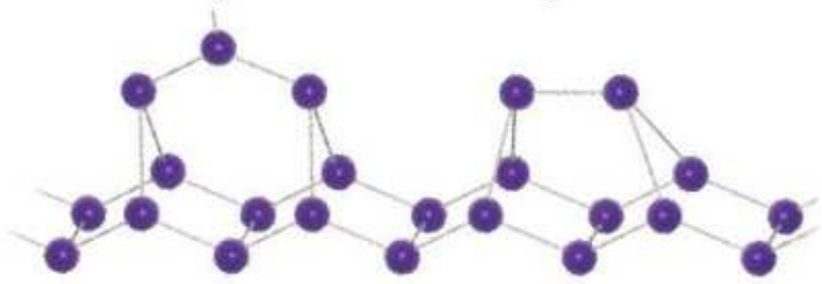


Tabela 3. Porównanie struktury i właściwości fosforu białego i fosforu czerwonego

Nazwa odmiany alotropowej	Fosfor biały	Fosfor czerwony
Wygląd	biała, miękka substancja stała, która przybiera też barwę żółtawą 	ciemnoczerwony proszek 
Struktura przestrzenna	pojedyncze tetraedryczne cząsteczki P_4 	makrocząsteczki o zmiennym układzie 
Palność	łatwopalny, samoistnie zapala się na powietrzu (przechowuje się go pod wodą)	w powietrzu zapala się dopiero po ogrzaniu do temp. 400°C
Aktywność chemiczna	bardzo aktywny chemicznie	mniej aktywny chemicznie od fosforu białego
Rozpuszczalność	rozpuszcza się m.in. w CS_2 i benzenie	nie rozpuszcza się w żadnym rozpuszczalniku
Toksyczność	bardzo toksyczny	nietoksyczny

Odkrycia, które zmieniły świat – datowanie radiowęglowe

Do ustalenia wieku materiałów pochodzenia naturalnego, np. organizmów (fot. 3.), stosuje się datowanie radiowęglowe. Porównuje się w próbce ilość promieniotwórczego izotopu węgla ^{14}C do ilości jego trwałych izotopów ^{12}C i ^{13}C. W żywym organizmie stężenie ^{14}C jest równe stężeniu tego izotopu w atmosferze. Po śmierci ustaje przyswajanie węgla, ale nadal zachodzi rozpad promieniotwórczy izotopu ^{14}C, dlatego jego ilość zmniejsza się z upływem czasu. Dzięki temu można ustalić w przybliżeniu datę śmierci organizmu.



Fot. 3. Datowanie radiowęglowe stosuje się do określenia wieku znalezisk archeologicznych nie starszych niż około 50 tys. lat.

Nieorganiczne związki węgla

Tlenki – dwuskładnikowe związki tlenu z innymi pierwiastkami chemicznymi.

Nieorganiczne związki węgla, do których zalicza się tlenki, kwasy oraz sole, zostały omówione w dziale *Systematyka związków nieorganicznych* w cz. 1. podręcznika, s. 113–174.

Tlenek węgla(II) CO jest bezbarwnym i bezwonnym gazem. Powstaje w wyniku spalania niecałkowitego węgla lub paliw węglowodorowych, np. benzyny czy gazu ziemnego.

Tlenek węgla(II) stanowi zagrożenie dla zdrowia. Zaliczany jest do substancji toksycznych.

Tlenek węgla(II), nazywany potocznie **czadem**, trwale łączy się z jonem żelaza Fe^{2+}, który jest składnikiem hemoglobiny – czerwonego barwnika krwi. To powoduje, że hemoglobina nie może przyłączyć cząsteczek tlenu i zostaje zablokowany proces dostarczania tlenu do komórek organizmu. Na skalę przemysłową tlenek węgla(II) otrzymuje się, przepuszczając przegrzaną parę wodną (o temperaturze 600–1000°C) nad węglem. W ten sposób powstaje mieszanina tlenku węgla(II) i wodoru, tzw. **gaz wodny** – surowiec stosowany do wielu syntez.



Fot. 4. Suchy lód, czyli CO_2 w stałym stanie skupienia, łatwo sublimuje.

Tlenek węgla(IV) CO_2 jest gazem bezbarwnym i bezwonnym. Powstaje w wyniku reakcji spalania całkowitego węgla oraz związków organicznych. Jest też produktem oddychania. Stosunkowo łatwo, w temp. –78,5°C, zestala się w śnieżnobiałą masę, nazywaną **suchym lodem** (fot. 4.).

Tlenek węgla(IV) stosuje się w gaśnicach śniegowych, gdyż obniża temperaturę płomienia. Ma gęstość ok. 1,5 raza większą od gęstości powietrza, dlatego szczelnie otacza palącą się substancję. W ten sposób odcina dostęp tlenu i uniemożliwia dalsze spalanie. Tlenek węgla(IV) nie jest trujący, jednak gdy jest go zbyt dużo w powietrzu, np. w zamkniętym pomieszczeniu, utrudnia oddychanie.

Kwasy – związki chemiczne, których cząsteczki są zbudowane z kationów wodoru i anionów reszty kwasowej.

Tlenek węgla(IV) rozpuszcza się w wodzie zależnie od ciśnienia (im wyższe ciśnienie, tym większa rozpuszczalność). Powstaje wówczas **kwas węglowy** $H_2O + CO_2$ (H_2CO_3), który jest **bardzo słabym** kwasem – dysocjuje w ok. 0,2%:

$$\underset{\text{tlenek węgla(IV)}}{CO_2} + \underset{\text{woda}}{H_2O} \overset{H_2O}{\rightleftharpoons} \underset{\text{kation wodoru}}{H^+} + \underset{\text{anion wodorowęglanowy}}{HCO_3^-}$$

$$\underset{\text{anion wodorowęglanowy}}{HCO_3^-} \overset{H_2O}{\rightleftharpoons} \underset{\text{kation wodoru}}{H^+} + \underset{\text{anion węglanowy}}{CO_3^{2-}}$$

Kwas węglowy jest **nietrwały**. Gdy jego stężenie jest większe niż 0,002%, ulega rozkładowi. Z tego powodu do otrzymywania jego soli wykorzystuje się tlenek węgla(IV), który jako tlenek kwasowy łatwo reaguje z zasadami, np.:

Słabe kwasy – kwasy, które w niewielkim stopniu ulegają dysocjacji elektrolitycznej. W roztworze wodnym większość ich cząsteczek pozostaje niezdysocjowana.

$$\underset{\text{tlenek węgla(IV)}}{CO_2} + \underset{\text{wodorotlenek sodu}}{NaOH} \longrightarrow \underset{\text{wodorowęglan sodu}}{NaHCO_3}$$

$$\underset{\text{tlenek węgla(IV)}}{CO_2} + \underset{\text{wodorotlenek sodu}}{2\,NaOH} \longrightarrow \underset{\text{węglan sodu}}{Na_2CO_3} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

Węglany to sole kwasu węglowego. Wyróżnia się **węglany obojętne**, zawierające jon CO_3^{2-}, a także **wodorowęglany**, zawierające jon HCO_3^-. Największe znaczenie przemysłowe ma węglan wapnia, stosowany jako surowiec do otrzymywania wapna palonego i tlenku węgla(IV), oraz węglan sodu – ważny surowiec w przemyśle szklarskim, farmaceutycznym i tłuszczowym.

Sole – związki chemiczne zbudowane z kationów metali lub kationu amonu NH_4^+ oraz anionów reszt kwasowych.

Kwas cyjanowodorowy HCN, nazywany potocznie kwasem pruskim, to bezbarwna ciecz o charakterystycznym zapachu gorzkich migdałów.

W organizmie kwas ten tworzy trwałe połączenia CN^- z jonami Fe^{3+} zawartymi w enzymach oddechowych. Blokuje w ten sposób proces przenoszenia tlenu z oksyhemoglobiny do komórek. Jest kwasem bardzo słabym, słabszym od kwasu węglowego. Dysocjuje zgodnie z równaniem:

$$\underset{\text{kwas cyjanowodorowy}}{HCN} \overset{H_2O}{\rightleftharpoons} \underset{\text{kation wodoru}}{H^+} + \underset{\text{anion cyjankowy}}{CN^-}$$

! Kwas cyjanowodorowy to jedna z najsilniejszych trucizn.

Cyjanki to sole kwasu cyjanowodorowego. Cyjanki litowców i berylowców są dobrze rozpuszczalne w wodzie.

! Cyjanki są bardzo toksyczne.

Kwas cyjanowy HOCN jest cieczą, kwasem nietrwałym, słabym, dysocjującym zgodnie z równaniem:

$$\underset{\text{kwas cyjanowy}}{HOCN} \overset{H_2O}{\rightleftharpoons} \underset{\text{kation wodoru}}{H^+} + \underset{\text{anion cyjanianowy}}{OCN^-}$$

Cyjaniany to sole kwasu cyjanowego.

Organiczne związki węgla

Do początku XIX w. chemicy wytwarzali w laboratoriach wiele różnych związków chemicznych, m.in.: kwasy, tlenki, zasady oraz sole. Nie udawało im się jednak otrzymać metodami laboratoryjnymi nawet najprostszych substancji, które wyodrębniano z organizmów. Uznano więc, że powstawanie tego typu związków chemicznych jest możliwe jedynie przy udziale organizmu obdarzonego bliżej nieokreśloną „siłą życiową". Bez niej te związki chemiczne nie mogą powstawać. Tę teorię nazwano **witalistyczną** (łac. *vis vitalis* – siła życiowa), substancje – **organicznymi**, a dział chemii o nich traktujący – **chemią organiczną**.

Teoria witalistyczna – otrzymywanie związków organicznych jest związane ze szczególną siłą życiową, którą obdarzony jest organizm żywy.

Teoria witalistyczna powstawania substancji organicznych na wiele lat zahamowała rozwój chemii organicznej. Przełomowy moment nastąpił w 1828 r., gdy młody niemiecki chemik **Friedrich Wöhler** [czyt. fridriś wuler] (fot. 5.) dokonał przekształcenia **związku nieorganicznego – cyjanianu amonu – w mocznik**. Jest on **końcowym produktem przemiany białka u ssaków**:

$$\underset{\text{cyjanian amonu}}{[NH_4]^+[NCO]^-} \xrightarrow{T} \underset{\text{mocznik}}{H_2N\diagdown \atop H_2N\diagup}C=O$$



Fot. 5. Synteza Wöhlera przeczyła teorii witalistycznej.

Cyjanian amonu i mocznik mają taki sam skład pierwiastkowy, ale różnią się budową cząsteczki oraz właściwościami.

Synteza Wöhlera zachęciła chemików do prac nad otrzymywaniem związków organicznych ze związków nieorganicznych w wyniku reakcji chemicznych, a nie przez wyodrębnianie ich z organizmów. Wkrótce sukcesem zakończyły się syntezy kolejnych związków organicznych, np.:

- kwasu etanowego – uzyskał go niemiecki chemik **Hermann Kolbe** w 1845 r.,
- tristearynianu glicerolu (tłuszczu) – otrzymał go francuski chemik **Marcellin Pierre Berthelot** [czyt. marselą pier bertolu] w 1854 r.,
- sacharydów – zsyntetyzował je rosyjski chemik **Aleksandr Butlerow** w 1861 r.

Właściwości związków organicznych

Związki organiczne:

- najczęściej mają budowę niejonową,
- w stanie stałym tworzą niskotopliwe kryształy cząsteczkowe,
- są nieodporne na działanie wysokiej temperatury.

Tylko nieliczne związki organiczne wytrzymują ogrzanie do temperatury 400°C. Z kolei w temperaturze powyżej 500°C większość z nich zwęgla się i rozkłada. Lekkie ogrzanie związków organicznych przyspiesza przebieg reakcji chemicznych.

Podział chemii na nieorganiczną i organiczną obecnie ma już tylko znaczenie historyczne. Został jednak zachowany ze względów praktycznych. Współcześnie **chemią organiczną** nazywa się **chemię związków węgla**.

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Zaproponuj, w jaki sposób można oczyścić tlenek węgla(II) z domieszki tlenku węgla(IV).

2. Napisz w formie cząsteczkowej równania reakcji chemicznych (1–5) **przedstawionych na schemacie.**

$$C \xrightarrow{1} CO \xrightarrow{2} CO_2 \xrightarrow{3} NaHCO_3 \xrightarrow{4} Na_2CO_3 \xrightarrow{5} CO_2$$

3. Węglan sodu można otrzymać m.in. z wodorowęglanu sodu. **Napisz odpowiednie równanie reakcji chemicznej.**

4. Podczas przepuszczania tlenku węgla(IV) przez wodę wapienną najpierw następuje jej zmętnienie, a następnie, przy dalszym przepuszczaniu CO_2, osad znika. **Wyjaśnij te zjawiska, zapisując odpowiednie równania reakcji chemicznych, stosując zapisy cząsteczkowy i jonowy.**

5. W reakcji pary wodnej z 1 t rozżarzonego koksu zawierającego 90% węgla otrzymano 1600 m^3 wodoru (odmierzonego w warunkach normalnych). **Oblicz wydajność procentową tej reakcji chemicznej.**

6. Synteza mocznika przebiega zgodnie z równaniem:

$$2\ NH_3 + CO_2 \xrightarrow{p,\ T} (NH_2)_2CO + H_2O$$

W reakcji chemicznej użyto 35 dm^3 amoniaku (odmierzonego w warunkach normalnych) i otrzymano 42,5 g mocznika zawierającego 8,8% zanieczyszczeń. **Oblicz wydajność tej reakcji chemicznej.** Wynik podaj z dokładnością do jednego miejsca po przecinku.

2. Wykrywanie pierwiastków chemicznych w związkach organicznych



Fot. 6. Hemoglobina, dzięki obecności Fe^{2+}, ma zdolność wiązania tlenu i transportowania go do tkanek organizmu.

Związki organiczne, oprócz węgla i wodoru, mogą zawierać także inne pierwiastki chemiczne, np.: tlen, azot, siarkę czy fosfor.

Przykładami związków organicznych, w których występują metale, są:

- hemoglobina zawierająca jon żelaza(II) (fot. 6.),
- chlorofil z jonem magnezu,
- witamina B_{12}, której składnikiem jest kobalt.

Aby poznać budowę związków organicznych, wykonuje się ich:

- **analizę jakościową**, która ustala, jakie pierwiastki chemiczne tworzą dany związek chemiczny,
- **analizę ilościową**, która polega na wyznaczaniu ilościowego stosunku (składu) pierwiastków chemicznych w cząsteczce.

Pierwiastki chemiczne, które najczęściej są składnikami cząsteczek związków organicznych:



Wzory empiryczne (elementarne) i rzeczywiste związków chemicznych

Na podstawie analiz ustala się **najprostszy (elementarny) wzór empiryczny** związku chemicznego. **Rzeczywisty wzór cząsteczki związku chemicznego może być taki sam**, jak ustalony wzór empiryczny, **albo stanowić jego wielokrotność**.

Przykład 1.

Ustalanie wzoru empirycznego (elementarnego)

Analizy jakościowa i ilościowa wykazały, że związek organiczny zawiera 40% C, 6,7% H i 53,3% O.
Napisz wzór empiryczny tego związku chemicznego.

Plan rozwiązywania

1. Wypisz dane i szukane.
2. Oblicz wartości indeksów *x*, *y* i *z*.
3. Napisz odpowiedź.

1 **Dane:**
%C = 40%
%H = 6,7%
%O = 53,3%

Szukane:
wzór empiryczny $C_xH_yO_z$

Mol zawiera $6{,}02 \cdot 10^{23}$ obiektów elementarnych (atomów, cząsteczek, jonów, elektronów, innych cząstek lub grup cząstek danego rodzaju).

2 Aby określić wzór empiryczny, należy zapisać wzór tego związku chemicznego w postaci: $C_xH_yO_z$.
Należy przyjąć, że w 100 g związku chemicznego o wzorze $C_xH_yO_z$ znajduje się: 40 g C, 6,7 g H i 53,3 g O. Z wielkości tych oblicza się liczbę moli poszczególnych pierwiastków chemicznych, korzystając ze wzoru:

$$n = \frac{m}{M}$$

n – liczba moli, mol
m – masa próbki, g
M – masa molowa, $\frac{g}{mol}$

patrz s. 18

$n_C = \frac{m_C}{M_C}$ $\quad n_C = \frac{40\ \text{g}}{12\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$ $\quad n_C = 3{,}33$ mola atomów C

$n_H = \frac{m_H}{M_H}$ $\quad n_H = \frac{6{,}7\ \text{g}}{1\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$ $\quad n_H = 6{,}70$ mola atomów H

$n_O = \frac{m_O}{M_O}$ $\quad n_O = \frac{53{,}3\ \text{g}}{16\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}}$ $\quad n_O = 3{,}33$ mola atomów O

Stosunek molowy $n_C : n_H : n_O = 3{,}33 : 6{,}70 : 3{,}33$.

$n_C : n_H : n_O = 1 : 2 : 1$.

Zatem: $x = 1$, $y = 2$, $z = 1$.

3 Wzór empiryczny (elementarny) analizowanego związku chemicznego ma postać CH_2O.

Wzór empiryczny nie określa faktycznej liczby atomów w cząsteczce związku chemicznego. Informuje jedynie, ile atomów wodoru i tlenu przypada na jeden atom węgla w cząsteczce danego związku chemicznego.

Wzór rzeczywisty (sumaryczny) związku chemicznego określa faktyczną liczbę atomów w cząsteczce.

Plan rozwiązywania

1 Wypisz dane i szukane.

2 Oblicz wartość indeksu x.

3 Napisz odpowiedź.

Przykład 2.

Ustalanie wzoru rzeczywistego związku chemicznego o podanym wzorze empirycznym

Napisz wzór rzeczywisty związku chemicznego, którego wzór empirycznym ma postać CH_2O, a masa cząsteczkowa wynosi 30 u. Wzór rzeczywisty ma postać $(CH_2O)_x$.

1 **Dane:**
wzór empiryczny CH_2O
$M_{(CH_2O)_x} = 30$ u

Szukane:
wzór rzeczywisty $(CH_2O)_x$

2 Postać wzoru rzeczywistego wskazuje, że może on być wielokrotnością wzoru empirycznego, zatem:

$x = \frac{m_{(CH_2O)_x}}{m_{(CH_2O)}}$ $\quad x = \frac{30\ \text{u}}{30\ \text{u}}$

$x = 1$

Oznacza to, że wzór rzeczywisty cząsteczki tego związku chemicznego jest identyczny z jego wzorem empirycznym.

3 Wzór rzeczywisty związku chemicznego: CH_2O.

Przykład 3.

Ustalanie wzoru rzeczywistego związku chemicznego o podanym wzorze empirycznym

Napisz wzór rzeczywisty związku chemicznego, którego wzór empiryczny ma postać CH_2O, a masa cząsteczkowa wynosi 180 u. Wzór rzeczywisty ma postać $(CH_2O)_x$.

Plan rozwiązywania

1. Wypisz dane i szukane.
2. Oblicz wartość indeksu *x*.
3. Napisz odpowiedź.

1 **Dane:**
wzór empiryczny CH_2O
$M_{(CH_2O)_x} = 180$ u

Szukane:
wzór rzeczywisty $(CH_2O)_x$

2 Postać wzoru rzeczywistego wskazuje, że może on być wielokrotnością wzoru empirycznego, zatem:

$$x = \frac{m_{(CH_2O)_x}}{m_{(CH_2O)}} \qquad x = \frac{180\text{ u}}{30\text{ u}} \qquad x = 6$$

3 Wzór rzeczywisty związku chemicznego: $C_6H_{12}O_6$.

Przykład 4.

Ustalanie wzoru empirycznego (elementarnego) przy znanym stosunku molowym pierwiastków chemicznych

W związku chemicznym $C_xH_yO_z$ stosunek $x : y = 3 : 5$, a stosunek $y : z = 2 : 1$. **Napisz wzór empiryczny tego związku chemicznego.**

Plan rozwiązywania

1. Wypisz dane i szukane.
2. Oblicz wartości indeksów *x*, *y* i *z*.
3. Napisz odpowiedź.

1 **Dane:**
$x : y = 3 : 5$
$y : z = 2 : 1$

Szukane:
wzór empiryczny $C_xH_yO_z$

2 Należy obliczyć stosunek $y : z$ dla $y = 5$, żeby połączyć ze sobą wartości *x*, *y*, *z*:

$y = 5 \text{ — } z = ?$
$y = 2 \text{ — } z = 1$

$$z = \frac{1 \cdot 5}{2}$$

$z = 2{,}5$

Zatem $x : y : z = 3 : 5 : 2{,}5$.

Współczynniki muszą być najprostszymi liczbami całkowitymi, czyli: $x : y : z = 6 : 10 : 5$.

3 Wzór empiryczny związku chemicznego: $C_6H_{10}O_5$.

Analiza składu pierwiastkowego związków organicznych

Wykrywanie w związku organicznym pierwiastków chemicznych, takich jak **węgiel**, **wodór**, **tlen**, **siarka**, **azot** czy **fosfor**, jest proste i tego typu doświadczenia chemiczne przeprowadza się od dawna.

14
2 2,5 $_{6}C$ węgiel 12,011

1
1 2,1 $_{1}H$ wodór 1,008

16
2 3,5 $_{8}O$ tlen 15,999

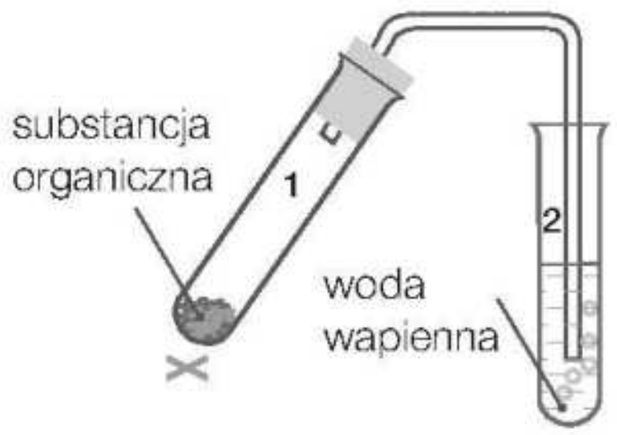
Doświadczenie 1. $Ca(OH)_2$

Wykrywanie obecności węgla, wodoru i tlenu w substancji organicznej

Odczynniki: mały kawałek chleba lub ziarna suchej kaszy, woda wapienna.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, korek z rurką odprowadzającą, palnik gazowy.

Instrukcja: W probówce 1. umieść próbkę wysuszonej substancji organicznej – mały kawałek chleba lub ziarna suchej kaszy. Probówkę zamknij korkiem z rurką odprowadzającą. Koniec rurki umieść w probówce 2. z wodą wapienną (schemat). Zawartość probówki 1. ogrzewaj w płomieniu palnika.





substancja organiczna ulega zwęgleniu

Fot. 7. Wykrywanie węgla, wodoru i tlenu w ziarnach kaszy.

Obserwacje: Podczas ogrzewania probówki 1. w probówce 2. pojawiają się pęcherzyki gazu. Po dłuższym ogrzewaniu próbka organiczna ulega zwęgleniu, a na ściankach probówki 1. powstają krople bezbarwnej cieczy (fot. 7.). Woda wapienna mętnieje.

Wniosek: Zwęglenie próbki świadczy o obecności węgla w badanej substancji. Ciecz to skroplona para wodna, której obecność jest wynikiem reakcji chemicznej. Zachodzi ona między atomami wodoru, znajdującymi się w substancji organicznej, a cząsteczkami tlenu zawartymi w powietrzu.

Gaz, który powstał w wyniku ogrzewania substancji organicznej, to tlenek węgla(IV). Obecność tlenu i jego masę wyznacza się w sposób pośredni.

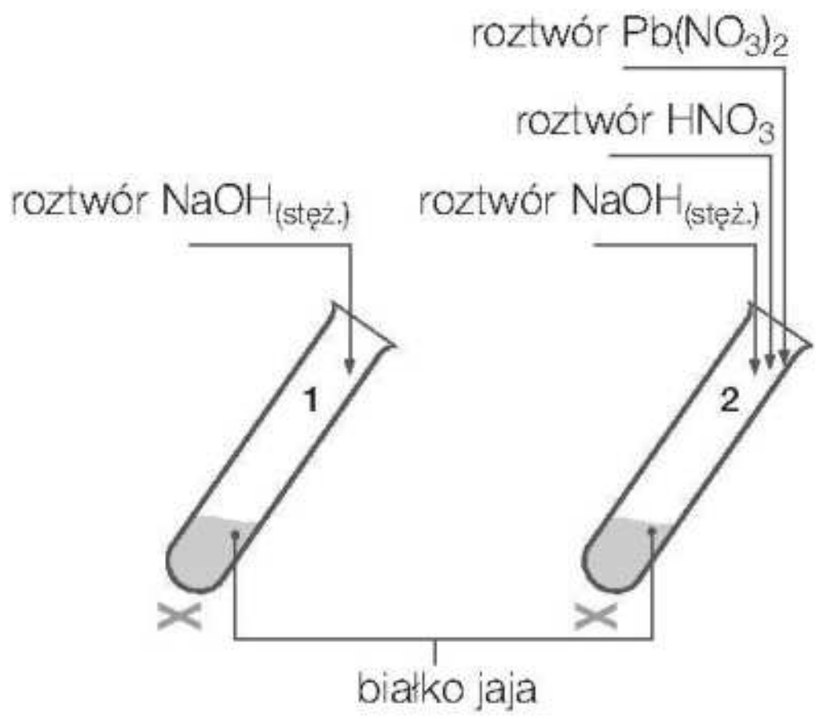
Znając masę próbki związku organicznego, najpierw wyznacza się zawartość węgla i wodoru na podstawie mas powstałych CO_2 i H_2O. Różnica między masą próbki a masą węgla i wodoru w próbce to masa tlenu.

Doświadczenie 2. NaOH, HNO_3 $Pb(NO_3)_2$

Wykrywanie obecności siarki i azotu w substancji organicznej

Zachowaj szczególną ostrożność podczas nalewania roztworu azotanu(V) ołowiu(II) i roztworu kwasu azotowego(V).

Odczynniki: białko jaja, stężony roztwór wodorotlenku sodu, roztwór kwasu azotowego(V), roztwór azotanu(V) ołowiu(II).
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, palnik gazowy.
Instrukcja: W dwóch probówkach umieść po ok. 3 cm^3 białka jaja. Do probówki 1. dodaj 2 cm^3 stężonego roztworu wodorotlenku sodu i całość ogrzewaj. Ostrożnie sprawdź zapach wydzielającego się gazu. Do probówki 2. dodaj 1 cm^3 stężonego roztworu wodorotlenku sodu i ogrzewaj. Następnie dodaj nieco roztworu kwasu azotowego(V) w celu zobojętnienia mieszaniny poreakcyjnej. Dodaj ok. 1 cm^3 roztworu azotanu(V) ołowiu(II) i ogrzewaj.





Obserwacje: Z probówki 1. wyczuwalny jest charakterystyczny ostry zapach. W probówce 2. strącił się czarny osad.
Wniosek: Gazem, który wydzielił się w probówce 1., jest amoniak NH_3. Natomiast osad w probówce 2. to siarczek ołowiu(II) PbS. W skład białka wchodzą zatem azot i siarka.

Poza tymi pierwiastkami chemicznymi w białku znajdują się głównie węgiel, wodór i tlen.

Odkrycia, które zmieniły świat – węgiel drzewny

Węgiel drzewny, nazywany też czernią węglową, to substancja, która powstaje podczas powolnego wypalania drewna bez dostępu powietrza. Obecnie jest wykorzystywany przede wszystkim jako paliwo, np. w grillach (fot. 8.).
Węgiel drzewny spala się w temperaturze znacznie wyższej niż drewno (ok. 1000°C), dlatego używano go do wytapiania żelaza w prymitywnych piecach hutniczych (zwanych dymarkami) i wytwarzania stali, czyli stopu żelaza z węglem. Tak rozpoczęła się **epoka żelaza**. W hutnictwie węgiel drzewny wykorzystywano do 1709 r. – wtedy zastąpił go koks, który ma dwukrotnie wyższą temperaturę spalania.



Fot. 8. Do wytworzenia 1 kg węgla drzewnego potrzeba ok. 5 kg drewna.

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. W wyniku całkowitego spalenia 6,51 g związku chemicznego węgla z wodorem otrzymano 20,47 g tlenku węgla(IV) i 8,36 g wody.
   a) **Oblicz skład procentowy** (procent masowy) **tego związku chemicznego**.
   b) **Ustal jego wzór empiryczny**.
2. Analizy jakościowa i ilościowa wykazały, że pewien związek organiczny zawiera 92,3% (procent masowy) węgla i 7,7% (procent masowy) wodoru. Jego masa cząsteczkowa wynosi 78 u. **Ustal wzory empiryczny oraz rzeczywisty tego związku chemicznego.**
3. W związku organicznym $C_xH_yO_z$ stosunek współczynników $x : y = 1 : 3$, zaś stosunek $y : z = 6 : 1$. Masa cząsteczkowa tego związku chemicznego wynosi 46 u. **Ustal wzory empiryczny oraz rzeczywisty tego związku chemicznego.**
4. **Napisz wzór sumaryczny związku organicznego, jeśli jego wzór empiryczny to CH, masa cząsteczkowa wynosi 104 u, a wzór rzeczywisty ma postać $(CH)_n$.**
5. **Ustal wzór rzeczywisty związku organicznego, wiedząc, że stosunek masowy pierwiastków chemicznych w tym związku chemicznym wynosi: C : H : O = 6 : 1 : 8, a masa molowa jest równa 180 $\frac{g}{mol}$.**
6. **Podaj obserwacje i sformułuj wniosek do doświadczenia *Wykrywanie pierwiastków chemicznych w mące* przedstawionego na fotografii obok.**
7. Produktami całkowitego spalenia propanu (C_3H_8) są tlenek węgla(IV) i para wodna. **Oblicz skład procentowy** (procent masowy) **mieszaniny gazów otrzymanych w wyniku całkowitego spalenia 5 moli propanu.**



3. Metody rozdzielania mieszanin i oczyszczania związków chemicznych

W środowisku przyrodniczym związki organiczne występują najczęściej w postaci mieszanin. W organizmach są składnikami takich mieszanin jak płyny ustrojowe, mocz czy krew. Analiza ich składu umożliwia rozpoznanie wielu schorzeń.

Do wydzielenia składników płynów ustrojowych wykorzystuje się np. sedymentację, czyli opadanie cząstek pod wpływem siły grawitacji lub sił bezwładności. Proces ten można przyspieszyć dzięki wirowaniu (fot. 9.). W wirówkach sedymentacyjnych cząstki substancji stałej rozproszonej w cieczy szybciej opadają na dno probówki.



Fot. 9. Krwinki czerwone i białe są zbyt lekkie, by samorzutnie opadać, dlatego do przyspieszenia sedymentacji stosuje się wirowanie.

Identyfikacja rozdzielonych substancji jest możliwa tylko wtedy, gdy mieszanina jest pozbawiona zanieczyszczeń. Nawet ich niewielkie ilości mogą znacząco wpływać na właściwości substancji i uniemożliwić identyfikację składników.

W procesie rozdzielania i oczyszczania mieszanin wykorzystuje się różnice we właściwościach związków chemicznych, które są ich składnikami, np.: różnice w ich rozpuszczalności, temperaturze wrzenia, prężności par czy odmienne oddziaływania z danymi substancjami.

Najprostsze metody rozdzielania mieszanin niejednorodnych na składniki to dekantacja i sączenie. W przypadku rozdzielania mieszanin jednorodnych stosuje się m.in. krystalizację, ekstrakcję, chromatografię, destylację, sublimację i resublimację.

Krystalizacja

Niektóre substancje można oczyścić dzięki krystalizacji. Podczas tego procesu z roztworu nasyconego wydzielają się kryształy substancji w nim rozpuszczonej.

Krystalizacja – wydzielanie się z roztworu substancji w postaci kryształów na skutek oziębienia lub odparowania rozpuszczalnika.

Zanieczyszczoną substancję rozpuszcza się w rozpuszczalniku o temperaturze bliskiej jego temperatury wrzenia, aby otrzymać roztwór nasycony. Następnie gorący roztwór odsącza się od nierozpuszczalnych zanieczyszczeń. **Przesącz** pozostawia się do ostygnięcia.

Powolne oziębianie przesączu sprzyja tworzeniu się dużych kryształów, które suszy się po odsączeniu. W taki sposób oczyszcza się związki organiczne o stałym stanie skupienia, np. kwas benzoesowy (fot. 10.).



Fot. 10. Kryształy kwasu benzoesowego.

Krok po kroku

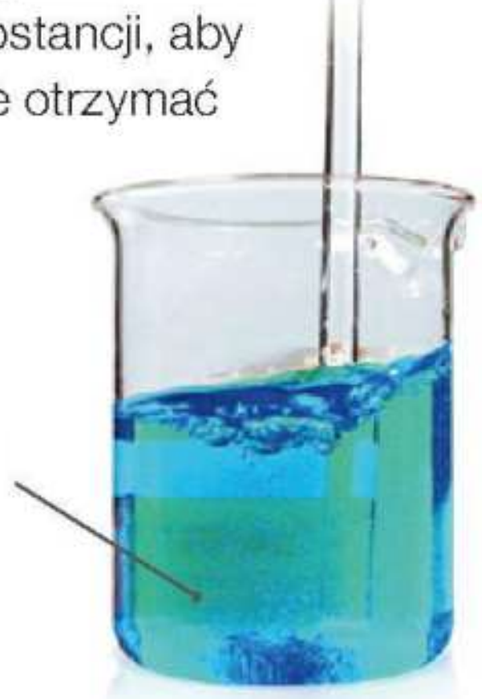
Krystalizacja

Produkty syntez organicznych często oczyszcza się z produktów ubocznych (zanieczyszczeń) metodą krystalizacji. Kryształy oczyszczonej substancji suszy się na powietrzu, w suszarce lub w zamkniętym naczyniu, tzw. eksykatorze.

1 Zanieczyszczoną substancję stałą **rozpuszcza się** w rozpuszczalniku.



2 Należy rozpuścić taką ilość zanieczyszczonej substancji, aby w danej temperaturze otrzymać **roztwór nasycony**.



3 Gorący roztwór **przesącza się przez bibułę filtracyjną**.



4 Oczyszczony roztwór, tzw. przesącz, pozostawia się do **ostygnięcia** i **wykrystalizowania** rozpuszczonej w nim substancji.



W jaki sposób dobrać rozpuszczalnik?

Dobór rozpuszczalnika zależy od budowy i właściwości oczyszczanej substancji. **Substancje o budowie polarnej** łatwiej rozpuszczają się w rozpuszczalnikach polarnych, takich jak: woda, alkohole, ketony, estry i kwasy organiczne. **Substancje o budowie niepolarnej** wykazują większą rozpuszczalność w rozpuszczalnikach niepolarnych, takich jak: benzyna, tetrachlorometan i eter.

Pożądane właściwości odpowiednio dobranego rozpuszczalnika

- wraz ze wzrostem temperatury rozpuszczalnika znacznie zwiększa się rozpuszczalność oczyszczanej substancji
- nie rozpuszczają się w nim zanieczyszczenia
- niepalny i nietoksyczny, o niskiej temperaturze wrzenia
- nie reaguje z oczyszczaną substancją

Ekstrakcja

W tej metodzie oczyszczania substancji wykorzystuje się różną rozpuszczalność związku chemicznego w dwóch niemieszających się cieczach.

Rozpuszczalniki stosowane do ekstrakcji dobiera się doświadczalnie. Korzystniejsze jest kilkukrotne powtórzenie ekstrakcji z mniejszymi, świeżymi porcjami rozpuszczalników niż jednokrotne zastosowanie dużej ich ilości.

Ekstrakcja – wyodrębnianie składnika lub składników mieszaniny z wykorzystaniem różnic ich rozpuszczalności w dwóch rozpuszczalnikach, które nie mieszają się ze sobą.

Krok po kroku

Ekstrakcja ciecz–ciecz

Ekstrakcja składnika z mieszaniny ciekłej polega na przejściu substancji rozpuszczonej w jednej cieczy, np. w wodzie, do drugiej cieczy, np. rozpuszczalnika organicznego. Proces ten przeprowadza się w rozdzielaczu. Po zakończonej ekstrakcji wyodrębnioną substancję wydziela się z ekstraktu przez odparowanie rozpuszczalnika lub krystalizację.

Jak rozdzielić składniki mieszaniny za pomocą ekstrakcji?

1 Do rozdzielacza należy **wlać mieszaninę**. Następnie trzeba **dodać rozpuszczalnik**, w którym tylko jeden ze składników mieszaniny dobrze się rozpuszcza.



2 Ciecze należy **wymieszać**, energicznie wstrząsając, a następnie pozostawić do rozdzielenia warstw.



! Wstrząsanie należy powtórzyć co najmniej trzy razy.

3 Rozdzielone warstwy należy **zlać** do osobnych naczyń, a substancję wyodrębnioną wydzielić przez odparowanie rozpuszczalnika lub krystalizację.



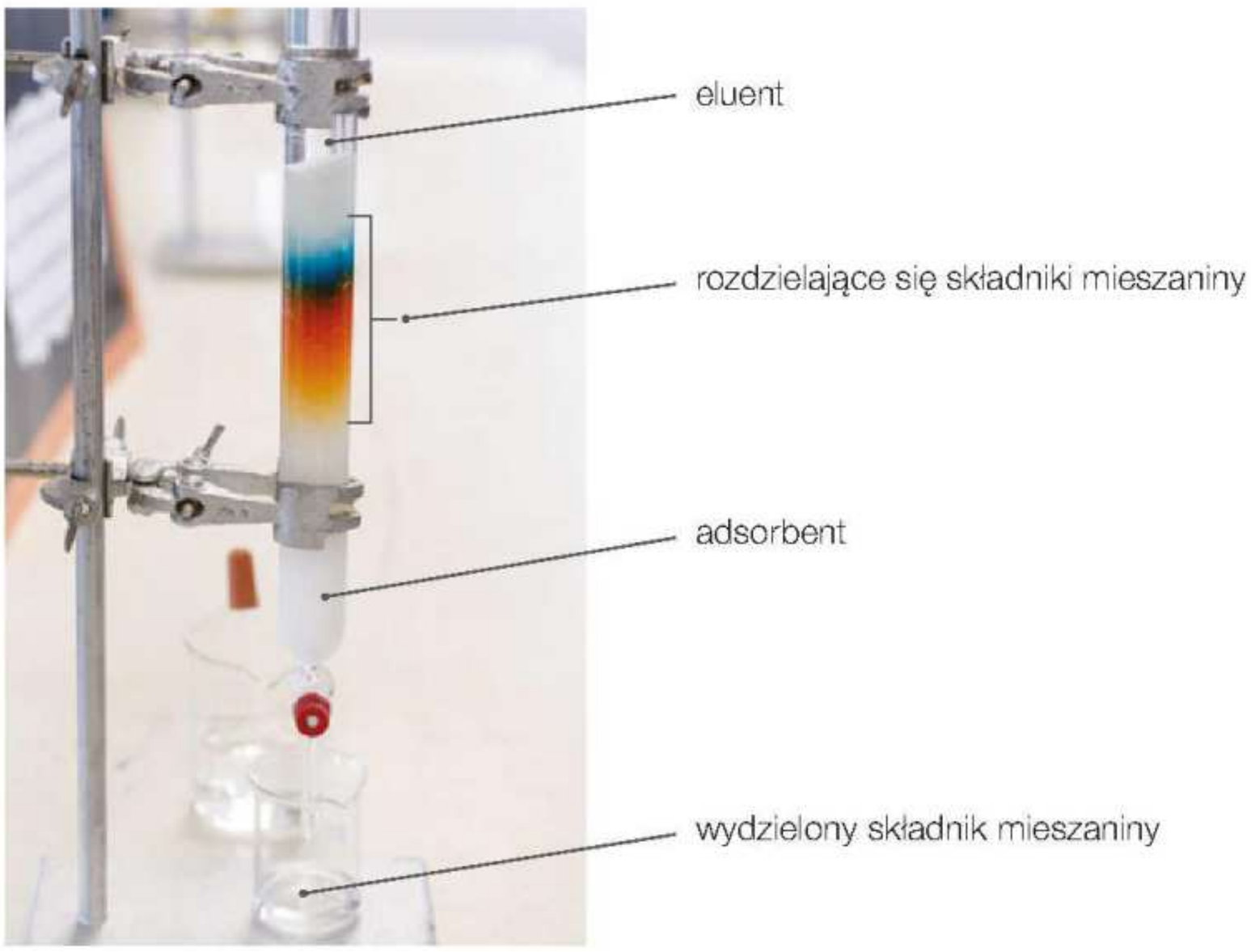
Chromatografia

Chromatografia – rozdzielenie mieszaniny z wykorzystaniem różnic w szybkości przemieszczania się poszczególnych składników mieszaniny podczas jej przepływu przez fazę nieruchomą.

Chromatografia jest to jedna z najbardziej rozpowszechnionych metod rozdzielania mieszanin związków organicznych i ich analizy.

Polega ona na podziale substancji zawartych w rozdzielanej mieszaninie między dwie fazy: stacjonarną (nieruchomą) i ruchomą – eluent. Fazę stacjonarną może stanowić:

- bibuła filtracyjna (chromatografia bibułowa),
- cienka warstwa adsorbentu naniesiona na płytkę szklaną lub plastikową (chromatografia cienkowarstwowa),
- stałe lub ciekłe wypełnienie kolumny (chromatografia kolumnowa) (fot. 11.).



Fot. 11. W chromatografii kolumnowej składniki mieszanin przemieszczają się ku dołowi.

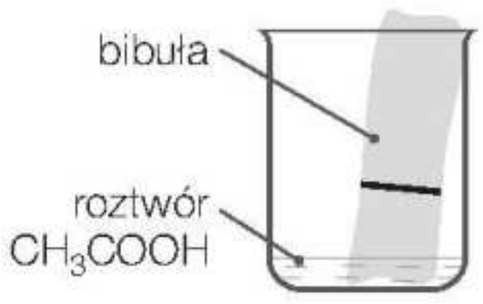
Doświadczenie 3.

Rozdzielanie składników tuszu metodą chromatografii bibułowej

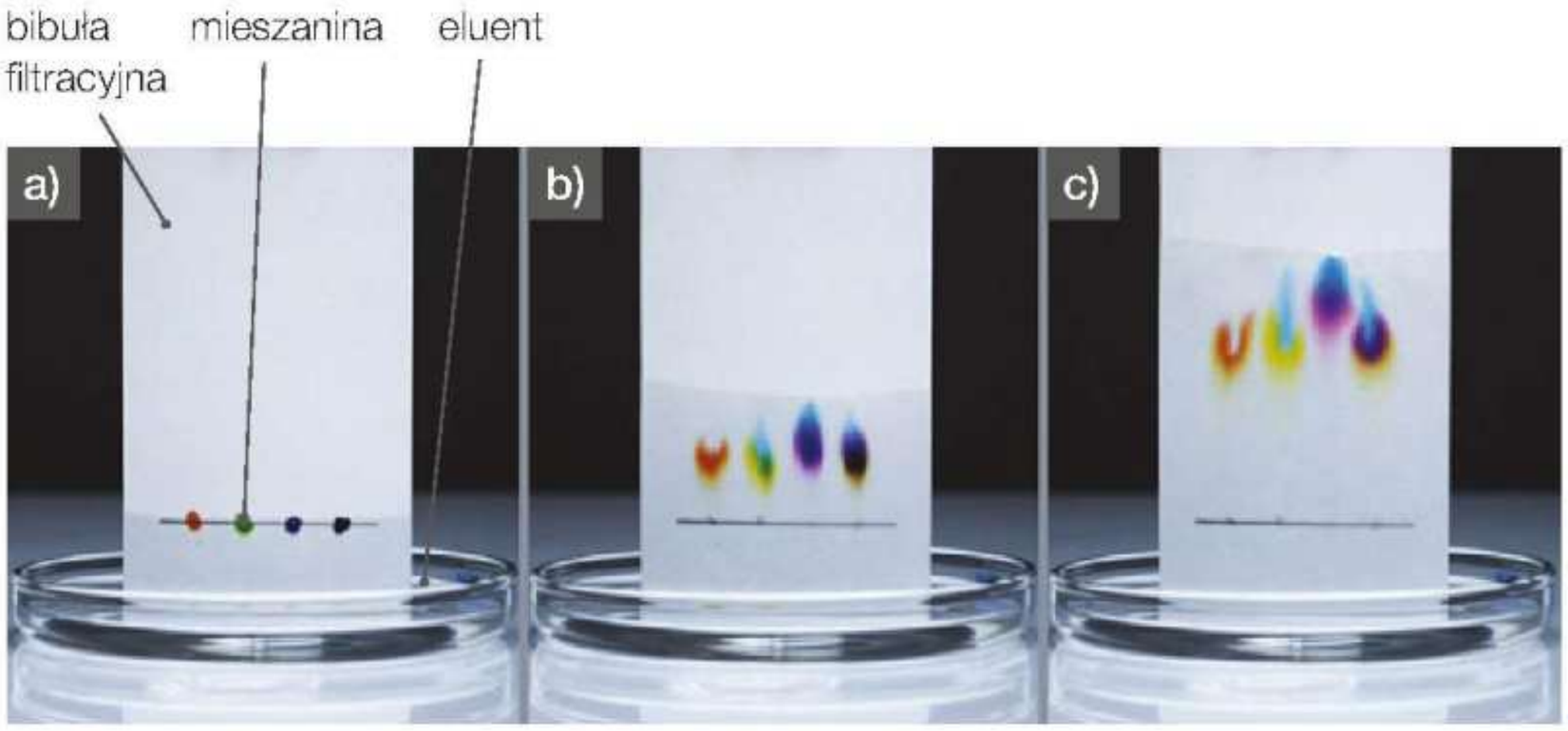
Odczynniki: ocet, tusz z flamastra.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: bibuła filtracyjna, zlewka.

Instrukcja: Do zlewki nalej octu na wysokość ok. 1 cm. Na pasku bibuły filtracyjnej narysuj grubą kreskę czarnym flamastrem (można użyć innego ciemnego flamastra). Bibułę włóż do zlewki (schemat). Zanurz ją tak, aby narysowana kreska znajdowała się na wysokości ok. 1 cm ponad poziomem octu w zlewce. Co kilka minut sprawdzaj, czy zachodzą zmiany.



Obserwacje: Powstała różnobarwna smuga (fot. 12.).
Wniosek: Tusz jest mieszaniną substancji o różnych barwach, które z różną szybkością przemieszczają się po bibule.



Fot. 12. Mieszaninę substancji rozdzielanych nanosi się na bibułę filtracyjną, którą następnie umieszcza się w zlewce z eluentem – a). Eluent rozpuszcza poszczególne składniki mieszaniny, a wędrując wzdłuż fazy stacjonarnej, powoduje ich przesuwanie się – b). Poszczególne składniki mieszaniny zatrzymują się na różnej wysokości bibuły filtracyjnej – c).

Skuteczność rozdzielania metodą chromatografii zależy od odpowiedniego doboru fazy stacjonarnej i fazy ruchomej. Wynik rozdzielenia, tzw. **chromatogram**, uzyskuje się dzięki zastosowaniu specjalnych detektorów w przyrządach nazywanych **chromatografami**.

Chromatografia umożliwia wykrywanie nawet śladowych ilości zanieczyszczeń w mieszaninie. Połączenie chromatografii i **spektrometrii mas**, określającej masę rozdzielanych związków chemicznych, umożliwia szybką i precyzyjną identyfikację składników nawet bardzo złożonych mieszanin związków organicznych, np. w analizach medycznych czy tzw. kontrolach antydopingowych u sportowców.

Chromatogram – wynik rozdzielenia mieszaniny. Może mieć on postać plamek na bibule filtracyjnej lub wykresów.

Destylacja

Metoda ta polega na przemianie cieczy w stan pary, skropleniu par w chłodnicy i zebraniu powstałego produktu – **destylatu** – w odbieralniku. Każdy składnik ciekłej mieszaniny wrze w innej temperaturze. To umożliwia zebranie w odbieralniku frakcji o różnych temperaturach wrzenia, a więc o różnym składzie chemicznym. Pozostałość po destylacji jest nazywana **cieczą wyczerpaną**.

Destylacja jest popularną metodą wyodrębniania związków organicznych z mieszanin poreakcyjnych, oczyszczania wody (woda destylowana) i odzyskiwania (recyklingu) rozpuszczalników organicznych. Tą metodą ze skroplonego powietrza otrzymuje się ciekły tlen i azot. Destylację stosuje się także w przemyśle chemicznym, paliwowym (przeróbka ropy naftowej), fermentacyjnym (produkcja napojów alkoholowych) i farmaceutycznym.

Destylacja – rozdzielanie składników jednorodnej mieszaniny ciekłej z wykorzystaniem różnic w temperaturze wrzenia jej składników.

Krok po kroku

Destylacja

Destylacja to metoda rozdzielania, która wykorzystuje różnice w temperaturach wrzenia składników ciekłej mieszaniny jednorodnej. Ciecz otrzymana w wyniku destylacji to **destylat**.

3 Temperatura wrzenia drugiego składnika mieszaniny

Drugi odparuje składnik o wyższej temperaturze wrzenia.
Pary po skropleniu zbiera się do drugiej kolby.

2 Temperatura wrzenia pierwszego składnika mieszaniny

Pierwszy odparowuje składnik o **najniższej temperaturze wrzenia**.
Jego pary unoszą się do chłodnicy i tam skraplają. Skroplony w chłodnicy destylat spływa do odbieralnika.

1 Temperatura 25°C

W kolbie okrągłodennej umieszcza się **ciekłą mieszaninę jednorodną**.
Ze względów bezpieczeństwa dodaje się kamyczki wrzenne, które minimalizują ryzyko gwałtownego, niekontrolowanego rozpoczęcia procesu wrzenia.

! Destylację trzeba zakończyć przed odparowaniem całej cieczy z kolby okrągłodennej. Nie można dopuścić do całkowitego wysuszenia kolby, ponieważ szkło może popękać.

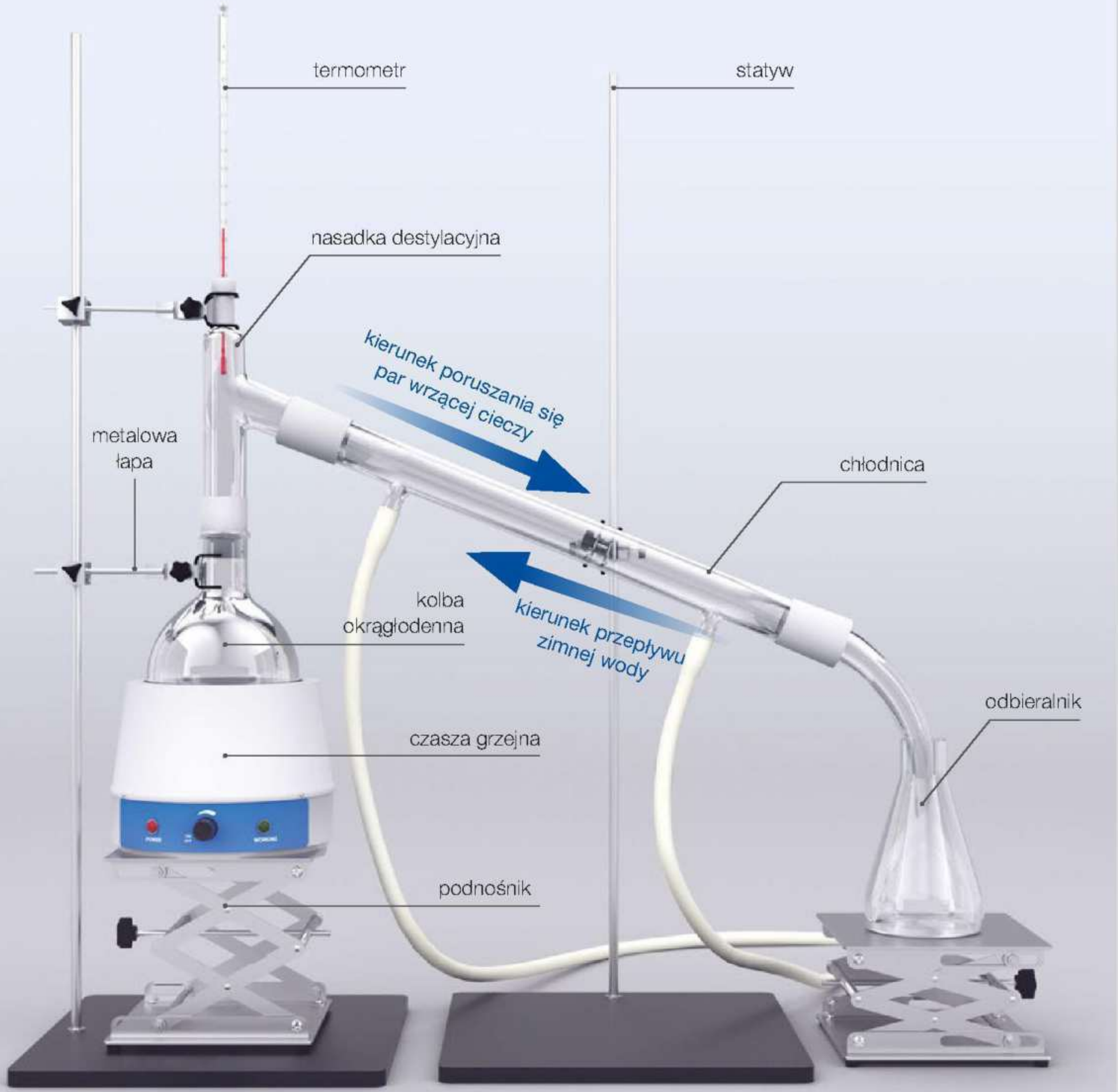


porowata powierzchnia kamyczków wrzennych ułatwia powstawanie pęcherzyków gazu, a tym samym zapobiega przegrzaniu cieczy



Jaki sprzęt jest potrzebny do przeprowadzenia destylacji?

Chłodnica jest najważniejszym elementem zestawu do destylacji. Pary wrzącej cieczy trafiają do jej chłodnego wnętrza i skraplają się. Chłodzenie zapewnia zimna woda płynąca w kierunku przeciwnym do poruszających się par gazu. Gdyby kierunek, w którym płynie woda, był zgodny z kierunkiem par, ogrzewałyby one wodę i skraplanie zachodziłoby mniej efektywnie.



zestaw do destylacji

Sublimacja i resublimacja

Sublimacja – przemiana substancji stałej bezpośrednio w gaz.

Do oczyszczania i rozdzielania mieszanin substancji o stałym stanie skupienia stosuje się **sublimację**. Jest to **proces przechodzenia substancji stałej w stan gazowy z pominięciem stanu ciekłego**. Może zachodzić w całym zakresie temperatury i ciśnienia, w którym dany związek chemiczny współistnieje w stanie stałym i gazowym.

Krok po kroku

Sublimacja i resublimacja

Do oczyszczania i rozdzielania mieszanin stosuje się m.in. **sublimację**. Podczas tego procesu substancja stała zmienia stan skupienia na gazowy z pominięciem stanu ciekłego. Zjawiskiem odwrotnym do sublimacji jest **resublimacja**.



3 Na chłodnej powierzchni kolby zachodzi **proces resublimacji**, czyli gazowy naftalen zmienia się w **substancję stałą**.

2 Pod wpływem wysokiej temperatury w zlewce zachodzi **proces sublimacji**. Naftalen o stałym stanie skupienia zmienia się w gaz. Pozostałe składniki mieszaniny zostają na dnie zlewki.

1 Mieszaninę, której składnikiem jest **substancja stała** łatwo ulegająca sublimacji, np. naftalen, ogrzewa się w naczyniu zamkniętym kolbą okrągłodenną wypełnioną zimną wodą.

Sublimację stosuje się np. do wyodrębniania kofeiny z herbaty czy kawy. Sublimacja stanowi także podstawę procesu liofilizacji, czyli suszenia zamrożonych produktów żywnościowych. Łatwo sublimują m.in.: suchy lód (zestalony CO_2), kamfora, chlorek rtęci(II), chlorek amonu, jod, naftalen oraz kwas benzoesowy.

Wybrane substancje, które **łatwo sublimują**: $CO_{2(s)}$, $HgCl_2$, NH_4Cl, I_2, $H_2O_{(s)}$.

Zjawiskiem odwrotnym do sublimacji jest **resublimacja**. Przykładem resublimacji jest powstawanie żółtego proszku siarki. Tworzy się on po gwałtownym ostudzeniu ciemnobrunatnych par, które powstają nad stopioną siarką.

Zadania

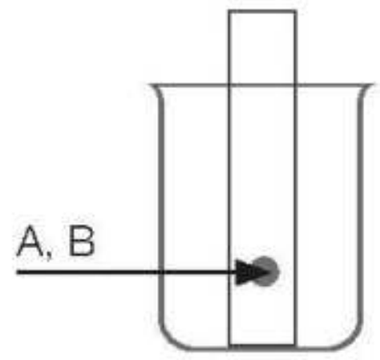
ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. **Zaproponuj sposób rozdzielenia na składniki mieszaniny jednorodnej acetonu, etanolu i dekanu.**

2. **Zaprojektuj doświadczenie umożliwiające oczyszczenie próbki fenolu z zanieczyszczeń metodą krystalizacji. Skorzystaj z różnych źródeł informacji.**

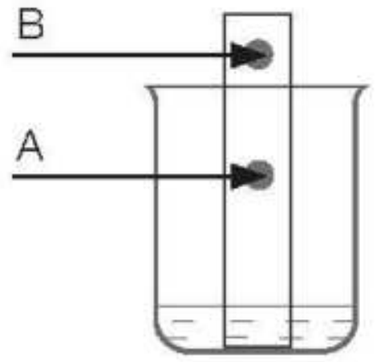
3. Spalono 1 dm^3 biogazu, odmierzonego w temperaturze T i pod ciśnieniem p, o składzie:
CH_4 – 65%,
CO_2 – 25%,
NH_3 – 5%,
H_2S – 5%.
Oblicz objętość, jaką w tych warunkach temperatury i ciśnienia zajmuje CO_2.

4. Chromatografia jest metodą analityczną, za pomocą której można rozdzielić mieszaninę na składniki. Wykorzystuje ona szybkość migracji substancji wchodzących w skład mieszaniny, które są dzielone pomiędzy dwie fazy: nieruchomą (np. bibuła) i ruchomą (np. alkohol, woda). Szybciej poruszają się te składniki, które słabo wiążą się z fazą nieruchomą. Im bardziej polarna jest faza ruchoma, tym łatwiej wymywany jest składnik polarny i tym szybciej się on porusza. Przeprowadzono trójetapowe doświadczenie.

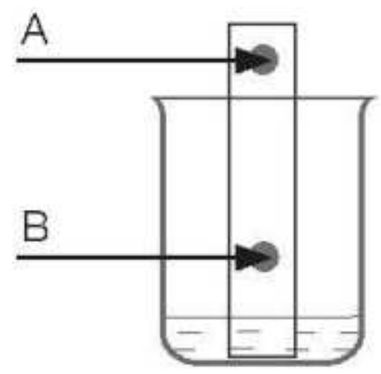


Etap I
Przygotowano dwa paski bibuły. W dolnej części każdego paska nakropiono plamkę złożoną z dwóch substancji: A i B.

Etap II
Dolny koniec pierwszego paska zanurzono w niewielkiej ilości etanolu tak, by plamka była nad powierzchnią cieczy. Po pewnym czasie po wyjęciu paska zauważono dwie plamki odpowiadające składnikom A i B.



Etap III
Dolny koniec drugiego paska zanurzono w niewielkiej ilości heksanu tak, by plamka była nad powierzchnią cieczy. Po pewnym czasie od wyjęcia paska zauważono dwie plamki odpowiadające składnikom A i B.
Na podstawie wyników doświadczenia postawiono hipotezę: „Substancja B wykazuje większą polarność niż substancja A". **Oceń prawdziwość hipotezy oraz napisz uzasadnienie.**



4. Wzory i rodzaje reakcji związków organicznych



Fot. 13. Mleko modyfikowane ma skład zbliżony do składu mleka matki, ale nie zawiera wszystkich występujących w nim składników.

Do XIX w. uważano, że związki organiczne występują tylko w organizmach żywych i jedynie przez nie są wytwarzane. Obecnie związki organiczne otrzymuje się głównie w laboratoriach (fot. 13.). Aby otrzymać nowy związek organiczny, niezbędna jest m.in. znajomość budowy związków organicznych oraz przebiegu reakcji chemicznych, w których biorą one udział.

Teoria strukturalna budowy związków organicznych

Istnienie ogromnej liczby różnorodnych związków organicznych wyjaśnia **teoria strukturalna budowy związków organicznych**.

Twórcami tej teorii byli m.in. **Aleksandr Butlerow** oraz **Friedrich August Kekulé** [czyt. fridriś august kekule]. Najważniejsze **założenia** teorii strukturalnej:

- **atomy węgla** w związkach organicznych są **zawsze czterowartościowe,**
- **atomy węgla łączą się ze sobą bezpośrednio**, dzięki czemu tworzą cząsteczki zbudowane z łańcuchów lub pierścieni węglowych,
- atomy węgla mogą łączyć się ze sobą **wiązaniami pojedynczymi, podwójnymi** i **potrójnymi,**
- związki organiczne, oprócz węgla, zawierają wodór i mogą zawierać inne pierwiastki chemiczne, takie jak **tlen**, **siarka**, **azot**, **fosfor** i **fluorowce**, które tworzą różne połączenia, tzw. **grupy funkcyjne**, np.: –OH, $–NH_2$, –COOH.

Teoria strukturalna – wyjaśnia zasady budowy cząsteczek związków organicznych.

W związkach organicznych mogą znajdować się też metale, np.: żelazo, magnez, kobalt. Znane są miliony związków organicznych, a ich liczba stale rośnie.

Wzory sumaryczne

W chemii organicznej rzadko stosuje się **wzory sumaryczne** związków chemicznych, np.:

C_5H_{12}
pentan

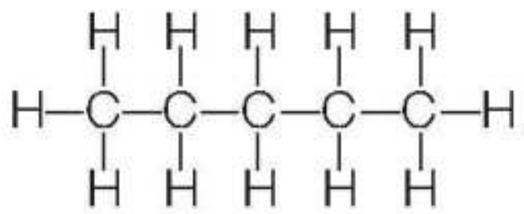
Wzór sumaryczny – uwzględnia tylko rodzaj i liczbę atomów tworzących cząsteczkę związku chemicznego.

Dzieje się tak, ponieważ jeden wzór sumaryczny może czasami odpowiadać kilku różnym związkom organicznym, np.:

- $\mathbf{C_2H_6O}$ to wzór sumaryczny etanolu (CH_3CH_2OH) lub eteru dimetylowego (CH_3OCH_3),
- $\mathbf{C_2H_4O_2}$ to wzór sumaryczny kwasu etanowego (CH_3COOH) lub estru – metanianu metylu ($HCOOCH_3$).

Wzory strukturalne

W celu jednoznacznego określenia budowy cząsteczek związków organicznych stosuje się wzory, które uwzględniają sposób połączenia poszczególnych atomów (patrz tabela 4., s. 34). Najdokładniejszy z nich jest **wzór strukturalny**. Są w nim uwzględnione wszystkie atomy pierwiastków chemicznych oraz wiązania występujące w cząsteczce danego związku chemicznego, np.:

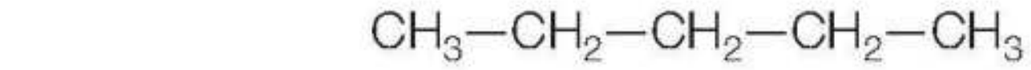


pentan

Wzór strukturalny – uwzględnia rodzaj i liczbę atomów oraz sposób ich połączenia w cząsteczce.

Wzory półstrukturalne

We **wzorze półstrukturalnym** liczbę atomów wodoru przyłączonych do atomu węgla sumuje się i zapisuje w indeksie dolnym. Wzór ten zawiera najistotniejsze informacje na temat cząsteczki związku chemicznego, m.in. rodzaj i liczbę wiązań chemicznych występujących między atomami węgla. Jest on najczęściej stosowanym wzorem w zapisie równań reakcji chemicznych, np.:

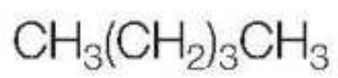


pentan

Wzór półstrukturalny – nie uwzględnia wiązań węgiel-wodór.

Wzory grupowe

We **wzorze grupowym** uwzględnia się rodzaj i liczbę atomów w cząsteczce węglowodoru. Pomija natomiast wszystkie wiązania chemiczne występujące w cząsteczce, **przedstawiając tylko kolejne grupy atomów**. Powtarzające się grupy atomów zapisuje się w nawiasie, uwzględniając ich liczbę, np.:



pentan

Wzór grupowy – pomija wiązania chemiczne w cząsteczce.

Wzory szkieletowe

Charakterystyczne dla chemii organicznej są **wzory szkieletowe**, nazywane również **wzorami kreskowymi**, w których zaznacza się tylko szkielet cząsteczki, np.:



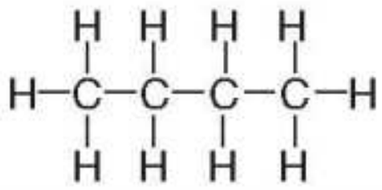
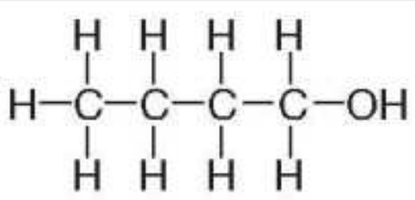
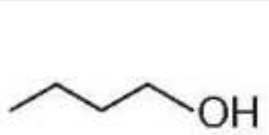
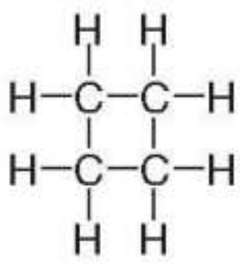
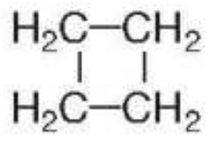
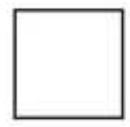
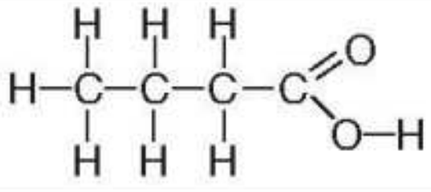
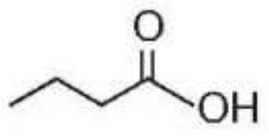
pentan

Wzór szkieletowy (kreskowy) – pomija atomy węgla i wodoru występujące w szkielecie cząsteczki.

We wzorach szkieletowych:

- nie zaznacza się ani atomów węgla, ani połączonych z nimi atomów wodoru,
- pojedyncza kreska oznacza wiązanie pojedyncze, podwójna – wiązanie podwójne, potrójna – wiązanie potrójne,
- atomy węgla znajdują się w punktach, w których łączą się odcinki linii łamanych, oraz na końcach tych linii,
- każdy atom węgla jest związany z tyloma atomami wodoru, aby była spełniona reguła czterowartościowości węgla,
- zaznacza się atomy pierwiastków chemicznych innych niż węgiel oraz połączone z nimi atomy wodoru.

Tabela 4. Sposoby zapisu wzorów związków organicznych

Wzór sumaryczny i nazwa systematyczna związku chemicznego	Wzór strukturalny	Wzór półstrukturalny	Wzór grupowy	Wzór szkieletowy (kreskowy)
C_4H_{10} butan		$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	$CH_3(CH_2)_2CH_3$	
$C_4H_{10}O$ butan-1-ol		$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}OH$	$CH_3(CH_2)_3OH$	
C_4H_8 cyklobutan			–	
$C_4H_8O_2$ kwas butanowy		$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}COOH$	$CH_3(CH_2)_2COOH$	

Rodzaje reakcji w chemii organicznej

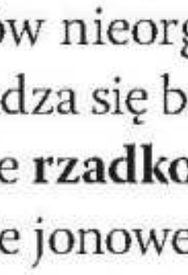
Przebieg reakcji chemicznych związków organicznych jest inny niż w przypadku związków nieorganicznych. W chemii organicznej reakcje chemiczne przeprowadza się bezpośrednio między reagentami lub w roztworach stężonych, ale **rzadko w roztworze wodnym**. Zwykle zachodzą one wolniej niż reakcje jonowe w chemii nieorganicznej.

Podczas większości reakcji organicznych pękają wiązania w substratach i powstają reaktywne produkty pośrednie, którymi mogą być **jony** lub **rodniki**. Reakcje zachodzące między związkami organicznymi dzieli się na jonowe lub rodnikowe, zależnie od ich mechanizmu.

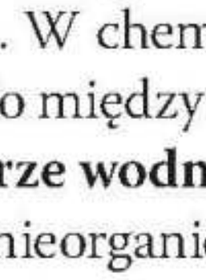
Reakcje jonowe

Reakcja jonowa – reakcja, podczas której powstają jonowe produkty pośrednie.

W reakcjach jonowych produktami pośrednimi są **karboaniony** lub **karbokationy**, czyli **jony**, w których ładunki są zlokalizowane na atomie węgla:



karbokation



karboanion

Karbokation – jon (kation) z ładunkiem dodatnim zlokalizowanym na atomie węgla.

Karboanion – jon (anion) z ładunkiem ujemnym zlokalizowanym na atomie węgla.

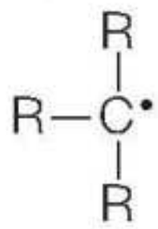
Tworzenie się jonowych produktów pośrednich w reakcji o przebiegu jonowym przedstawiają schematy:

$A{-}B \rightleftharpoons A^+ + B^-$ kiedy pierwiastek chemiczny B jest bardziej elektroujemny

$A{-}B \rightleftharpoons A^- + B^+$ kiedy pierwiastek chemiczny A jest bardziej elektroujemny

Reakcje rodnikowe

W reakcjach rodnikowych produktami pośrednimi są **rodniki**, czyli atomy lub grupy atomów zawierające niesparowany elektron:



rodnik

Reakcja rodnikowa – reakcja, podczas której powstają rodniki jako produkty pośrednie.

Elektron ten może pochodzić z wiązania chemicznego, które ulega rozerwaniu. Rodniki są reaktywne, a więc nietrwałe.

Rodnik – atom lub grupa atomów z niesparowanym elektronem.

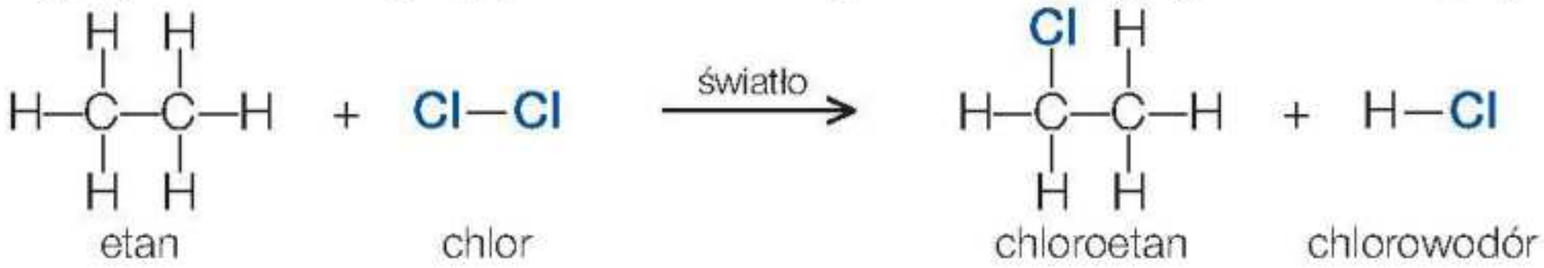
Tworzenie się rodników jako produktów pośrednich reakcji o przebiegu rodnikowym przedstawia schemat:

$A{-}B \rightleftharpoons A^{\bullet} + B^{\bullet}$ powstają rodniki

Innymi rodzajami reakcji są: **reakcja substytucji** (S), **reakcja addycji** (A), **reakcja eliminacji** (E).

Reakcje substytucji (podstawienia) S

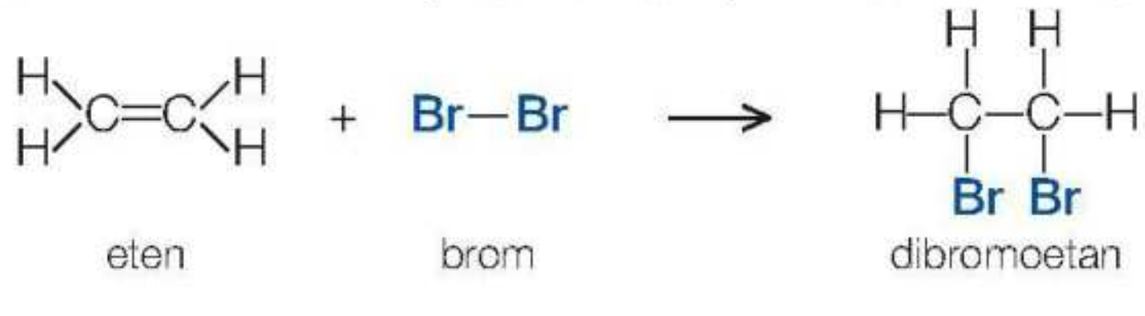
W reakcjach substytucji atom lub grupa atomów jednego z substratów **zastępuje** atom lub grupę atomów w cząsteczce drugiego substratu, np.:



etan chlor chloroetan chlorowodór

Reakcje addycji (przyłączania) A

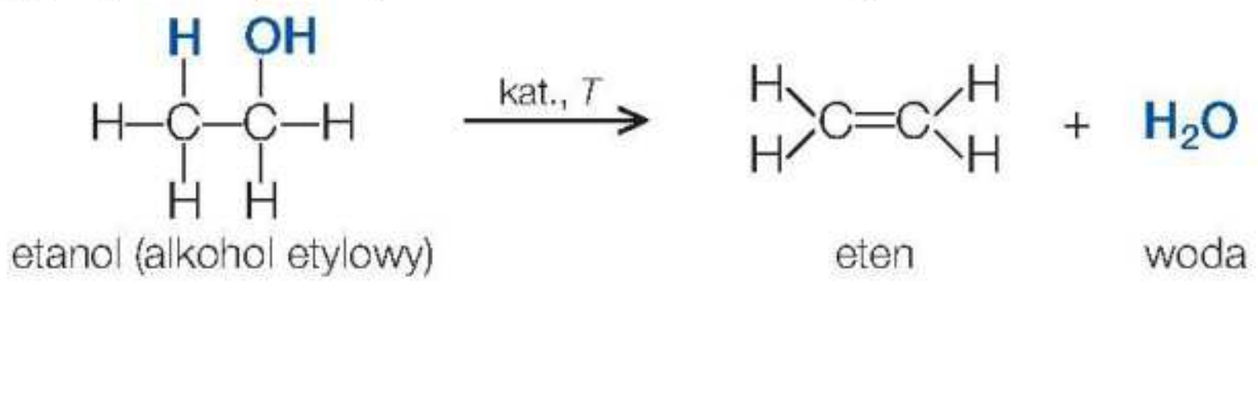
Podczas reakcji addycji jedno z wiązań w wiązaniu wielokrotnym ulega pęknięciu i dwa substraty **łączą się** w jeden produkt, np.:



eten brom dibromoetan

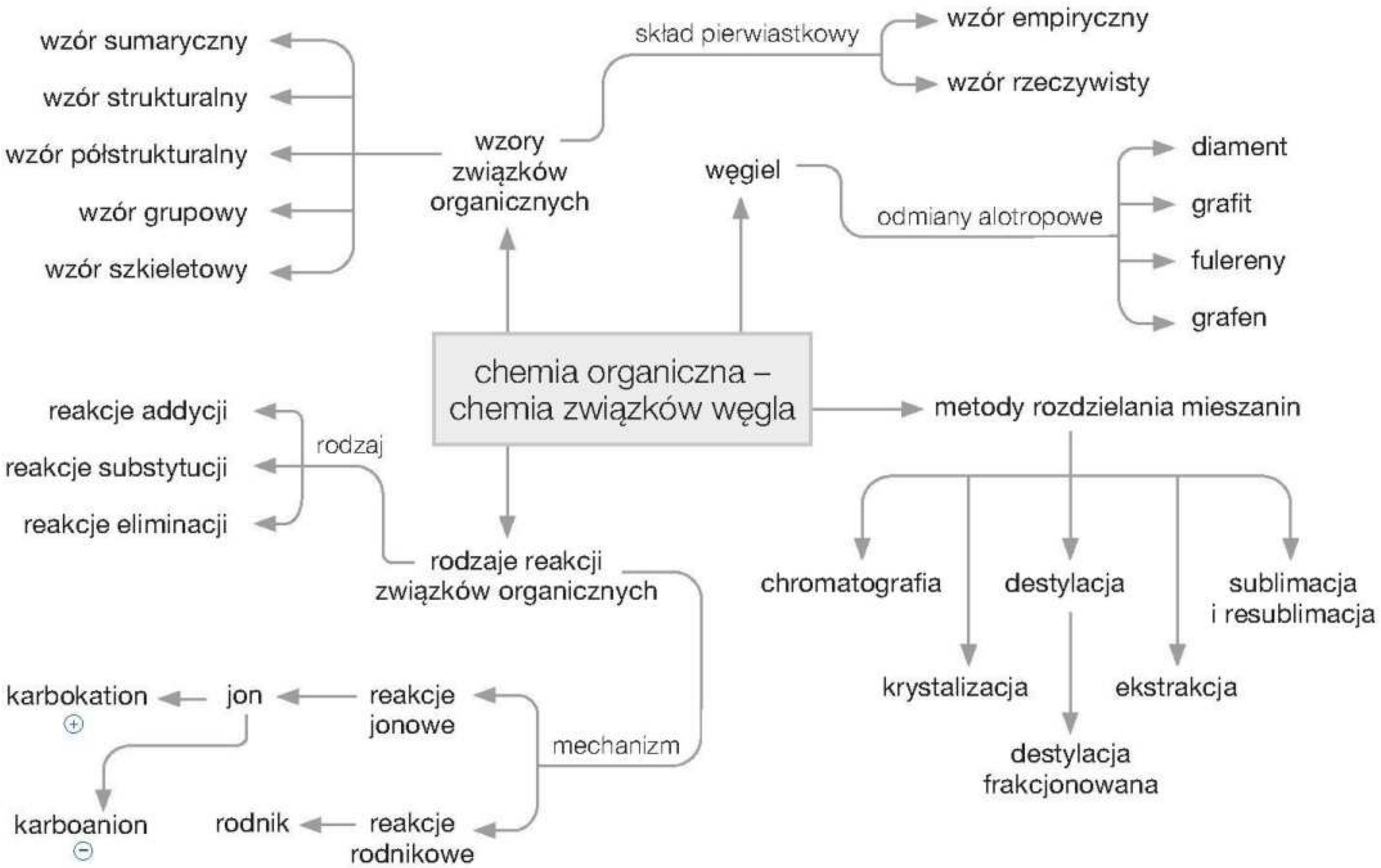
Reakcje eliminacji E

Podczas reakcji eliminacji jeden substrat **rozpada się** na dwa produkty. Następuje oderwanie się prostej cząsteczki od cząsteczki substratu. W wyniku rozerwania dwóch wiązań znajdujących się przy sąsiednich atomach węgla powstaje wiązanie wielokrotne, np.:



etanol (alkohol etylowy) eten woda

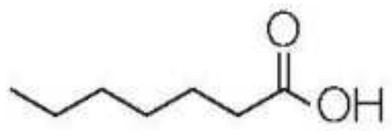
Mapa pojęć – chemia organiczna jako chemia związków węgla



Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Pewien związek organiczny można przedstawić za pomocą wzoru szkieletowego.



Napisz jego wzory:

a) sumaryczny,
b) strukturalny,
c) półstrukturalny,
d) grupowy.

2. Zakwalifikuj podane równania reakcji (a–e) **do reakcji substytucji, addycji i eliminacji.**

a) $CH_3{-}CH{=}CH_2 + Br_2 \longrightarrow CH_3{-}\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{CH}}{-}\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{CH}}$

b) $C_6H_5CH_3 + Cl_2 \longrightarrow C_6H_5CH_2Cl + HCl$

c) $C_6H_{11}OH \longrightarrow C_6H_{10} + H_2O$

d) $CH_2{=}CH_2 \longrightarrow CH{\equiv}CH + H_2$

e) $C_6H_6 + 3\,H_2 \longrightarrow C_6H_{12}$

Podsumowanie

Węgiel

Węgiel jest składnikiem związków nieorganicznych: tlenków, kwasu węglowego, kwasu cyjanowego, kwasu cyjanowodorowego oraz soli tych kwasów i wszystkich związków organicznych.

Węgiel aktywny

Węgiel aktywny to szczególna postać węgla, która ma silne właściwości adsorpcyjne. Dzięki temu pochłania substancje szkodliwe, będące przyczyną zatruć i dolegliwości żołądkowych.

Odmiany alotropowe węgla

Czysty węgiel pierwiastkowy występuje w kilku **odmianach alotropowych**. Najważniejsze z nich to: **grafit**, **diament**, **grafen**, **fulereny**.

Odmiana alotropowa	Właściwości		Charakterystyka struktury
	fizyczne	chemiczne	
Grafit	▸ substancja stała ▸ miękki ▸ tłusty w dotyku ▸ ma postać ciemnoszarych płytek ▸ nierozpuszczalny w wodzie ▸ dobrze przewodzi prąd elektryczny i ciepło ▸ gęstość* $d = 2{,}27\ \frac{g}{cm^3}$	▸ bezwonny ▸ mała aktywność chemiczna w temp. 0°C; w podwyższonej temperaturze reaguje m.in. z bromem ▸ ulega reakcjom spalania ▸ można go przekształcić w diament	▸ w graficie każdy atom węgla jest połączony **wiązaniami kowalencyjnymi** z 3 innymi atomami węgla ▸ atomy węgla są ułożone w płaszczyznach ▸ każda płaszczyzna przypomina plaster miodu – składa się z sześciokątnych pierścieni o wspólnych bokach ▸ każdy atom węgla wchodzi w skład 3 sześcioatomowych pierścieni ▸ w każdym z pierścieni znajduje się 6 swobodnych elektronów pochodzących od atomów węgla tworzących pierścień ▸ odległości między płaszczyznami są ok. 2,5 razy większe niż długości wiązań między atomami węgla w pierścieniach, dlatego płaszczyzny mogą poruszać się względem siebie
Diament	▸ substancja stała ▸ najtwardsza ze znanych substancji naturalnych ▸ kruchy ▸ bezbarwne kryształy ▸ nierozpuszczalny w wodzie ▸ nie przewodzi prądu elektrycznego ▸ dobrze przewodzi ciepło	▸ bezwonny ▸ aktywność chemiczna mniejsza od aktywności grafitu, spala się w temp. wyższej od 850°C ▸ w podwyższonej temperaturze reaguje m.in. z fluorem ▸ można go przekształcić w grafit	▸ w diamencie każdy atom węgla jest połączony **wiązaniami kowalencyjnymi** z 4 innymi atomami węgla ▸ atomy węgla w diamencie tworzą regularną sieć przestrzenną ▸ diament zawdzięcza twardość równomiernie rozłożonym w przestrzeni wiązaniom kowalencyjnym

* W temperaturze 25°C i pod ciśnieniem 1013 hPa.

Odmiana alotropowa	Właściwości		Charakterystyka struktury
	fizyczne	chemiczne	
	▸ po oszlifowaniu ma wysoki współczynnik załamania światła ▸ gęstość* $d = 3{,}51\ \frac{g}{cm^3}$		
Grafen	▸ substancja stała ▸ przezroczysta ▸ wykazuje dużą elastyczność ▸ ma twardość 100 razy większą od twardości stali ▸ dobrze przewodzi prąd elektryczny	▸ w wyniku reakcji z wodorem staje się izolatorem	▸ atomy węgla łączą się, podobnie jak w warstwie grafitu, **mocnymi wiązaniami kowalencyjnymi** z 3 innymi atomami węgla ▸ ma grubość jednej warstwy grafitu, czyli grubość jednego atomu węgla
Fulereny	▸ substancje stałe ▸ kryształy o barwie od żółtej do czerwonobrązowej ▸ metaliczny połysk ▸ nierozpuszczalne w wodzie, rozpuszczają się w rozpuszczalnikach organicznych, np. w benzenie, tworzą kolorowe roztwory ▸ wykazują właściwości nadprzewodzące i półprzewodnikowe ▸ gęstość* $d = 1{,}68\ \frac{g}{cm^3}$	▸ bezwonne ▸ aktywność chemiczna większa od aktywności grafitu i diamentu: – pod wpływem światła ulegają rozkładowi – reagują z najaktywniejszymi litowcami ▸ ulegają reakcjom spalania	▸ atomy węgla łączą się za pomocą **wiązań kowalencyjnych**, w wyniku czego tworzą się symetryczne struktury przestrzenne ▸ każdy atom węgla jest połączony z 3 innymi atomami węgla ▸ atomy węgla tworzą pięciokątne i sześciokątne pierścienie

* W temperaturze 25°C i pod ciśnieniem 1013 hPa.

Wzór empiryczny

Wzór empiryczny (najprostszy, elementarny) określa, w jakim stosunku ilościowym występują **atomy** poszczególnych pierwiastków chemicznych w cząsteczce związku chemicznego.

Wzór rzeczywisty

Wzór rzeczywisty (sumaryczny) informuje o rzeczywistej liczbie atomów w cząsteczce. Do określenia wzoru rzeczywistego konieczna jest znajomość masy cząsteczkowej (lub masy molowej) danego związku chemicznego. **Wzór rzeczywisty może być taki sam jak wzór empiryczny lub stanowić jego wielokrotność.**

Wykrywanie pierwiastków chemicznych w związkach organicznych

Związki organiczne oprócz węgla mogą zawierać wiele innych pierwiastków chemicznych, np. wodór, azot, siarkę czy tlen. Można je wykryć, przeprowadzając odpowiednie doświadczenia chemiczne.

Wykrywany pierwiastek chemiczny	Metoda oznaczania	Identyfikacja
Węgiel	Spalanie: $C + O_2 \longrightarrow CO_2$	Woda wapienna mętnieje pod wpływem wydzielającego się CO_2: $CO_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O$ Świadczy to o obecności węgla.
Azot	Ogrzewanie badanej substancji z roztworem NaOH.	Wydzielający się gaz o charakterystycznym zapachu – amoniak NH_3 – świadczy o obecności azotu.
Siarka	1. Ogrzewanie badanej substancji z roztworem NaOH. 2. Zobojętnienie mieszaniny poreakcyjnej roztworem HNO_3. 3. Dodanie rozpuszczalnego związku ołowiu, np. $Pb(NO_3)_2$.	Strącający się czarny osad PbS świadczy o obecności siarki.
Tlen	Analiza ilościowa.	Tlen jest identyfikowany po przeprowadzeniu analizy ilościowej, jeżeli suma wyników oznaczenia C, H, N i innych pierwiastków chemicznych nie wynosi 100%.

Rozdzielanie i oczyszczanie związków chemicznych

Rozdzielanie i oczyszczanie związków chemicznych polega na wykorzystaniu różnic we właściwościach, takich jak: rozpuszczalność, temperatura wrzenia czy oddziaływanie z innymi substancjami.

Nazwa metody	Wykorzystywane właściwości	Opis
Krystalizacja	**Różnice w rozpuszczalności** związków chemicznych i ich zanieczyszczeń.	Wydzielenie się substancji w postaci kryształów z roztworu nasyconego.
Sublimacja i resublimacja	**Zdolność do sublimacji** oczyszczanej substancji.	Przeprowadzenie substancji w stan pary z pominięciem stanu ciekłego i ponowne jej wydzielenie w procesie resublimacji.
Ekstrakcja	**Różna rozpuszczalność** związku chemicznego w dwóch niemieszających się cieczach.	Rozpuszczona substancja rozdziela się między dwie niemieszające się fazy ciekłe. Stosunek jej stężeń w obu fazach jest w danej temperaturze wielkością stałą, niezależną od ilości substancji rozpuszczonej i ilości użytych rozpuszczalników.
Chromatografia	**Różnice w szybkości przemieszczania się** poszczególnych składników podczas przepływu ich roztworu przez fazę nieruchomą.	Podział substancji zawartych w rozdzielanej mieszaninie między dwie fazy: stacjonarną (nieruchomą) i ruchomą.
Destylacja	**Różnice w temperaturach wrzenia** poszczególnych składników mieszaniny.	Mieszaninę doprowadza się do wrzenia. W miarę wzrostu temperatury poszczególne składniki mieszaniny zostają odparowane, a następnie skroplone w chłodnicy zgodnie z ich temperaturą wrzenia.

Teoria strukturalna budowy związków organicznych

Teoria strukturalna wyjaśnia przyczyny istnienia ogromnej liczby różnorodnych związków organicznych.

Wzory związków organicznych

W celu jednoznacznego przedstawienia budowy związków organicznych stosuje się wzory, które uwzględniają sposób połączenia poszczególnych atomów. Można wyróżnić m.in.:

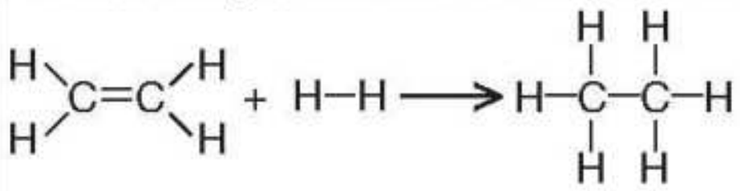
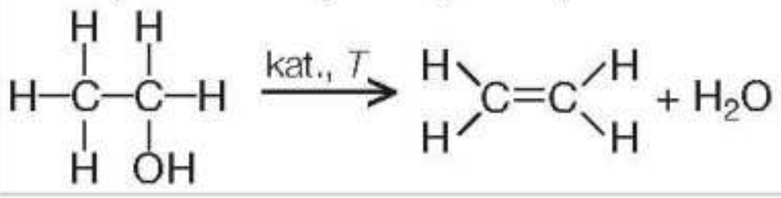
- wzór strukturalny – uwzględnia wszystkie atomy pierwiastków chemicznych oraz wszystkie wiązania występujące w cząsteczce,
- wzór półstrukturalny – uwzględnia rodzaj i liczbę atomów w cząsteczce oraz wiązania chemiczne między atomami, oprócz wiązań węgiel-wodór,
- wzór grupowy – uwzględnia rodzaj i liczbę atomów w cząsteczce węglowodoru. Powtarzające się grupy atomów zapisuje się w nawiasie, uwzględniając ich liczbę,
- wzór szkieletowy – przedstawia budowę cząsteczki, uwzględniając jedynie wzór jej szkieletu węglowego.

Rodzaje reakcji ze względu na ich mechanizm

Rodzaje reakcji	Produkty pośrednie
reakcja jonowa	jony: ▸ karbokation, czyli kation z ładunkiem zlokalizowanym na atomie węgla ▸ karboanion, czyli anion z ładunkiem zlokalizowanym na atomie węgla
reakcja rodnikowa	rodniki – atomy lub grupy atomów z niesparowanym elektronem

Typy reakcji w chemii organicznej

W chemii organicznej można wyróżnić różne typy reakcji chemicznych, m.in. reakcje: substytucji, addycji i eliminacji.

Typ reakcji oraz stosowany skrót	Charakterystyka	Przykład
reakcja substytucji (podstawienia) S	Reakcja polega na podstawieniu atomu lub grupy atomów w cząsteczce przez inny atom lub grupę atomów.	reakcja bromowania benzenu: $C_6H_6 + Br_2 \xrightarrow{\text{kat.}} C_6H_5Br + HBr$
reakcja addycji (przyłączania) A	Reakcja polega na przyłączaniu cząsteczek do atomów węgla połączonych wiązaniami wielokrotnymi.	reakcja addycji wodoru do cząsteczki etenu: 
reakcja eliminacji E	Reakcja polega na oderwaniu się prostej cząsteczki od cząsteczki substratu i utworzeniu wiązania wielokrotnego.	reakcja eliminacji wody z cząsteczki alkoholu: 

Sposób na zadania

Jak zaprojektować doświadczenie, które umożliwi wydzielenie bromu z wody bromowej metodą ekstrakcji? Jak opisać przebieg doświadczenia, narysować jego schemat, napisać obserwacje i sformułować wniosek?

Zaprojektuj doświadczenie, które umożliwi wydzielenie bromu z wody bromowej metodą ekstrakcji, wiedząc, że brom wykazuje większą rozpuszczalność w tetrachlorometanie CCl_4 niż w wodzie.

1 Przeprowadź analizę treści zadania i polecenia.

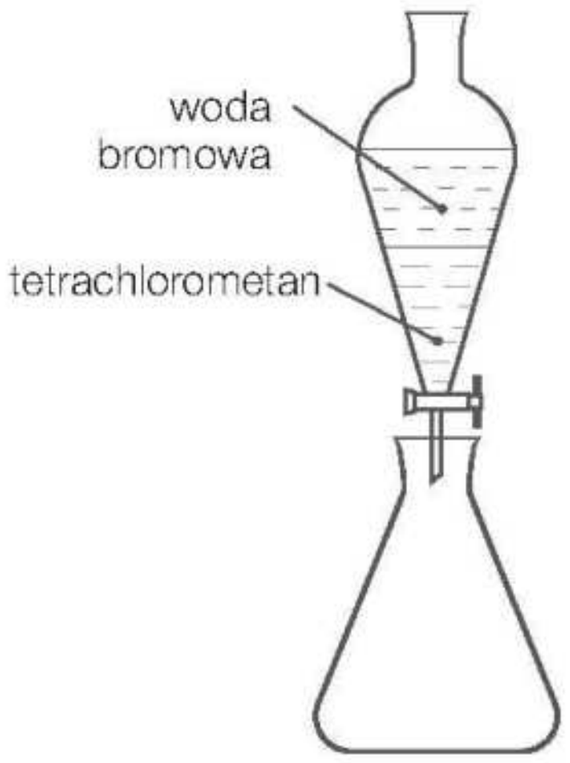
Najprostszą metodą wydzielenia bromu z wody bromowej byłoby przeprowadzenie destylacji, ponieważ brom i woda to ciecze, które znacznie się różnią temperaturami wrzenia. Jednak w zadaniu wskazana została inna metoda rozdzielania mieszanin jednorodnych – ekstrakcja. W metodzie tej wykorzystuje się fakt, że brom – składnik mieszaniny – ma różną rozpuszczalność w dwóch niemieszających się ze sobą rozpuszczalnikach – wodzie i tetrachlorometanie.

2 Opisz przebieg doświadczenia chemicznego.

Do rozdzielacza należy wlać jednakowe objętości wody bromowej i tetrachlorometanu. Objętość mieszaniny powinna stanowić ok. $\frac{2}{3}$ pojemności rozdzielacza. Ze względu na różnicę gęstości składników mieszaniny utworzą się dwie warstwy: górną warstwę stanowi wodny roztwór bromu, a dolną warstwę – tetrachlorometan. Rozdzielacz trzeba zamknąć korkiem i wstrząsać nim przez ok. 30 s. Następnie należy umieścić rozdzielacz w statywie i pozostawić mieszaninę tak długo, aż warstwy się rozdzielą. Jeżeli górna warstwa nie uległa odbarwieniu – trzeba powtórzyć wytrząsanie. Natomiast jeśli warstwa odbarwi się, należy wyjąć korek i otworzyć kranik rozdzielacza, aby dolna warstwa spłynęła do kolby.

3 Narysuj schemat doświadczenia chemicznego.

Schemat doświadczenia chemicznego:



! Zwróć uwagę na to, czego dotyczy polecenie, co należy podać w odpowiedzi – nazwy czy wzory odczynników. Jeżeli nie ma takiej informacji, to poprawnym rozwiązaniem będą zarówno nazwy, jak i wzory.

4 Napisz obserwacje.

W rozdzielaczu znajduje się mieszanina niejednorodna dwóch cieczy. Przed wstrząsaniem górna warstwa była brunatna, a dolna – bezbarwna. Po wstrząsaniu rozdzielaczem górna warstwa odbarwiła się, a dolna zabarwiła na kolor pomarańczowy.

4 Sformułuj wniosek.

Woda bromowa, która stanowiła górną warstwę mieszaniny, w wyniku ekstrakcji bromu tetrachlorometanem została rozdzielona na składniki: wodę i brom. Nastąpiła dyfuzja bromu z warstwy wodnej do warstwy organicznej.

Trening – rozwiąż zadania: 1., 2., 3., 4., s. 42.

Trening – rozwiąż zadania

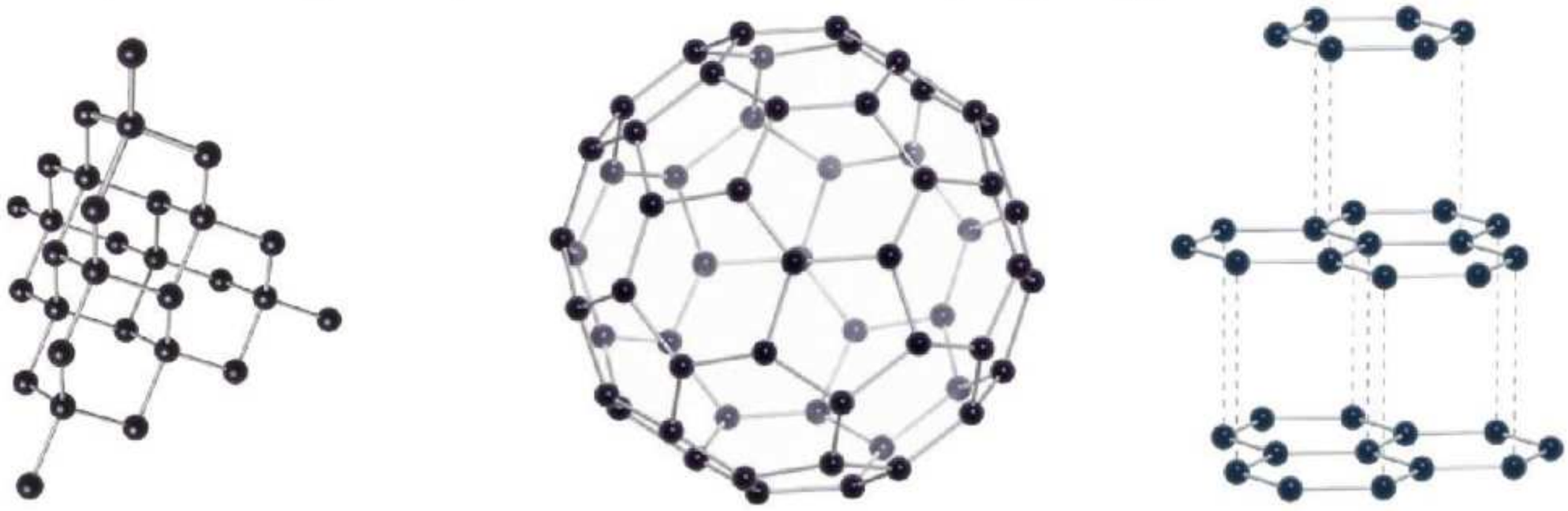
ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

Zadanie 1.

Węgiel występuje w przyrodzie w postaci dwóch stabilnych izotopów ^{X}C i ^{Y}C. Liczba neutronów w jądrze pierwszego izotopu jest o 1 mniejsza niż liczba neutronów w jądrze drugiego izotopu. Zawartość procentowa izotopu ^{X}C wynosi 98,85%, zaś izotopu ^{Y}C – 1,15%. **Oblicz liczby masowe *X* i *Y* każdego z izotopów węgla, wiedząc, że średnia masa atomowa węgla wynosi 12,0115 u.**

Zadanie 2.

Modele przedstawiają sieci krystaliczne trzech odmian alotropowych węgla:



Model 1 Model 2 Model 3

Uzupełnij tekst dotyczący odmian alotropowych węgla – grafitu i diamentu. Wybierz i zaznacz jedno określenie spośród podanych w każdym nawiasie.

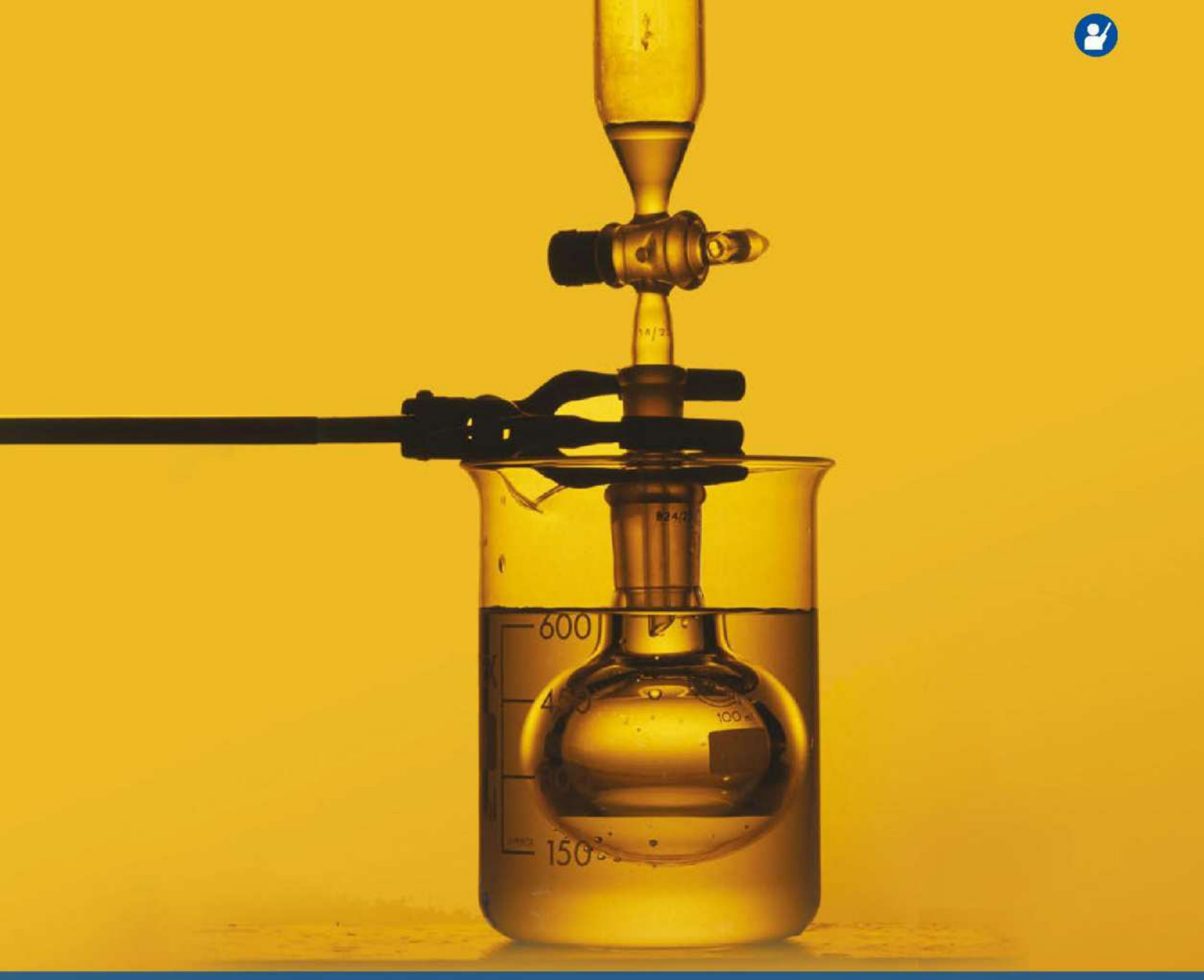
- Budowę wewnętrzną grafitu przedstawia model (1 / 2 / 3). Orbitale walencyjne atomów węgla w strukturze grafitu przyjmują hybrydyzację (sp^3 / sp^2 / sp). Grafit (dobrze przewodzi ciepło / nie przewodzi ciepła), a ze względu na obecność zdelokalizowanych elektronów (dobrze / słabo) przewodzi prąd elektryczny.
- Budowę wewnętrzną diamentu przedstawia model (1 / 2 / 3). W diamencie atomy węgla są ze sobą połączone wiązaniami (kowalencyjnymi niespolaryzowanymi / kowalencyjnymi spolaryzowanymi / jonowymi). Diament to substancja o (najniższym / najwyższym) stopniu twardości ze wszystkich znanych substancji naturalnych i (dobrze rozpuszczalna / nierozpuszczalna) w wodzie.

Zadanie 3.

Spalono 80 cm^3 mieszaniny zawierającej tlenek węgla(II) i tlenek węgla(IV). Do reakcji użyto 76,2 cm^3 powietrza. Objętości wszystkich gazów mierzono w tych samych warunkach ciśnienia i temperatury. **Oblicz zawartość procentową (w procentach objętościowych) tlenku węgla(IV) w tej mieszaninie.**

Zadanie 4.

W celu oznaczenia zawartości siarki w węglu kopalnym próbkę o masie 5,2 g poddano całkowitemu spaleniu. Otrzymane gazy wprowadzono do roztworu H_2O_2, w którym SO_2 uległ przemianie w H_2SO_4. Następnie do badanego roztworu dodano 40 cm^3 roztworu chlorku baru o stężeniu 0,2 $\frac{mol}{dm^3}$. Strącony osad przemyto kwasem solnym w celu usunięcia zanieczyszczeń – węglanu baru. Następnie osad wysuszono i zważono. Na podstawie masy osadu obliczono, że zawartość siarki w węglu kopalnym wynosi 4,9%, co nie jest wartością prawdziwą, bo poprawnie przeprowadzony eksperyment wykazał, że wynosi ona 6%. **Przeprowadź obliczenia, które wyjaśnią, na czym polegał błąd w metodzie oznaczania zawartości siarki w węglu kopalnym. Napisz odpowiedź.**



Węglowodory

W tym dziale zwróć uwagę na umiejętności

Doświadczenia chemiczne – projektowanie i opisywanie

- badanie działania chlorowców na węglowodory nasycone, nienasycone i aromatyczne
- badanie działania wodnego roztworu manganianu(VII) potasu na węglowodory nasycone, nienasycone i aromatyczne
- spalanie węglowodorów nasyconych, nienasyconych i aromatycznych
- destylacja ropy naftowej
- piroliza węgla kamiennego

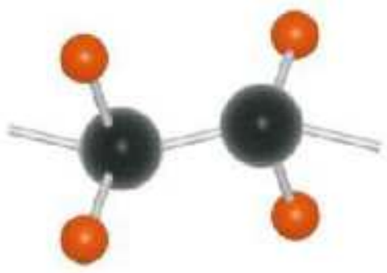
Obliczenia chemiczne

- obliczanie stopni utlenienia pierwiastków chemicznych w cząsteczce związku organicznego

Korzystanie z informacji

- klasyfikowanie związku chemicznego do węglowodorów na podstawie wzorów sumarycznego, półstrukturalnego, grupowego, opisu budowy lub właściwości fizykochemicznych
- określanie właściwości związków organicznych na podstawie budowy cząsteczki i rodzaju występujących wiązań
- klasyfikowanie reakcji związków organicznych ze względu na typ procesu i mechanizm reakcji

5. Węglowodory nasycone – alkany



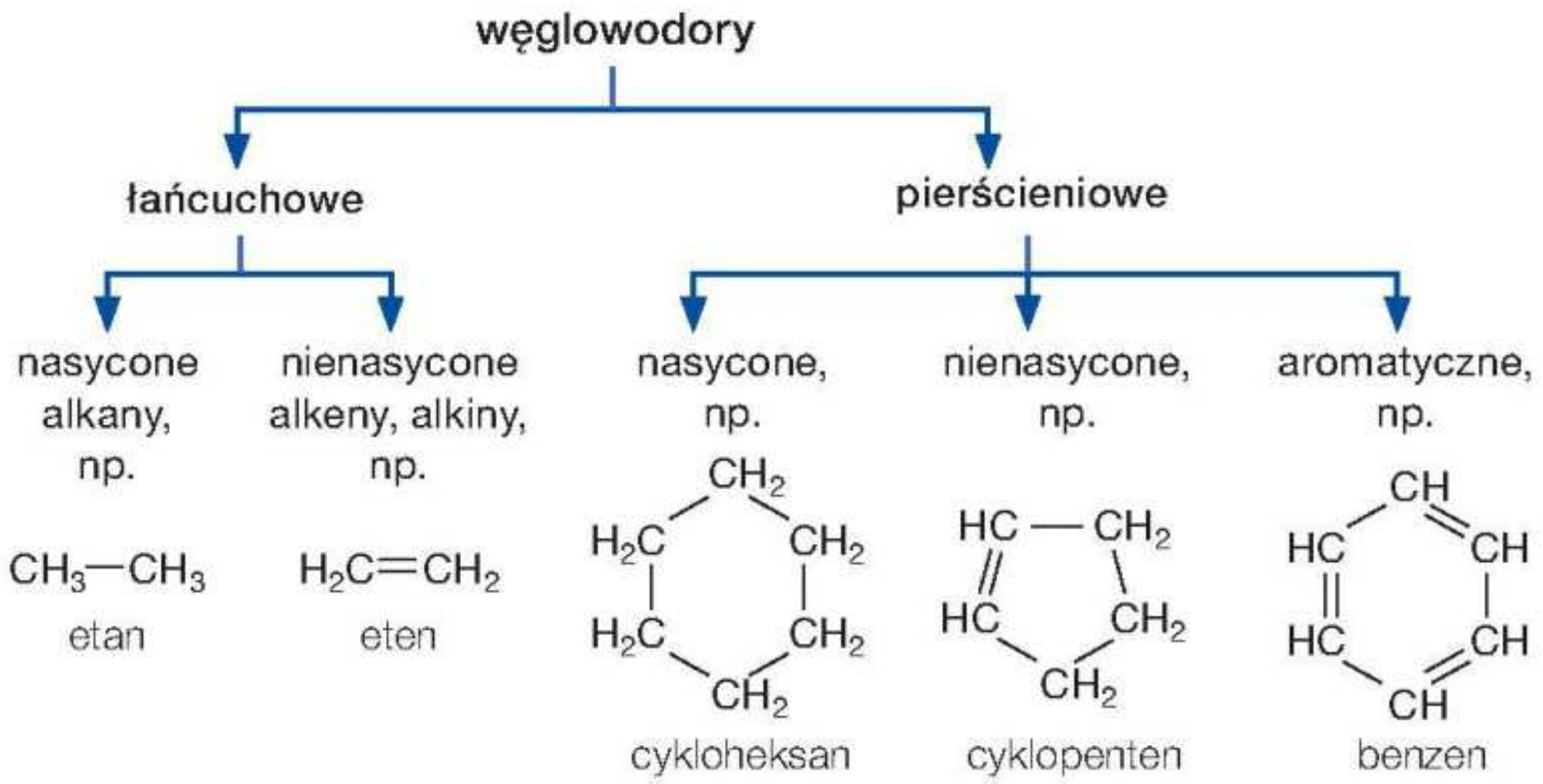
Rys. 3. Model fragmentu cząsteczki węglowodoru. W cząsteczkach węglowodorów nasyconych występują tylko wiązania pojedyncze.

Modele atomów:
węgla
wodoru

Węglowodory to związki chemiczne, których cząsteczki są zbudowane tylko z **atomów węgla** i **wodoru** (rys. 3.).

Podział węglowodorów

Węglowodory dzieli się ze względu na budowę cząsteczki, czyli **sposób połączenia atomów węgla**, lub ze względu na **rodzaj wiązań występujących między atomami węgla**. W cząsteczkach węglowodorów nasyconych między atomami węgla występują tylko wiązania pojedyncze, natomiast w cząsteczkach węglowodorów nienasyconych występują także wiązania wielokrotne – podwójne (patrz s. 66) lub potrójne (patrz s. 83).



Występowanie alkanów

Naturalnym źródłem węglowodorów nasyconych, czyli alkanów, są m.in.: węgle kopalne, ropa naftowa i gaz ziemny (patrz s. 126).

Głównym składnikiem gazu ziemnego jest najprostszy alkan – metan (fot. 14.), który pozyskuje się także z węgla kamiennego.



Fot. 14. Pęcherzyki gazu obserwowane na bagnach to metan. Powstaje on w wyniku rozkładu szczątków roślinnych i innych przemian zachodzących z udziałem bakterii.



Fot. 15. Wosk to mieszanina wielu związków chemicznych. Jednym z nich jest alkan – hentriakontan $C_{31}H_{64}$.

Z ropy naftowej otrzymuje się produkty będące mieszaninami węglowodorów, m.in. benzynę i olej napędowy.

Węglowodory o nieparzystej liczbie atomów węgla w cząsteczkach (od 25 do 31) występują m.in. w wosku pszczelim (patrz fot. 15., s. 44).

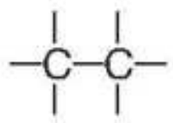
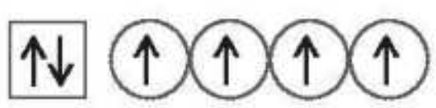
Hybrydyzacja orbitali atomowych węgla w cząsteczkach węglowodorów nasyconych

Budowa przestrzenna cząsteczek węglowodorów oraz występujące w nich rodzaje wiązań zależą od typu hybrydyzacji orbitali atomowych węgla (tabela 5.).

Oznaczenie orbitali zhybrydyzowanych:

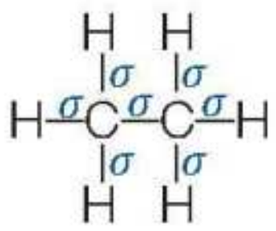


Tabela 5. Hybrydyzacja orbitali atomowych węgla w cząsteczkach alkanów

Szkielet łańcucha węglowego	Hybrydyzacja		Orbitale zhybrydyzowane			
	typ	orbitale ulegające hybrydyzacji	liczba	orientacja przestrzenna	kształt	kąt
 wiązanie pojedyncze	sp^3	 1 orbital *s* 3 orbitale *p*	4		tetraedryczny	109,5°

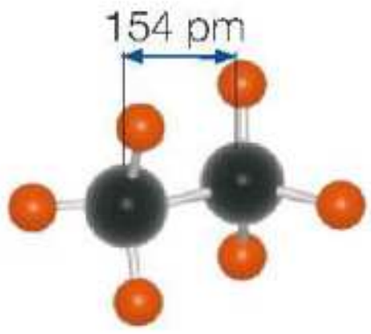
Reaktywność alkanów

Cząsteczki alkanów są zbudowane z atomów węgla, których orbitale atomowe mają hybrydyzację sp^3. **Atomy węgla w alkanach są ze sobą połączone wyłącznie wiązaniami pojedynczymi typu σ**, np. w cząsteczce etanu:



Długość wiązania pojedynczego wynosi 154 pm, a **energia** wiązania jest równa 338 $\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$.

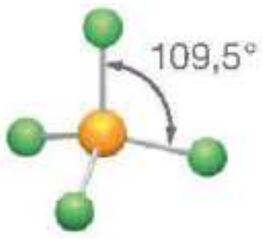
długość wiązania pojedynczego: 154 pm



1 pm (pikometr) = 10^{-12} m

Wiązania pojedyncze w alkanach trudno ulegają rozerwaniu, dlatego związki chemiczne tej grupy są **bardzo mało reaktywne** (patrz doświadczenie 8., s. 54).

Budowa cząsteczki metanu



Rys. 4. Wiązania chemiczne w cząsteczce metanu.

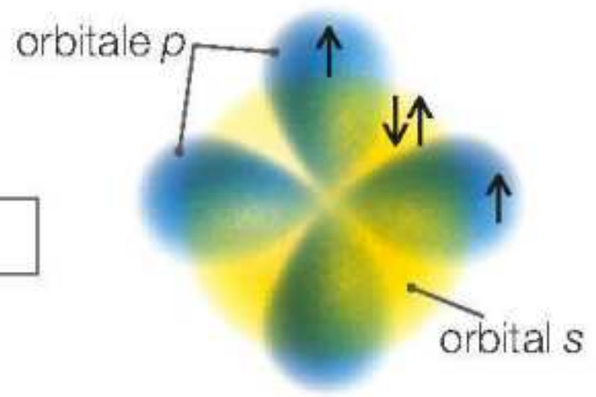
Metan CH_4 jest najprostszym przedstawicielem **węglowodorów nasyconych**, czyli **alkanów**. W cząsteczkach alkanów atomy węgla tworzą łańcuchy proste (nierozgałęzione) lub rozgałęzione, a **wszystkie wiązania są wiązaniami pojedynczymi**.

Cząsteczka metanu ma kształt czworościanu foremnego (tetraedru) z atomem węgla w centrum i czterema atomami wodoru w narożach tetraedru. Kąty między wiązaniami typu σ atomów węgla i wodoru wynoszą 109,5° (rys. 4.). Kształt cząsteczki metanu wyjaśnia hybrydyzacja sp^3 orbitali atomowych węgla.

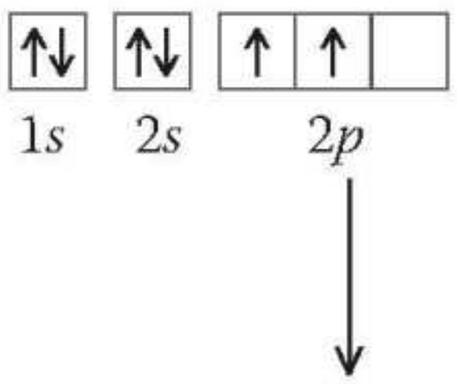
hybrydyzacja sp^3



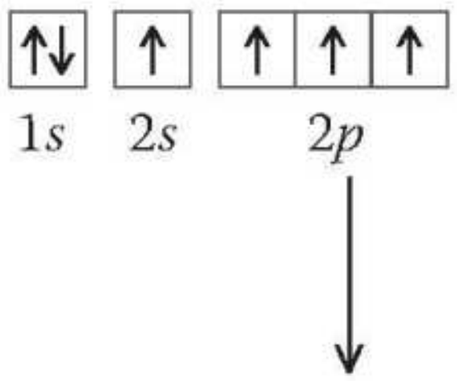
kształt tetraedru

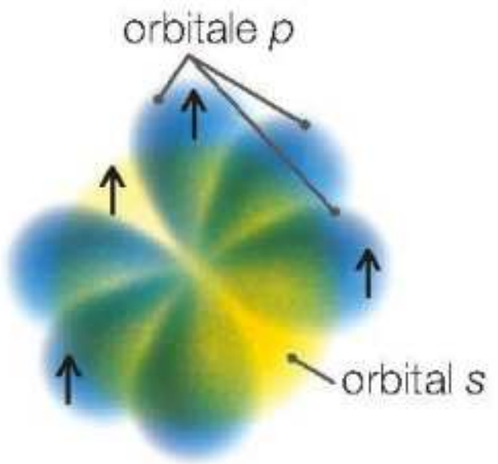


Stan podstawowy

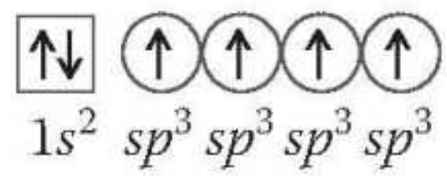


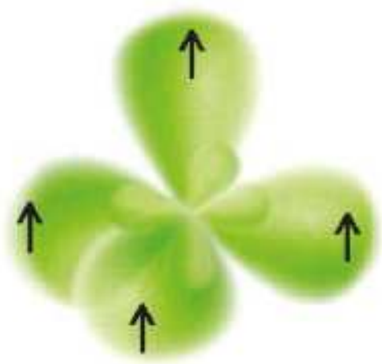
Stan wzbudzony





Orbitale zhybrydyzowane





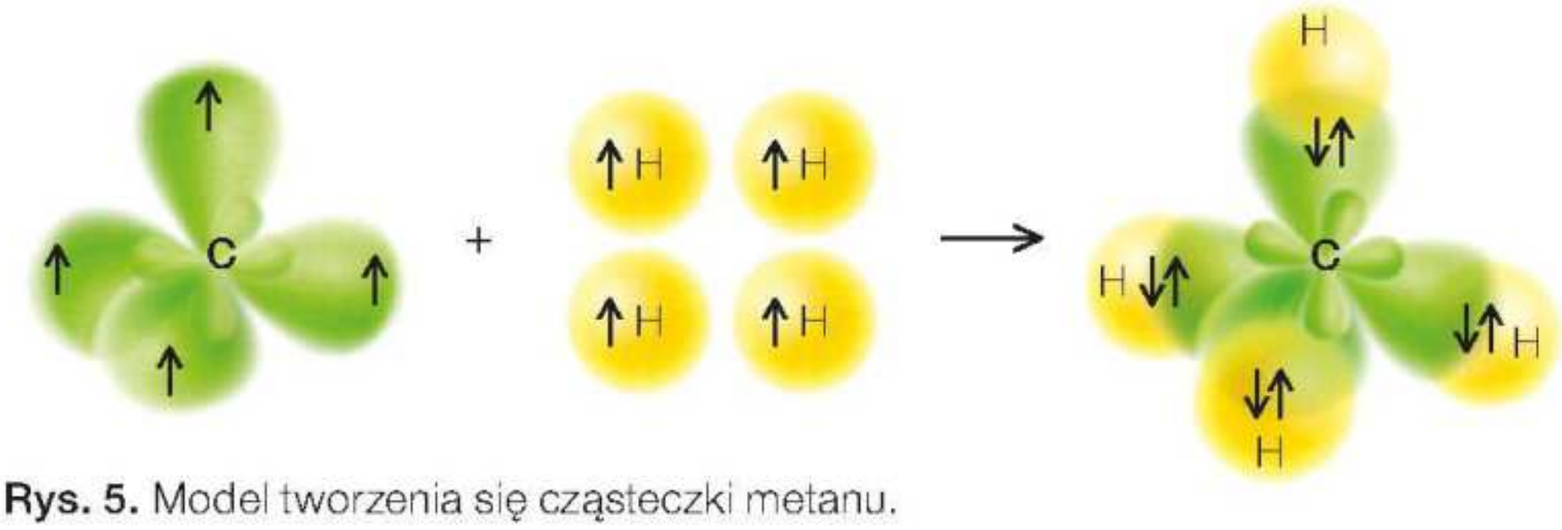
atom węgla o hybrydyzacji sp^3

! Gwiazdka przy symbolu chemicznym pierwiastka oznacza atom w stanie wzbudzonym: *.

Oznaczenie orbitali zhybrydyzowanych:

○

Elektrony opisywane przez orbitale zhybrydyzowane atomu węgla wraz z elektronami orbitali *s* pochodzącymi od czterech atomów wodoru uczestniczą w tworzeniu wiązań w cząsteczce CH_4 (rys. 5.).



Rys. 5. Model tworzenia się cząsteczki metanu.

Otrzymywanie metanu

Doświadczenie 4.  CH_4  NaOH

Otrzymywanie metanu

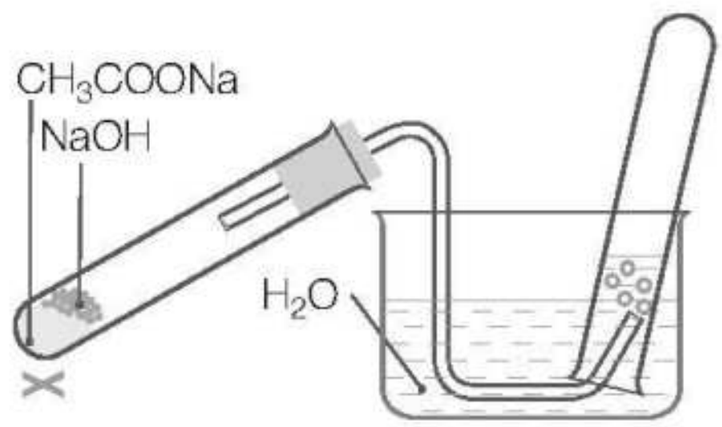
Podczas wykonywania doświadczenia zachowaj szczególną ostrożność, gdyż mieszanina metanu z powietrzem (o zawartości 5–15% objętościowych metanu) ma właściwości wybuchowe.

Odczynniki: etanian (octan) sodu, wodorotlenek sodu.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: próbówki, korek z rurką odprowadzającą, korki, palnik, krystalizator, źródło światła.

Instrukcja: Do probówki wsyp ok. 5 g sproszkowanego etanianu sodu, 2,5 g stałego wodorotlenku sodu. Całość wymieszaj. Probówkę zamknij korkiem z rurką odprowadzającą i ogrzewaj w płomieniu palnika. Wydzielający się gaz zbieraj pod wodą do probówek (schemat). Trzy napełnione gazem probówki szczelnie zamknij korkami. Sprawdź barwę i zapach gazu.

Gaz zebrany w dwóch pozostałych probówkach wykorzystaj w doświadczeniu 6.



Obserwacje: W wyniku ogrzewania mieszaniny etanianu sodu CH_3COONa i wodorotlenku sodu NaOH powstaje gaz bezbarwny, bezwonny, trudno rozpuszczalny w wodzie.

Wniosek: Otrzymanym gazem jest metan.

Zachodzi reakcja chemiczna:

$$\underset{\text{etanian sodu}}{CH_3COONa} + \underset{\text{wodorotlenek sodu}}{NaOH} \longrightarrow \underset{\text{metan}}{CH_4} + \underset{\text{węglan sodu}}{Na_2CO_3}$$

otrzymywanie CH_4

Metan można także otrzymać w reakcjach węglika glinu Al_4C_3 z wodą lub z kwasem chlorowodorowym. Substraty ogrzewa się w probówce, a wydzielający się w reakcji chemicznej metan jest zbierany podobnie, jak w doświadczeniu 4. Zachodzą wówczas reakcje chemiczne zgodnie z równaniami:

$$\underset{\text{węglik glinu}}{Al_4C_3} + \underset{\text{woda}}{12\,H_2O} \longrightarrow \underset{\text{metan}}{3\,CH_4} + \underset{\text{wodorotlenek glinu}}{4\,Al(OH)_3}$$

$$\underset{\text{węglik glinu}}{Al_4C_3} + \underset{\text{kwas chlorowodorowy}}{12\,HCl} \longrightarrow \underset{\text{metan}}{3\,CH_4} + \underset{\text{chlorek glinu}}{4\,AlCl_3}$$

Metan jest gazem bezbarwnym, bezwonnym. Ma gęstość mniejszą od gęstości powietrza. Jest trudno rozpuszczalny w wodzie.

Reakcje chemiczne metanu

Doświadczenie 5. CH_4

Spalanie gazu ziemnego

Odczynniki: gaz ziemny.
Sprzęt laboratoryjny: palnik gazowy.
Instrukcja: Jako źródła metanu można użyć gazu ziemnego z sieci gazowej, gdyż zarówno gaz świetlny (miejski), jak i gaz ziemny zawierają metan.
Zapal palnik gazowy.

Obserwacje: Metan spala się niebieskim płomieniem (fot. 16.).
Wniosek: Zachodzi reakcja spalania całkowitego. Produktami reakcji chemicznej zachodzącej przy nieograniczonym dostępie tlenu z powietrza są tlenek węgla(IV) i woda.

Zachodzi reakcja chemiczna zgodnie z równaniem:

$$\underset{\text{metan}}{CH_4} + 2\,\underset{\text{tlen}}{O_2} \longrightarrow \underset{\text{tlenek węgla(IV)}}{\mathbf{CO_2}} + 2\,\underset{\text{woda}}{H_2O}$$

Przy ograniczonym dostępie powietrza spalanie gazu jest niecałkowite, a cząstki sadzy nadają płomieniowi żółtą barwę. Produkty reakcji niecałkowitego spalania metanu mogą być różne:

$$\underset{\text{metan}}{2\,CH_4} + \underset{\text{tlen}}{3\,O_2} \longrightarrow 2\,\underset{\text{tlenek węgla(II)}}{\mathbf{CO}} + \underset{\text{woda}}{4\,H_2O}$$

$$\underset{\text{metan}}{CH_4} + \underset{\text{tlen}}{O_2} \longrightarrow \underset{\text{węgiel}}{\mathbf{C}} + \underset{\text{woda}}{2\,H_2O}$$



Fot. 16. Palnik gazowy stosowany w laboratorium to tzw. palnik Bunsena.

Reakcja spalania – gwałtowna reakcja utleniania, której towarzyszy wydzielenie energii na sposób światła i ciepła.

przy nieograniczonym dostępie powietrza metan spala się niebieskim płomieniem

spalanie niecałkowite CH_4

Odkrycia, które zmieniły świat – czujnik tlenku węgla(II)

Czad, czyli tlenek węgla(II), nazywany jest „cichym zabójcą", ponieważ **jest gazem bezwonnym, bezbarwnym i niewyczuwalnym**. Jego źródłem w pomieszczeniu może być nieprawidłowo podłączone urządzenie (np. kuchenka gazowa), ponieważ czad powstaje podczas spalania m.in. gazu ziemnego przy ograniczonym dostępie tlenu. Podczas oddychania tlenek węgla(II) wraz z powietrzem dostaje się do płuc, a następnie do krwi. Wówczas hemoglobina, zamiast łączyć się z tlenem i przenosić go do komórek, łączy się z tlenkiem węgla(II). To powoduje niedotlenienie całego organizmu, które prowadzi do utraty przytomności i często śmierci. Czujniki czadu (fot. 17.) mierzą stężenie objętościowe tego gazu w powietrzu.



Fot. 17. Jeśli w pomieszczeniu, w którym jest zamontowany czujnik czadu, norma (stężenie CO) zostaje przekroczona, włącza się alarm.

Doświadczenie 6. CH_4 $KMnO_4$ $Br_{2(aq)}$

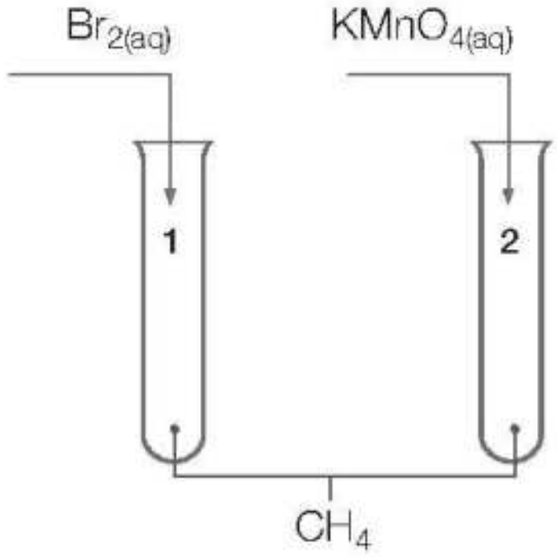
Badanie zachowania metanu wobec wody bromowej i roztworu manganianu(VII) potasu

Podczas wykonywania doświadczenia zachowaj szczególną ostrożność.

Odczynniki: woda bromowa, wodny roztwór manganianu(VII) potasu, metan.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: próbówki, korki, źródło światła.

Instrukcja: Do wykonania doświadczenia użyj metanu otrzymanego w doświadczeniu 4. Do probówki 1. wlej ok. 2 cm^3 wody bromowej, a do probówki 2. – ok. 2 cm^3 roztworu manganianu(VII) potasu (schemat). Probówki zamknij korkami i wstrząsaj nimi. Probówkę z wodą bromową umieść w ostrym świetle, np. żarówki grafoskopu. Naświetlaj zawartość probówki aż do zaobserwowania zmian.





woda bromowa **odbarwiła się** pod wpływem metanu **po dłuższym naświetlaniu**



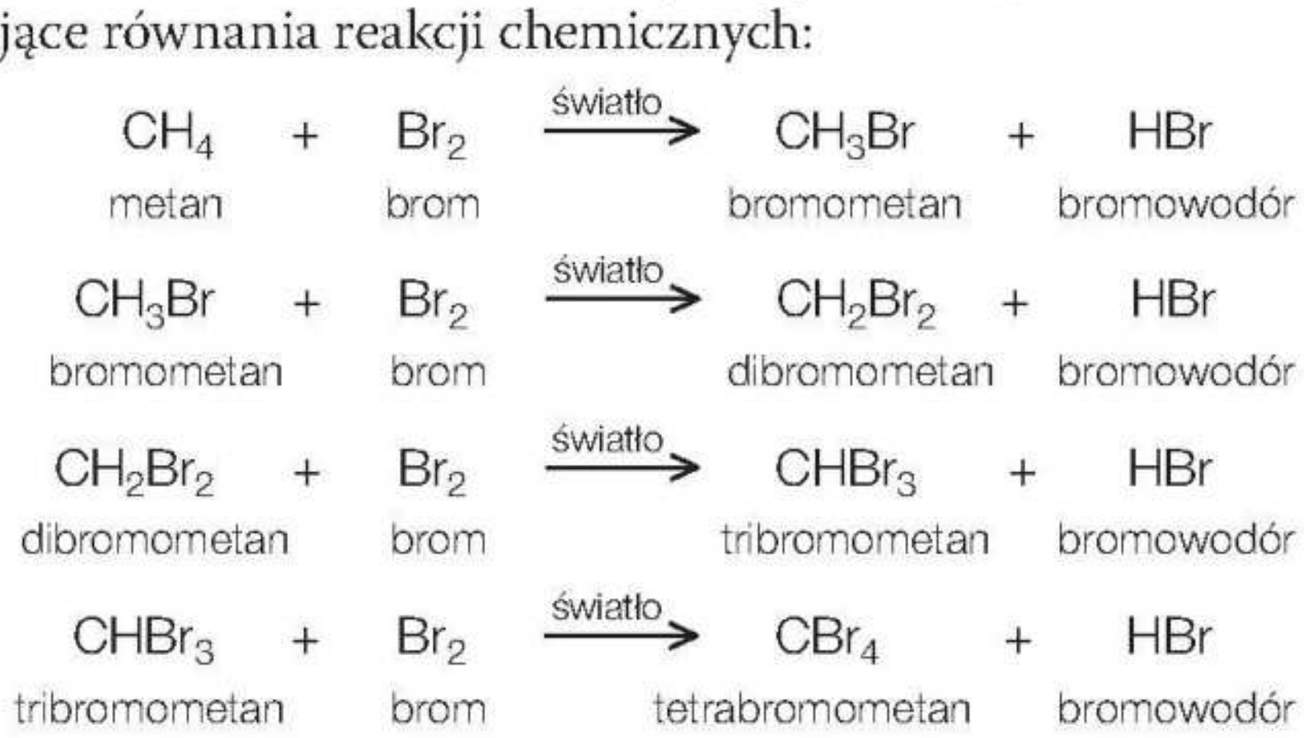
roztwór manganianu(VII) potasu **nie odbarwia się** pod wpływem metanu

Fot. 18. Zachowanie wody bromowej i roztworu manganianu(VII) potasu pod wpływem metanu.

Obserwacje: Początkowo woda bromowa i roztwór manganianu(VII) potasu nie odbarwiają się (fot. 18.). Dopiero po dłuższym naświetlaniu zawartości probówki 1. następuje odbarwienie wody bromowej.

Wniosek: Metan nie reaguje z manganianem(VII) potasu. Z bromem reaguje dopiero pod wpływem światła. Reakcja bromowania metanu przebiega etapami.

Jest to **reakcja łańcuchowa**, której etapy można przedstawić, pisząc następujące równania reakcji chemicznych:



reakcja łańcuchowa

Reakcja substytucji – podstawienie atomu wodoru w cząsteczce alkanu atomem innego pierwiastka chemicznego.

Rodnik – atom lub grupa atomów, która ma niesparowany elektron, np. rodnik bromu Br•.

Bromowanie metanu (a także chlorowanie) jest **reakcją substytucji**. Polega ona na **podstawieniu** atomów wodoru przez atomy fluorowca. Charakterystyczna dla reakcji substytucji jest obecność produktu ubocznego (w doświadczeniu 6. – bromowodoru).

Reakcja bromowania metanu przebiega zgodnie z **mechanizmem rodnikowym**, czyli z udziałem **rodników**. Są to atomy lub grupy atomów zawierające niesparowany elektron, co powoduje ich wzmożoną reaktywność. Niesparowany elektron w rodniku oznacza się kropką, np. $\cdot CH_3$.

Mechanizm reakcji rodnikowej

Mechanizm reakcji rodnikowej to **szczegółowy opis jej przebiegu z uwzględnieniem wszystkich kolejnych etapów i produktów pośrednich**.

W każdej reakcji rodnikowej występują trzy etapy:

inicjacja, czyli **zapoczątkowanie** reakcji chemicznej

Etap I. Inicjacja. Zapoczątkowanie reakcji łańcuchowej bromowania polega na utworzeniu atomów (rodników) bromu Br• z cząsteczki Br_2 pod wpływem światła. Po rozerwaniu wiązania każdy z dwóch atomów bromu uzyskuje jeden niesparowany elektron:

$$|\underline{\overline{Br}}-\underline{\overline{Br}}| \xrightarrow{\text{światło}} 2\ Br\bullet$$

brom → rodniki bromu

propagacja, czyli **kontynuacja** reakcji chemicznej

Kontynuacja reakcji chemicznej następuje w kolejnych etapach, dlatego bromowanie zaliczane jest do reakcji łańcuchowych.

Etap II. Propagacja. Rodnik bromu, czyli atom bromu z niesparowanym elektronem, atakuje cząsteczkę metanu, w wyniku czego powstają HBr i rodnik metylowy $\cdot CH_3$, który z kolei reaguje z cząsteczką bromu Br_2, tworząc CH_3Br i rodnik bromu Br•:

$$Br\bullet + CH_4 \longrightarrow \cdot CH_3 + HBr$$

rodnik bromu + metan → rodnik metylowy + bromowodór

$$\cdot CH_3 + Br_2 \longrightarrow CH_3Br + Br\bullet$$

rodnik metylowy + brom → bromometan + rodnik bromu

$$Br\bullet + CH_3Br \longrightarrow \cdot CH_2Br + HBr$$

rodnik bromu + bromometan → rodnik bromometylowy + bromowodór

$$\cdot CH_2Br + Br_2 \longrightarrow CH_2Br_2 + Br\bullet \quad \text{itd.}$$

rodnik bromometylowy + brom → dibromometan + rodnik bromu

terminacja, czyli **zakończenie** reakcji chemicznej

Etap III. Terminacja. Zakończenie, czyli przerwanie reakcji łańcuchowej (reakcja wygaszania rodników), następuje, gdy zabraknie rodników, np. wskutek reakcji między nimi:

$$2\ Br\bullet \longrightarrow Br_2$$

rodniki bromu → brom

$$2 \cdot CH_3 \longrightarrow CH_3{-}CH_3$$

rodniki metylowe — etan

$$Br\cdot + \cdot CH_3 \longrightarrow CH_3Br$$

rodnik bromu — rodnik metylowy — bromometan

Analiza produktów bromowania metanu wskazuje, że tworzą się one na kolejnych etapach bromowania, w tzw. **reakcjach następczych**. Są to następujące po sobie reakcje chemiczne, w których powstały produkt jest substratem w następnej reakcji chemicznej.

Przebieg reakcji chemicznej bromowania metanu można przedstawić za pomocą schematu:

$$CH_4 + Br_2 \xrightarrow[-HBr]{\text{światło}} CH_3Br \xrightarrow[-HBr]{Br_2} CH_2Br_2 \xrightarrow[-HBr]{Br_2} CHBr_3 \xrightarrow[-HBr]{Br_2} CBr_4$$

metan brom — bromometan — dibromometan — tribromometan — tetrabromometan

schemat bromowania

Nie wszystkie fluorowce równie łatwo reagują z metanem. Fluor reaguje wybuchowo, chlor i brom – dopiero po zapoczątkowaniu reakcji chemicznej przez długotrwałe naświetlanie lub ogrzewanie, a jod nie reaguje.

Szereg homologiczny alkanów

Alkany tworzą **szereg homologiczny**. Jest to szereg węglowodorów, w którym każdy następny węglowodór ma o 1 atom węgla i 2 atomy wodoru (czyli grupę $-CH_2-$) więcej niż poprzedni (patrz tabela 6., s. 52–53).

Szereg homologiczny – szereg związków organicznych o podobnej budowie i właściwościach chemicznych, w którym każdy kolejny związek chemiczny ma o jedną grupę $-CH_2-$ więcej w cząsteczce.

Cztery pierwsze alkany w szeregu mają nazwy zwyczajowe. W następnych **rdzeń nazwy** pochodzi od nazw liczebników greckich lub łacińskich oznaczających liczbę atomów węgla w cząsteczce.

Na podstawie analizy wzorów alkanów w szeregu homologicznym można podać ich wzór ogólny:

$$C_nH_{2n+2}$$

Wzór ogólny alkanów

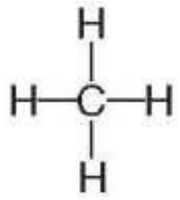
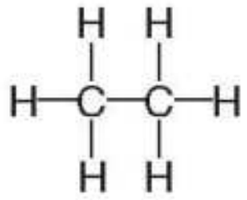
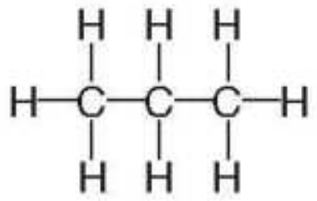
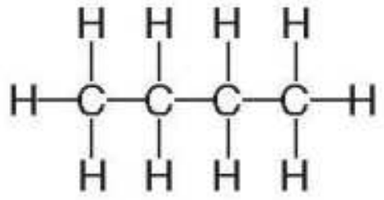
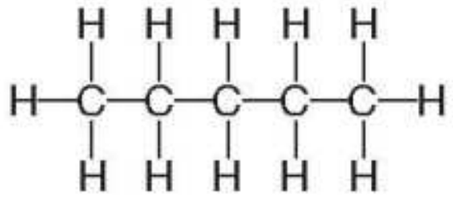
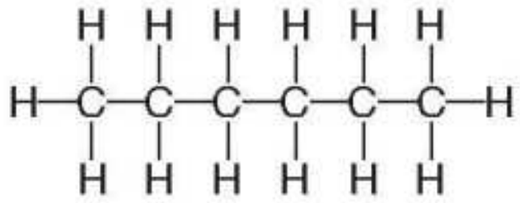
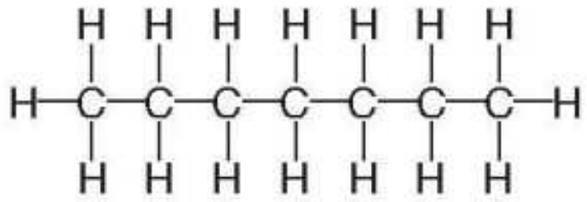
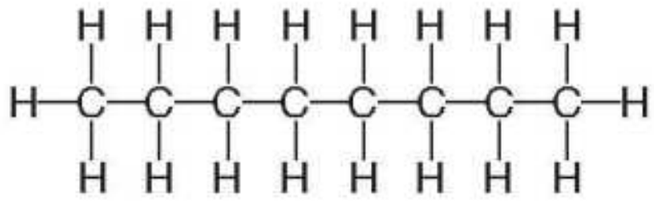
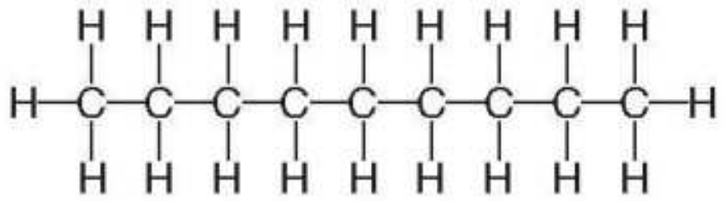
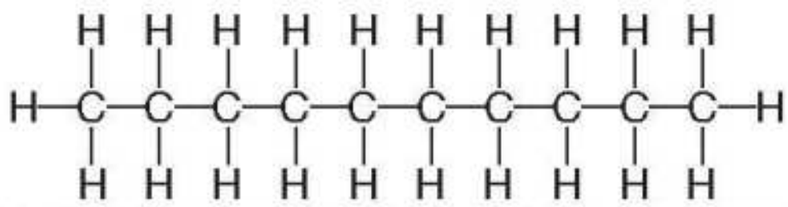
gdzie:
n – liczba atomów węgla w cząsteczce alkanu.

Alkany znajdujące się w szeregu homologicznym różnią się właściwościami: temperaturą wrzenia, temperaturą topnienia oraz gęstością. Im większa liczba atomów węgla w cząsteczce alkanu, tym wyższa temperatura wrzenia i topnienia.

W szeregu homologicznym węglowodorów wraz ze zwiększaniem się liczby atomów węgla w cząsteczce (wydłużaniem się łańcucha węglowego) zmienia się stan skupienia alkanów.

Stany skupienia alkanów:
$1 \le n \le 4$ **gazy**
$5 \le n \le 16$ **ciecze**
$n \ge 17$ **substancje stałe**
gdzie:
n – liczba atomów węgla w cząsteczce alkanu.

Tabela 6. Szereg homologiczny alkanów

Liczba atomów węgla w cząsteczce	Nazwa	sumaryczny	strukturalny
1	metan	CH_4	
2	etan	C_2H_6	
3	propan	C_3H_8	
4	butan	C_4H_{10}	
5	pentan	C_5H_{12}	
6	heksan	C_6H_{14}	
7	heptan	C_7H_{16}	
8	oktan	C_8H_{18}	
9	nonan	C_9H_{20}	
10	dekan	$C_{10}H_{22}$	

Wzory		
półstrukturalny	grupowy	szkieletowy (kreskowy)
CH_4	CH_4	brak
$CH_3—CH_3$	CH_3CH_3	
$CH_3—CH_2—CH_3$	$CH_3CH_2CH_3$	
$CH_3—CH_2—CH_2—CH_3$	$CH_3(CH_2)_2CH_3$	
$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$	$CH_3(CH_2)_3CH_3$	
$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$	$CH_3(CH_2)_4CH_3$	
$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$	$CH_3(CH_2)_5CH_3$	
$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$	$CH_3(CH_2)_6CH_3$	
$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$	$CH_3(CH_2)_7CH_3$	
$CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$	$CH_3(CH_2)_8CH_3$	

Reakcje chemiczne alkanów

Doświadczenie 7. C_4H_{10}

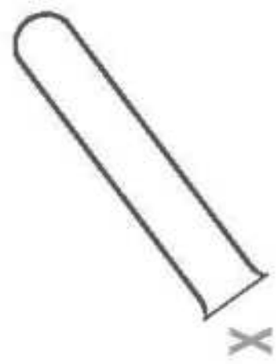


Fot. 19. Jednym z produktów spalania niecałkowitego butanu jest węgiel w postaci sadzy.

spalanie niecałkowite C_4H_{10}

Spalanie butanu

Odczynniki: butan.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, zapalniczka.
Instrukcja: Do doświadczenia użyj butanu znajdującego się w gazie zapalniczki. Przytrzymaj suchą probówkę dnem do góry nad płomieniem zapalniczki.



Obserwacje: Na wewnętrznych ściankach probówki pojawiają się krople bezbarwnej cieczy. U wylotu probówki osadza się czarny osad (fot. 19.).
Wniosek: Na ściankach probówki skrapla się woda. Natomiast czarny osad to sadza, która jest produktem spalania niecałkowitego butanu, gdyż dostęp powietrza był ograniczony:

$$2\,C_4H_{10} + 5\,O_2 \longrightarrow 8\,\mathbf{C} + 10\,H_2O$$
butan — tlen — węgiel — woda

$$2\,C_4H_{10} + 9\,O_2 \longrightarrow 8\,\mathbf{CO} + 10\,H_2O$$
butan — tlen — tlenek węgla(II) — woda

Przy nieograniczonym dostępie powietrza zachodzi spalanie całkowite butanu:

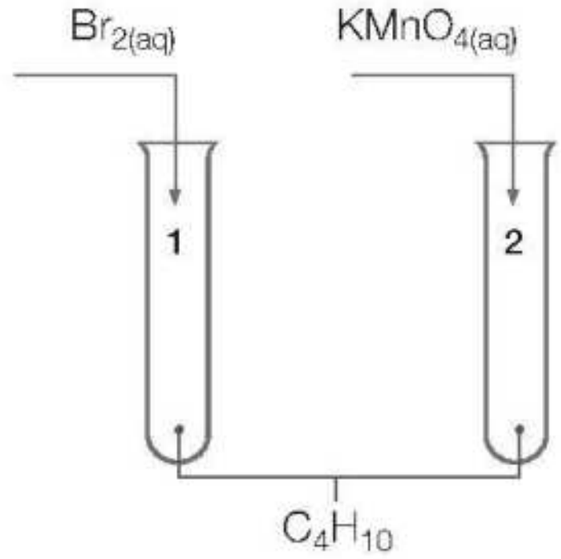
spalanie całkowite C_4H_{10}

$$2\,C_4H_{10} + 13\,O_2 \longrightarrow 8\,\mathbf{CO_2} + 10\,H_2O$$
butan — tlen — tlenek węgla(IV) — woda

Doświadczenie 8. C_4H_{10} $KMnO_4$ $Br_{2(aq)}$

Badanie właściwości butanu

Odczynniki: butan, woda bromowa, wodny roztwór manganianu(VII) potasu.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, korki, źródło światła.
Instrukcja: Probówki 1. i 2. napełnij butanem (np. gazem z zapalniczki). Następnie do probówki 1. dodaj ok. 2 cm^3 wody bromowej, a do probówki 2. – ok. 2 cm^3 wodnego roztworu manganianu(VII) potasu. Obie probówki zamknij korkami i wstrząsaj. Zawartość probówki 1. naświetlaj np. żarówką.



Obserwacje: Początkowo w probówkach z wodą bromową i roztworem manganianu(VII) potasu nie widać zmian. Dopiero po naświetlaniu woda bromowa uległa odbarwieniu.

Wniosek: Butan C_4H_{10} nie reaguje z manganianem(VII) potasu. Do rozpoczęcia reakcji chemicznej z bromem jest konieczne dostarczenie energii, np. w postaci światła:

$$\underset{\text{butan}}{C_4H_{10}} + \underset{\text{brom}}{Br_2} \xrightarrow{\text{światło}} \underset{\text{bromobutan}}{C_4H_9Br} + \underset{\text{bromowodór}}{HBr}$$

substytucja rodnikowa

W przypadku reakcji bromowania butanu powstają dwa produkty:

$$\underset{\text{butan}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3} + \underset{\text{brom}}{Br_2} \xrightarrow{\text{światło}} \underset{\text{2-bromobutan}}{CH_3{-}CHBr{-}CH_2{-}CH_3} + \underset{\text{bromowodór}}{HBr}$$

lub

$$\underset{\text{butan}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3} + \underset{\text{brom}}{Br_2} \xrightarrow{\text{światło}} \underset{\text{1-bromobutan}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2Br} + \underset{\text{bromowodór}}{HBr}$$

Oznacza to, że w tym samym czasie przebiegają równolegle dwie reakcje chemiczne. W każdej powstaje produkt o tym samym składzie, lecz o innej budowie cząsteczki. Produktem głównym jest jednak 2-bromobutan, ponieważ łatwiej oderwać atom wodoru połączony z atomem węgla o wyższej rzędowości.

Takie równoległe (konkurencyjne, współbieżne) reakcje substytucji alkanów zachodzą, jeśli poddaje się im alkany o liczbie atomów węgla w cząsteczce większej od dwóch.

Izomeria konstytucyjna alkanów

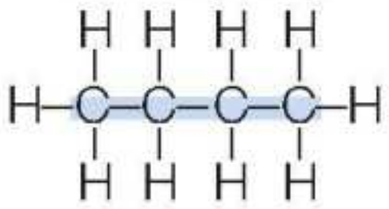
Badania właściwości butanu doprowadziły do odkrycia jego odmian o identycznym składzie pierwiastkowym, ale różnej temperaturze wrzenia i topnienia.

Jedna z odmian, nazwana **butanem normalnym** i oznaczana ***n*-butan**, ma temperaturę wrzenia –0,55°C, a temperaturę topnienia –138,3°C. Druga odmiana – **izobutan** – wrze w temperaturze –11,7°C, a topi się w temperaturze –159,4°C.

Przedrostek *n*
w nazwie alkanu oznacza cząsteczkę o **łańcuchu prostym**.

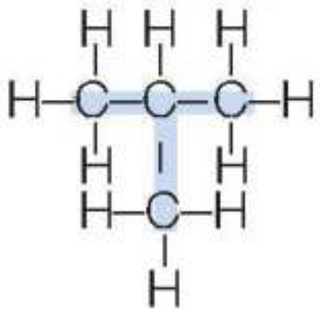
Obserwowane **różnice właściwości fizycznych obu tych alkanów są skutkiem różnic w budowie ich cząsteczek**. Cząsteczka *n*-butanu ma **prosty** (nierozgałęziony) **łańcuch węglowy**, natomiast w cząsteczce izobutanu **łańcuch** jest **rozgałęziony**:

łańcuch prosty



n-butan

łańcuch rozgałęziony

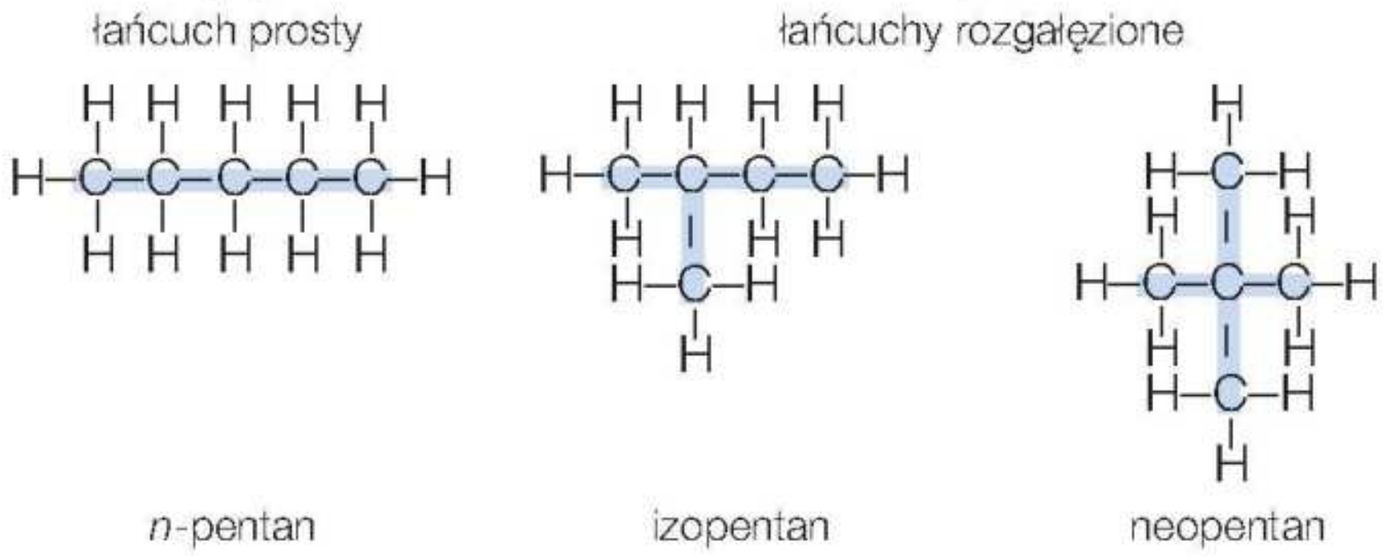


izobutan

izomery konstytucyjne C_4H_{10}

Podobną różnorodność wykazują cząsteczki innych alkanów, np. pentanu. Jest ona zbudowana z pięciu atomów węgla, które mogą być położone względem siebie w trzech kombinacjach:

izomery konstytucyjne
C_5H_{12}



Izomeria – występowanie związków chemicznych o takim samym wzorze sumarycznym, lecz różnej budowie cząsteczek (różnych wzorach strukturalnych).

Występowanie związków chemicznych o takim samym wzorze sumarycznym, lecz różnej budowie (różnych wzorach strukturalnych), a więc też różnych właściwościach fizycznych, nazywa się **izomerią konstytucyjną** (patrz s. 122). Określenie **konstytucja związku organicznego** oznacza kolejność i sposób powiązania atomów (łańcuchy proste, rozgałęzione, pierścienie, wiązania pojedyncze, podwójne i potrójne). Związki chemiczne różniące się **tylko kolejnością i sposobem połączenia atomów** nazywa się **izomerami konstytucyjnymi**.

Nazewnictwo alkanów

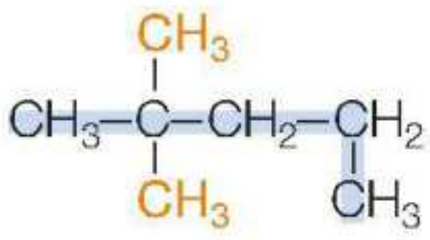


Rys. 6. Logo IUPAC.

Olbrzymia liczba znanych związków organicznych spowodowała, że należało stworzyć spójny i zrozumiały system ich nazywania, który umożliwia określenie struktury danego związku chemicznego na podstawie jego nazwy. Taki system został wprowadzony przez Międzynarodową Unię Chemii Czystej i Stosowanej (rys. 6.) – IUPAC (ang. *International Union of Pure and Applied Chemistry*) i jako **nazewnictwo (nomenklatura) systematyczne** obowiązuje na całym świecie. W przypadku wielu związków organicznych oprócz nazw systematycznych używa się również **nazw tradycyjnych lub zwyczajowych**, które często są znacznie krótsze i związane z występowaniem danego związku chemicznego w przyrodzie.

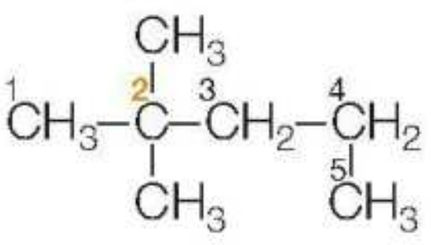
Zgodnie z zaleceniami IUPAC nazwy systematyczne alkanów tworzy się według następujących zasad:

Zasada 1. Należy ustalić **najdłuższy łańcuch węglowy**. Nazwę alkanu odpowiadającego temu łańcuchowi przyjąć jako **podstawę tworzonej nazwy**.



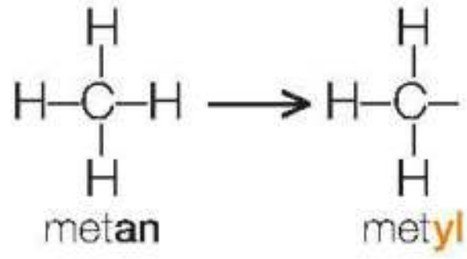
Podstawniki to atomy lub grupy atomów związane z łańcuchem głównym.

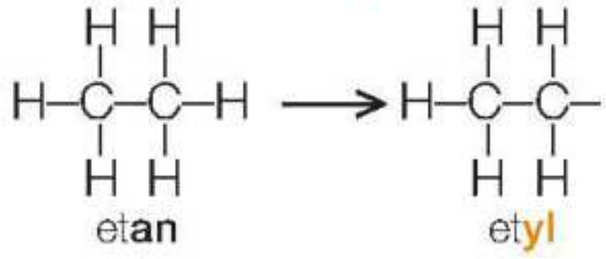
Zasada 2. Atomy węgla w najdłuższym łańcuchu trzeba ponumerować, zaczynając od atomów skrajnych. Położenie **podstawników** określają numery atomów węgla, czyli tzw. **lokanty**. Kierunek numeracji powinien być taki, aby lokanty – liczby wskazujące położenie podstawników – były jak **najmniejsze**.



Zasada 3. Nazwy **grup alkilowych oraz innych grup**, będących podstawnikami przy atomach węgla w najdłuższym łańcuchu, należy wymieniać **w porządku alfabetycznym**, a nie w kolejności wynikającej z ich numeracji.

Grupa alkilowa jest to jednowartościowa grupa utworzona formalnie przez oderwanie jednego atomu wodoru od cząsteczki alkanu. Nazwę grupy alkilowej tworzy się przez zmianę zakończenia nazwy alkanu o takiej samej liczbie atomów węgla w cząsteczce z **-an** na **-yl**. Na przykład:


metan → metyl

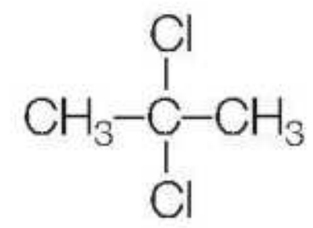

etan → etyl

Grupą alkilową może być: grupa metylowa $-CH_3$, etylowa $-CH_2CH_3$ itd.

Ogólne oznaczenie **grupy alkilowej**: **–R**.

Zasada 4. Liczbę identycznych podstawników oznacza się przedrostkami: di-, tri-, tetra-, penta- itd.

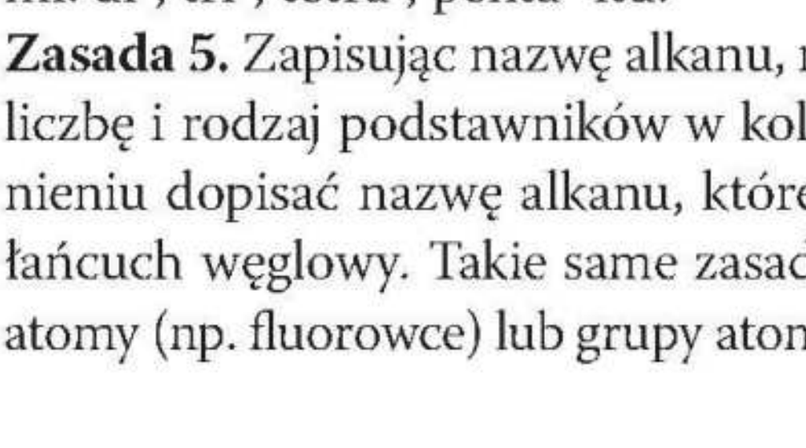
Zasada 5. Zapisując nazwę alkanu, należy na jej początku podać numery, liczbę i rodzaj podstawników w kolejności alfabetycznej. Po ich wymienieniu dopisać nazwę alkanu, któremu odpowiada ustalony najdłuższy łańcuch węglowy. Takie same zasady obowiązują, gdy podstawnikami są atomy (np. fluorowce) lub grupy atomów. Na przykład: 2,2-dichloropropan.

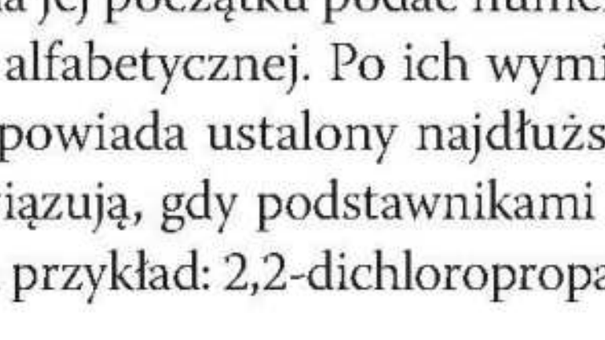

2,2-dichloropropan

Przykład 5.

Ustalanie nazw systematycznych alkanów

Napisz nazwy systematyczne alkanów o podanych wzorach.


a)

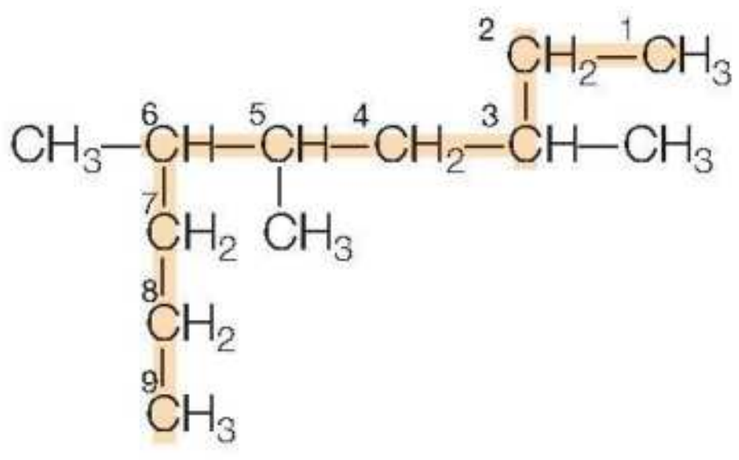

c)


b)

Plan rozwiązywania

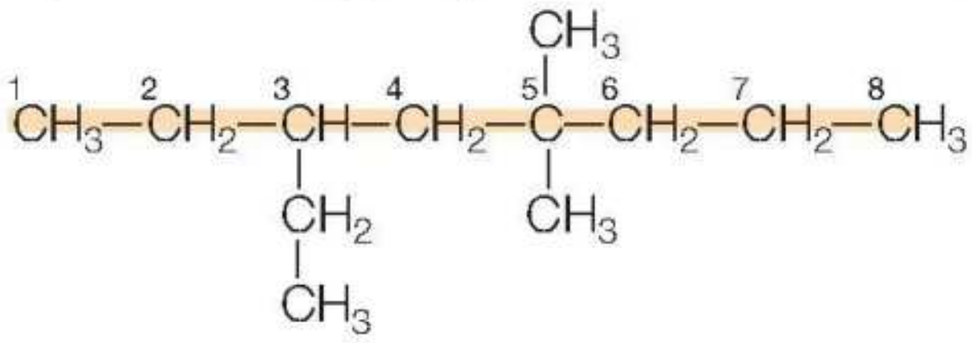
1. Wyznacz najdłuższy łańcuch węglowy i ponumeruj atomy węgla zgodnie z zasadami 1. i 2., s. 56.
2. Zaznacz podstawniki, które nie należą do łańcucha węglowego, podaj ich położenie i nazwy zgodnie z zasadami 3. i 4., s. 56–57.
3. Napisz nazwę systematyczną alkanu.

1 **a)** Najdłuższy łańcuch węglowy zawiera 9 atomów węgla.

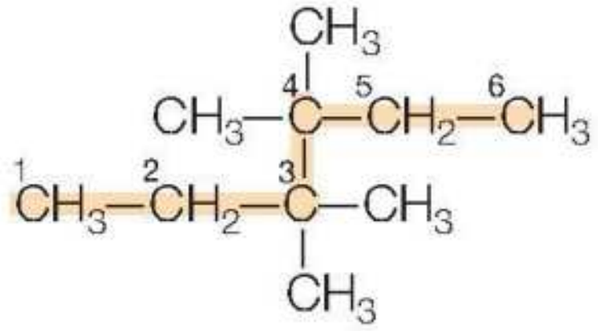


patrz s. 58

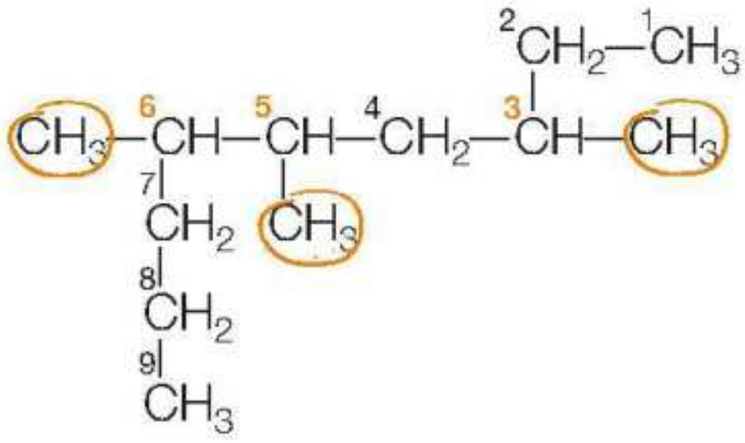
b) Najdłuższy łańcuch węglowy zawiera 8 atomów węgla.



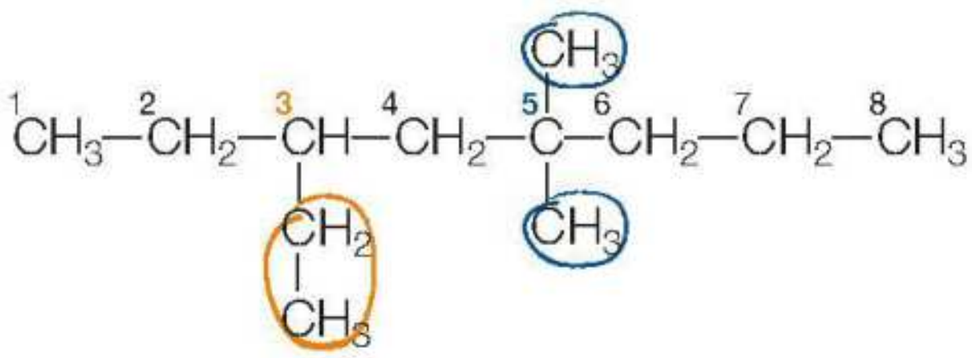
c) Najdłuższy łańcuch węglowy zawiera 6 atomów węgla.



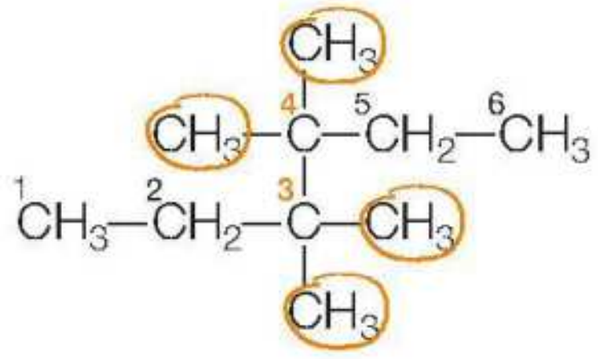
2 **a)** W cząsteczce znajdują się trzy podstawniki – **trzy grupy metylowe** przy 3., 5. i 6. atomie węgla.



b) W cząsteczce znajdują się trzy podstawniki – **jedna grupa etylowa** przy 3. atomie węgla oraz **dwie grupy metylowe** przy 5. atomie węgla.



c) W cząsteczce znajdują cztery podstawniki – **cztery grupy metylowe** – dwie przy 3. atomie węgla i dwie przy 4.



3 Nazwy alkanów:

a) 3,5,6-trimetylononan,

b) 3-etylo-5,5-dimetylooktan,

c) 3,3,4,4-tetrametyloheksan.

Przykład 6.

Zapisywanie wzorów półstrukturalnych alkanów o znanych nazwach systematycznych

Napisz wzory półstrukturalne alkanów o podanych nazwach.

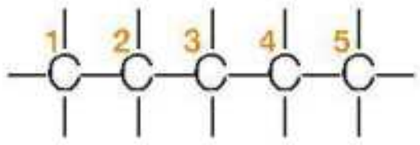
a) 2,2,4-trimetylopentan
b) 4,5-dietylo-3,7-dimetylodekan
c) 3,4-dietylo-2,2,3-trimetylo-4-propylooktan

Plan rozwiązywania

1. Ustal podstawę nazwy alkanu, napisz główny łańcuch węglowy o odpowiedniej liczbie atomów węgla i ponumeruj atomy węgla.
2. Napisz wzory podstawników przy odpowiednich atomach węgla i dopisz brakujące atomy wodoru.
3. Napisz wzór półstrukturalny alkanu.

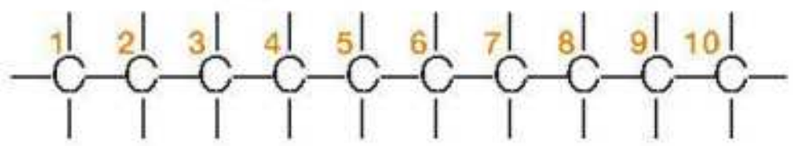
1 **a)** 2,2,4-trimetylo**pentan**

Podstawą tworzonej nazwy jest pentan – najdłuższy łańcuch zawiera 5 atomów węgla.



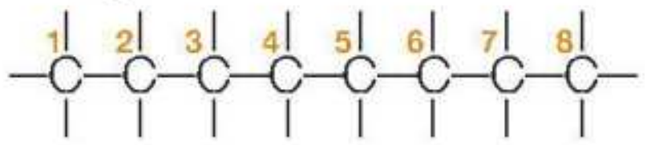
b) 4,5-dietylo-3,7-dimetylo**dekan**

Podstawą tworzonej nazwy jest dekan – najdłuższy łańcuch zawiera 10 atomów węgla.



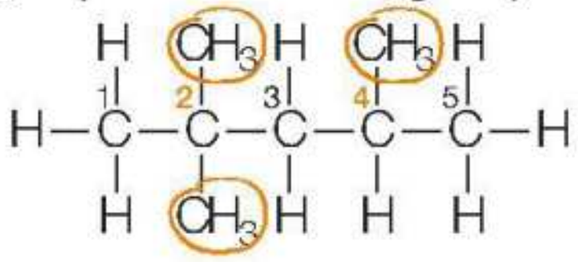
c) 3,4-dietylo-2,2,3-trimetylo-4-propylo**oktan**

Podstawą tworzonej nazwy jest oktan – najdłuższy łańcuch zawiera 8 atomów węgla.



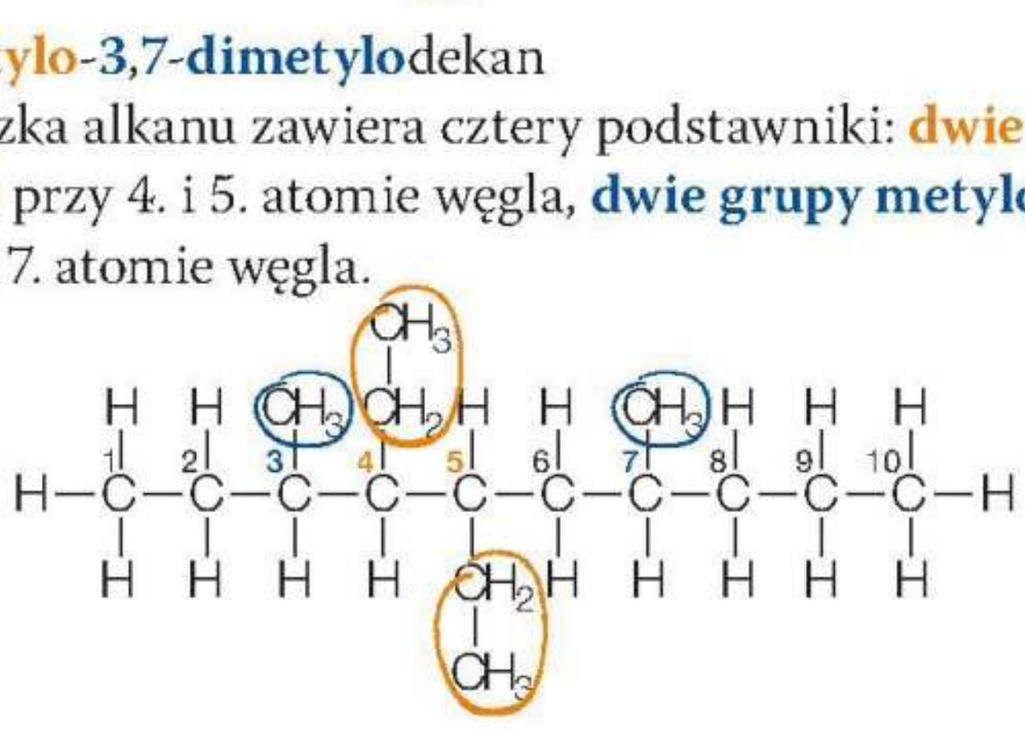
2 **a)** **2,2,4-trimetylo**pentan

Cząsteczka alkanu zawiera trzy podstawniki: **trzy grupy metylowe** – dwie przy 2. atomie węgla i jedną przy 4.



b) **4,5-dietylo-3,7-dimetylo**dekan

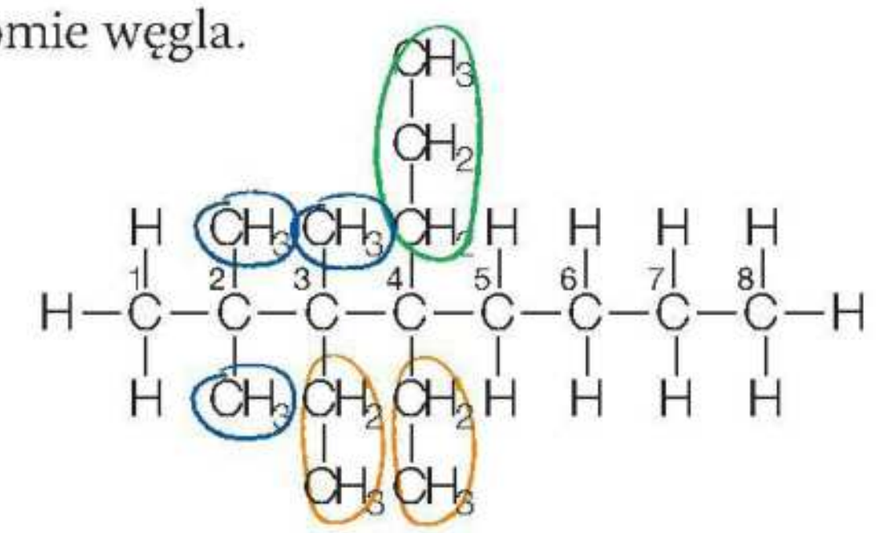
Cząsteczka alkanu zawiera cztery podstawniki: **dwie grupy etylowe** przy 4. i 5. atomie węgla, **dwie grupy metylowe** przy 3. i 7. atomie węgla.



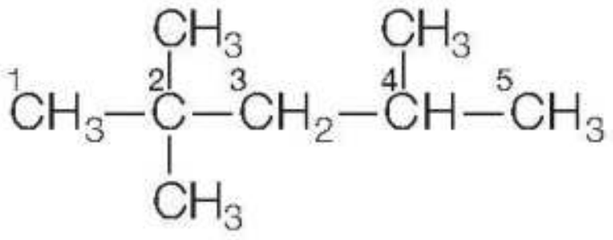
patrz s. 60

c) **3,4-dietylo-2,2,3-trimetylo-4-propylo**oktan

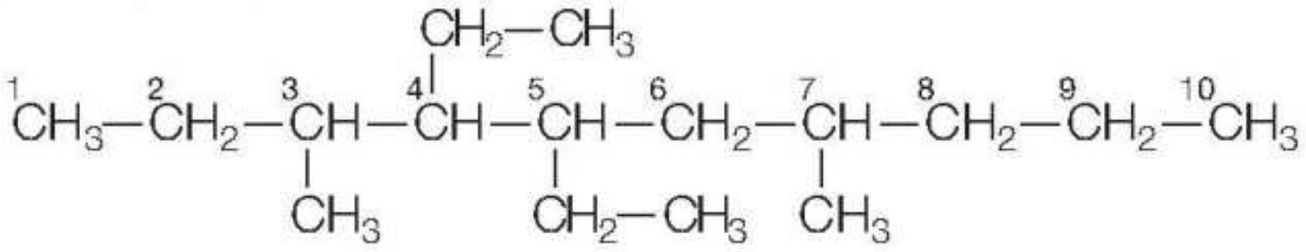
Cząsteczka alkanu zawiera sześć podstawników: **dwie grupy etylowe** przy 3. i 4. atomie węgla, **trzy grupy metylowe** – dwie przy 2. atomie węgla i jedną przy 3., **jedną grupę propylową** przy 4. atomie węgla.



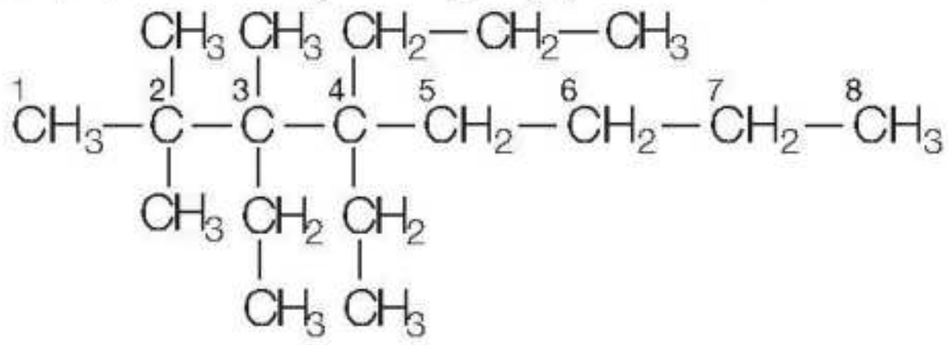
3 **a)** 2,2,4-trimetylopentan



b) 4,5-dietylo-3,7-dimetylodekan



c) 3,4-dietylo-2,2,3-trimetylo-4-propylooktan



Plan rozwiązywania

1 Wyznacz najdłuższy łańcuch węglowy, ponumeruj atomy węgla zgodnie z zasadami 1. i 2., s. 56 oraz podaj podstawę nazwy alkanu.

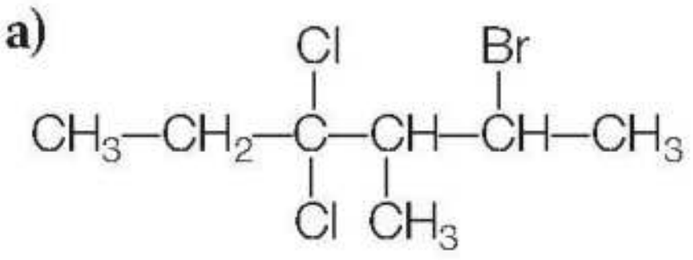
2 Ustal położenie podstawników i podaj nazwę systematyczną alkanu zgodnie z zasadami 3.–5., s. 56–57.

Przykład 7.

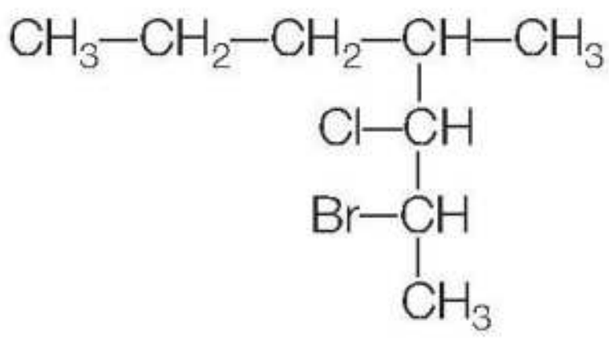
Ustalanie nazw systematycznych alkanów zawierających w cząsteczkach atomy fluorowców

Napisz nazwy systematyczne alkanów o podanych wzorach strukturalnych.

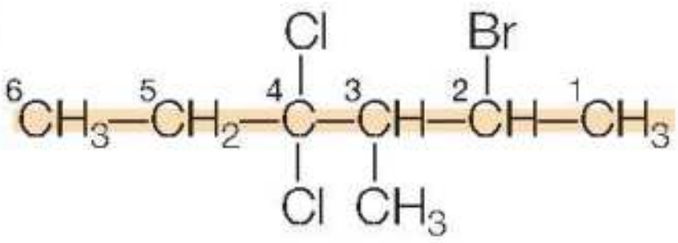
a)



b)

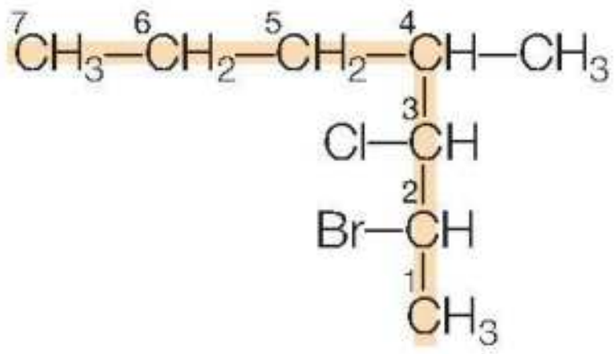


1 **a)**

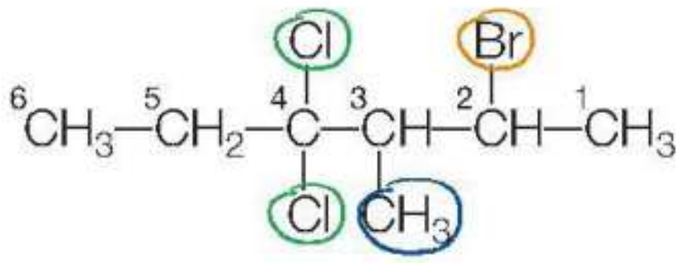


Najdłuższy łańcuch zawiera 6 atomów węgla – heksan.

patrz s. 61

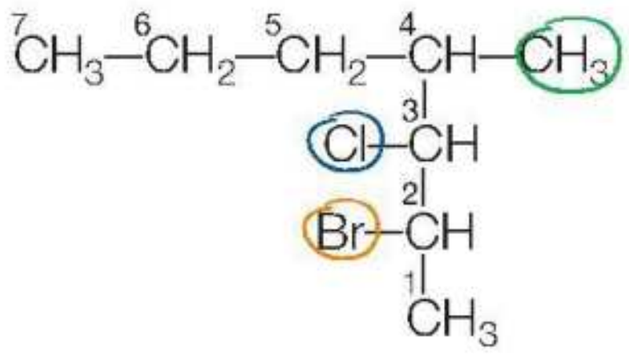
b) 

Najdłuższy łańcuch zawiera 7 atomów węgla – heptan.

2 **a)** 

Cząsteczka alkanu zawiera cztery podstawniki: **jeden atom bromu** przy 2. atomie węgla, **jedną grupę metylową** przy 3. atomie węgla oraz **dwa atomy chloru** przy 4. atomie węgla.

Nazwa systematyczna alkanu: 2-bromo-4,4-dichloro-3-metyloheksan.

b) 

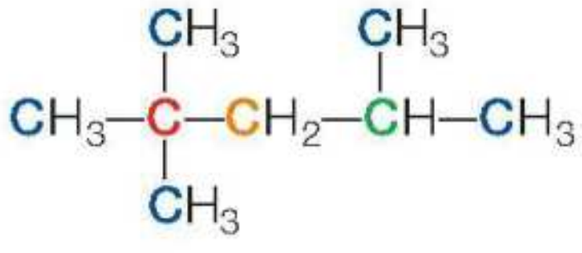
Cząsteczka alkanu zawiera trzy podstawniki: **jeden atom bromu** przy 2. atomie węgla, **jeden atom chloru** przy 3. atomie węgla oraz **jedną grupę metylową** przy 4. atomie węgla.

Nazwa systematyczna alkanu: 2-bromo-3-chloro-4-metyloheptan.

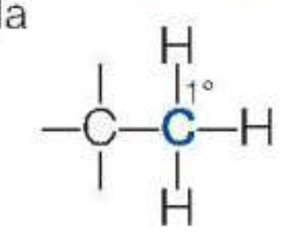
Rzędowość atomów węgla

Atomy węgla w cząsteczkach związków organicznych mogą łączyć się ze sobą w różny sposób. Liczbę atomów węgla związanych z danym atomem węgla nazywa się jego **rzędowością**. Jeśli atom węgla jest połączony tylko z jednym innym atomem węgla, to mówimy o nim, że jest **pierwszorzędowy** (1°). Analogicznie – atom węgla połączony z dwoma innymi atomami węgla jest **drugorzędowy** (2°), z trzema atomami węgla – **trzeciorzędowy** (3°), a z czterema atomami węgla – **czwartorzędowy** (4°).

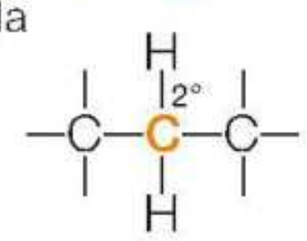
Na przykład w cząsteczce 2,2,4-trimetylopentanu jest pięć atomów węgla **pierwszorzędowych** (1°), jeden **drugorzędowy** (2°), jeden **trzeciorzędowy** (3°) i jeden **czwartorzędowy** (4°):



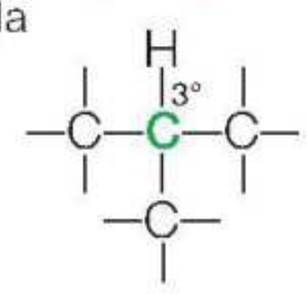
pierwszorzędowy atom węgla



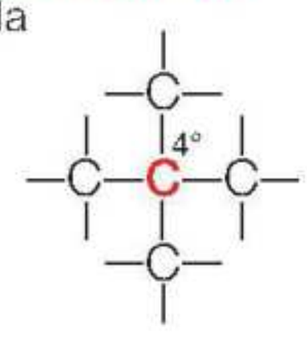
drugorzędowy atom węgla



trzeciorzędowy atom węgla



czwartorzędowy atom węgla



Przykład 8.

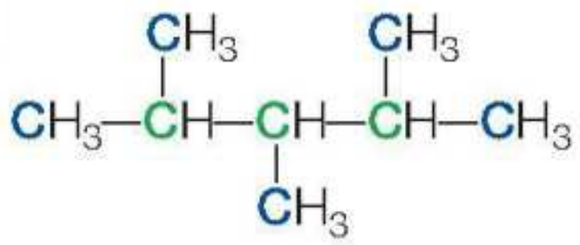
Określanie rzędowości atomów węgla

Podaj rzędowość wszystkich atomów węgla w cząsteczkach alkanów o podanych wzorach półstrukturalnych.

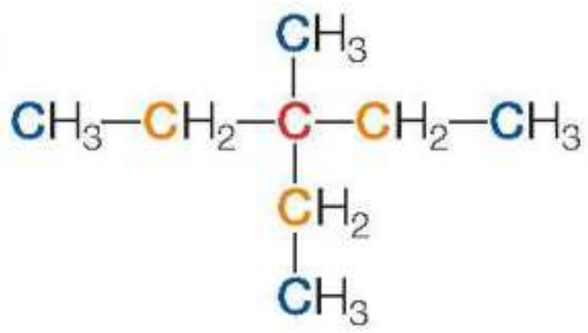
Plan rozwiązywania

1. Określ, z iloma innymi atomami węgla łączy się każdy z atomów węgla w cząsteczkach podanych alkanów.
2. Wpisz nad symbolem węgla odpowiednie oznaczenie określające rzędowość atomów węgla: 1°, 2°, 3° lub 4°.

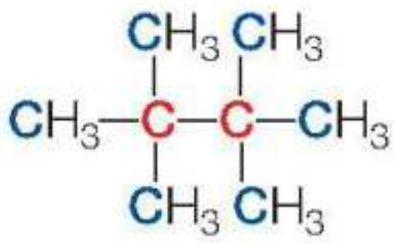
1 **a)**



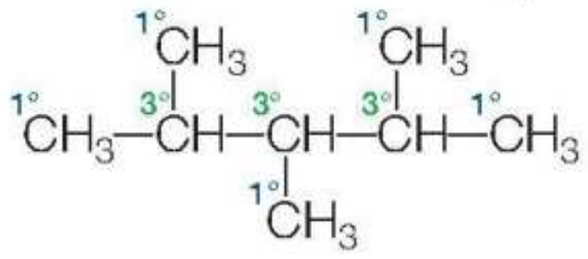
b)



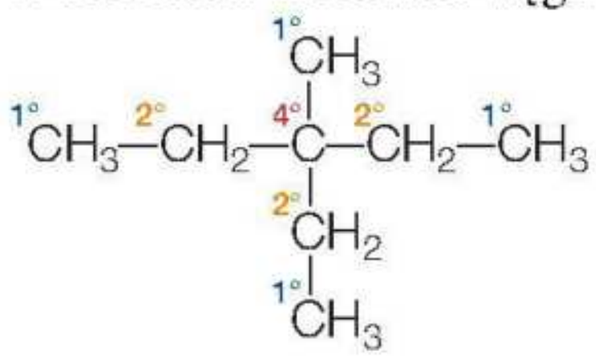
c)



2 **a)** Z jednym atomem węgla łączy się **pierwszorzędowy** atom węgla.
Z trzema atomami węgla łączy się **trzeciorzędowy** atom węgla.



b) Z jednym atomem węgla łączy się **pierwszorzędowy** atom węgla.
Z dwoma atomami węgla łączy się **drugorzędowy** atom węgla.
Z czterema atomami węgla łączy się **czwartorzędowy** atom węgla.



c) Z jednym atomem węgla łączy się **pierwszorzędowy** atom węgla.
Z czterema atomami węgla łączy się **czwartorzędowy** atom węgla.



Zastosowania

Alkany

Alkany, czyli węglowodory nasycone, są związkami powszechnie występującymi w środowisku przyrodniczym. Ropa naftowa, gaz ziemny i węgiel kamienny, które są źródłem węglowodorów, zaspokajają ok. 85% światowego zapotrzebowania energetycznego. Alkany ze względu na ich właściwości wykorzystuje się także w przemyśle, m.in. chemicznym i spożywczym, oraz w medycynie.



Przemysł chemiczny

Do produkcji **świec** stosuje się parafinę, czyli mieszaninę alkanów zwierających od 16 do 48 atomów węgla w cząsteczce.



Przemysł spożywczy

Warstwa, którą pokrywa się ser, powstaje z parafiny (mieszaniny alkanów o stałym stanie skupienia). Dzięki niej ser może oddychać, a jednocześnie jest chroniony przed wysychaniem i rozwojem pleśni.

Przemysł energetyczny

Zawartość **turystycznych butli gazowych** stanowi mieszanina alkanów – propanu oraz butanu. Natomiast metan stosuje się w piecach i kuchenkach gazowych.

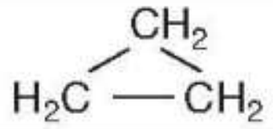
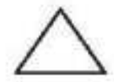
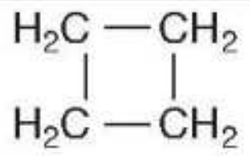
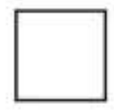
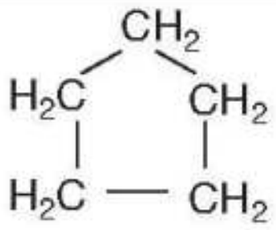
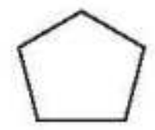
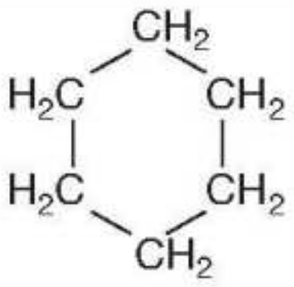
Chemia w medycynie

Głównymi składnikami **preparatów chłodzących w sprayu** są propan oraz butan. Umożliwiają rozpylenie zawartości opakowań, dlatego stosuje się je jako gazy nośne w aerozolach. Parafina ma właściwości regenerujące i nawilżające, dlatego jest wykorzystywana w emulsjach do kąpieli dla noworodków. Znajduje także zastosowanie w produkcji kremów chroniących przed zimnem oraz maści leczniczych.

Cykloalkany

Węglowodory nasycone o budowie pierścieniowej to **cykloalkany** (tabela 7.). W ich cząsteczkach, podobnie jak w cząsteczkach alkanów, występuje hybrydyzacja sp^3.

Tabela 7. Szereg homologiczny cykloalkanów

Nazwa i wzór sumaryczny	Liczba atomów węgla w cząsteczce	Wzór półstrukturalny	Wzór szkieletowy
cyklopropan C_3H_6	3		
cyklobutan C_4H_8	4		
cyklopentan C_5H_{10}	5		
cykloheksan C_6H_{12}	6		

Wzór ogólny cykloalkanów ma postać:

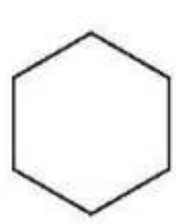
Wzór ogólny cykloalkanów ▶

$$C_nH_{2n}$$

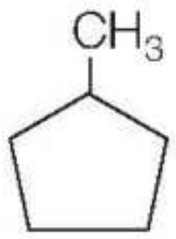
gdzie:
n – liczba atomów węgla w cząsteczce cykloalkanu.

Cykloalkany, podobnie jak alkany, występują w postaci odmian izomerycznych. Na przykład cykloalkan o wzorze sumarycznym C_6H_{12} może występować jako:

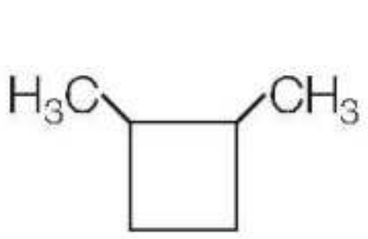
izomery C_6H_{12}



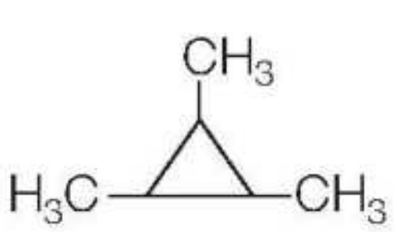
cykloheksan



metylocyklopentan

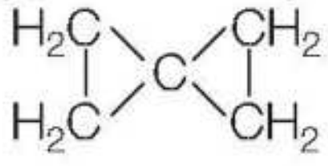


1,2-dimetylocyklobutan

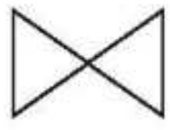


1,2,3-trimetylocyklopropan

Istnieją również cykloalkany dwupierścieniowe, np. spiropentan:



wzór półstrukturalny spiropentanu



wzór szkieletowy spiropentanu



steran

Wielopierścieniowe cykloalkany, np. **steroidy**, to związki chemiczne występujące we wszystkich organizmach roślinnych i zwierzęcych. Steroidy są pochodnymi **steranu** – czteropierścieniowego węglowodoru zbudowanego z trzech pierścieni sześcioczłonowych i jednego pięcioczłonowego.

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Napisz równanie reakcji spalania całkowitego alkanu C_nH_{2n+2} i narysuj wykres zależności między liczbą atomów wodoru w cząsteczce alkanu a liczbą cząsteczek tlenu potrzebną do przebiegu tej reakcji chemicznej.

2. Napisz wzory półstrukturalne związków chemicznych o podanych nazwach.

a) 3-chloropentan
b) 2-jodo-2-metylopropan
c) 1,1,1,3-tetrachloropropan
d) 2,3,5-tribromo-3-etylo-2,4,4-trimetyloheptan

3. Napisz nazwy systematyczne związków chemicznych o podanych wzorach półstrukturalnych. Określ rzędowość atomów węgla w każdym z nich.

a) $CH_3-\underset{\displaystyle Br}{\overset{\displaystyle Br}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{}{\underset{|}{CH}}}-CH_2-CH_3$

b) $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$

c) $CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-CH_2-CH_3$

d) $CH_3-CH_2-CH_2-\underset{\displaystyle CH_2-CH_2-CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_3$

e) $Br-\underset{\displaystyle Br}{\overset{\displaystyle Br}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-\underset{\displaystyle Cl}{\overset{}{\underset{|}{CH}}}-\underset{\displaystyle Cl}{\overset{}{\underset{|}{CH}}}-CH_3$

f) $Cl-CH_2-\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}}-CH_2-Cl$

4. Napisz wzory strukturalne wszystkich izomerów konstytucyjnych związków chemicznych o podanych wzorach sumarycznych.

a) C_5H_{12} b) C_3H_7Br c) C_4H_9Cl

5. Przedstaw mechanizm reakcji chlorowania etanu, jeśli produktem tej reakcji chemicznej jest 1,1,2-trichloroetan.

6. Napisz wzór rzeczywisty węglowodoru o masie cząsteczkowej 30 u, jeżeli w reakcji spalania całkowitego 3 g tego związku chemicznego otrzymano 8,8 g tlenku węgla(IV) i parę wodną.

7. Oblicz, ile decymetrów sześciennych powietrza (w przeliczeniu na warunki normalne) **należy użyć do całkowitego spalenia 1 dm^3 metanu.** Przyjmij, że tlen stanowi 20% objętościowych powietrza.

8. Oblicz, ile decymetrów sześciennych tlenu należy użyć do całkowitego spalenia 22,4 dm^3 mieszaniny metanu i butanu, jeżeli gazy te zmieszano w stosunku objętościowym 1 : 2.

9. Temperatura wrzenia alkanów zależy od ich budowy. Im dłuższy łańcuch węglowy, tym wyższa temperatura wrzenia alkanu. Obniżeniu temperatury wrzenia sprzyja rozgałęzienie łańcucha węglowego. **W każdej z trzech podanych par podkreśl nazwę węglowodoru o wyższej temperaturze wrzenia. Ustal, który związek spośród wszystkich wymienionych ma najwyższą temperaturę wrzenia.**

I. heptan, heksan
II. 2,3-dimetylopentan, heptan
III. heksan, 2-metylopentan

10. W zamkniętym zbiorniku o stałej objętości przebiega reakcja otrzymywania metanu zgodnie z równaniem:

$$CO_{(g)} + 3\,H_{2(g)} \longrightarrow CH_{4(g)} + H_2O_{(g)} \qquad \Delta H < 0$$

Uzupełnij zdania. Wybierz i zaznacz jedno określenie spośród podanych w każdym nawiasie.

Reakcja otrzymywania metanu jest procesem (egzotermicznym / endotermicznym), dlatego w czasie ogrzewania układu reakcyjnego wartość stałej równowagi (zmniejsza się / zwiększa się). Jeżeli w układzie będącym w stanie równowagi nastąpi wzrost ciśnienia w warunkach izotermicznych, wydajność procesu otrzymywania metanu (obniży się / nie zmieni się / wzrośnie). Jeśli w układzie wzrośnie temperatura, to szybkość reakcji otrzymywania metanu (zwiększy się / zmniejszy się / nie zmieni się).

6. Węglowodory nienasycone – alkeny



Rys. 7. Model fragmentu cząsteczki alkenu – między atomami węgla występuje wiązanie podwójne.

Alkeny to węglowodory, których cząsteczki zawierają – oprócz wiązań pojedynczych – **jedno wiązanie podwójne** między atomami węgla (rys. 7.).

Występowanie alkenów

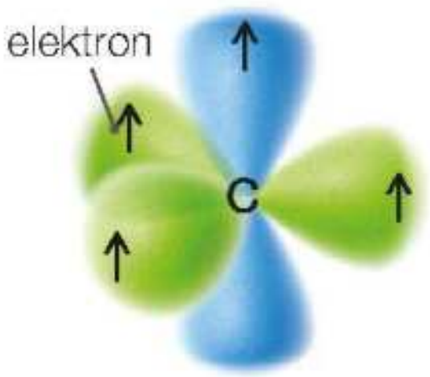
Niewiele alkenów występuje naturalnie w środowisku przyrodniczym. Częściej spotyka się związki chemiczne zawierające **więcej niż jedno wiązanie podwójne**. W wielu roślinach, m.in. w marchwi, pietruszce oraz szpinaku, występuje żółtopomarańczowy barwnik β-karoten $C_{40}H_{56}$. Innym barwnikiem jest likopen $C_{40}H_{56}$, którego obecność stwierdzono m.in. w: pomidorach (fot. 20.), grejpfrutach oraz arbuzach. Z kolei głównym składnikiem żywicy sosnowej jest alken α-pinen $C_{10}H_{16}$.



Fot. 20. Likopen nadaje pomidorom czerwoną barwę.

Hybrydyzacja orbitali atomowych węgla w cząsteczkach alkenów

Wiązanie podwójne w alkenach tworzy się, gdy orbitale atomowe węgla ulegają hybrydyzacji **trygonalnej** sp^2. Polega ona na „wymieszaniu" **orbitalu** s i **dwóch orbitali** p. W wyniku hybrydyzacji powstają trzy równocenne orbitale sp^2 (tabela 8.), których osie są skierowane ku wierzchołkom trójkąta równobocznego. Dlatego kąty między wiązaniami wynoszą 120°. Trzeci orbital p nie ulega hybrydyzacji i przyjmuje kierunek prostopadły do płaszczyzny orbitali zhybrydyzowanych (rys. 8.).

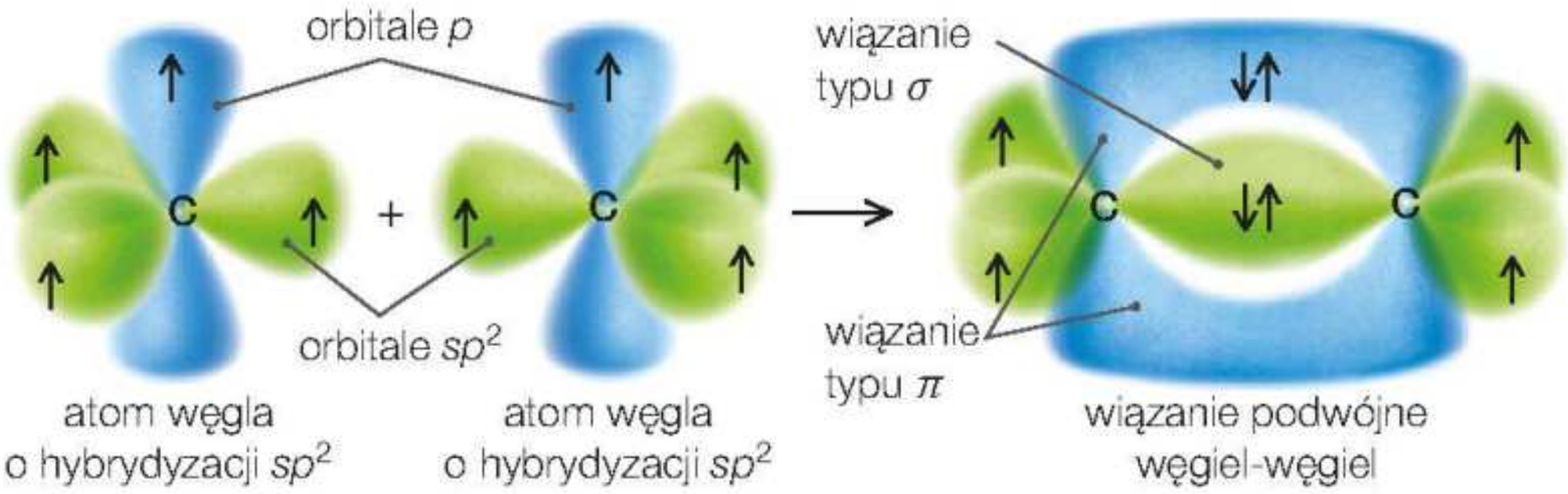


Rys. 8. Model hybrydyzacji sp^2 orbitali atomowych węgla.

Tabela 8. Hybrydyzacja orbitali atomowych węgla w cząsteczkach alkenów

Szkielet łańcucha węglowego	Hybrydyzacja		Orbitale zhybrydyzowane			
	typ	orbitale ulegające hybrydyzacji	liczba	orientacja przestrzenna	kształt	kąt
>C=C< wiązanie podwójne	sp^2	↑↓ ↑ ↑ ↑ ↑ 1 orbital *s* 2 orbitale *p*	3		trójkątny	120°

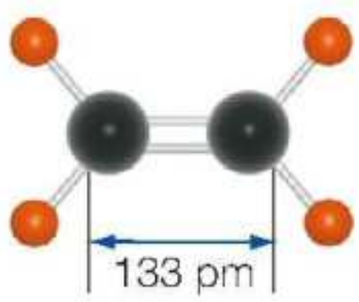
Zbliżenie dwóch atomów o tak zhybrydyzowanych orbitalach (patrz rys. 9., s. 67) powoduje czołowe przenikanie się dwóch orbitali sp^2 (powstanie orbitalu molekularnego typu σ i utworzenie wiązania typu σ) oraz boczne przenikanie niezhybrydyzowanych orbitali p (powstanie orbitalu molekularnego typu π i utworzenie wiązania typu π).



Rys. 9. Model tworzenia wiązań typu σ i typu π między atomami węgla wchodzącymi w skład cząsteczki alkenu.

Reaktywność alkenów

Długość wiązania podwójnego wynosi 133 pm, a energia wiązania jest równa 602 $\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$.



długość wiązania podwójnego: 133 pm

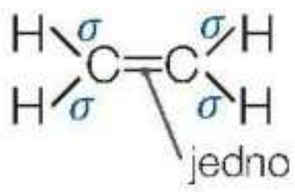
Modele atomów:
węgla wodoru

Oddziaływanie jąder atomów węgla na wiążącą je parę elektronową π jest słabsze niż na parę elektronową σ. Wiązanie typu π może więc pękać, co powoduje, że **alkeny są bardziej reaktywne niż alkany**. Ulegają reakcji spalania oraz reakcjom addycji i polimeryzacji.

Budowa cząsteczki etenu

Pierwszym alkenem w szeregu homologicznym jest **eten** C_2H_4, nazywany potocznie **etylenem**. W cząsteczce etenu dwa atomy węgla są połączone dwoma wiązaniami kowalencyjnymi, z których jedno jest typu σ, a drugie – typu π. Ponadto każdy z tych atomów łączy się z dwoma atomami wodoru wiązaniami typu σ.

Rodzaje wiązań w cząsteczce etenu



Odkrycia, które zmieniły świat – właściwości etylenu

Etylen to hormon roślinny, którego synteza zachodzi w węzłach łodyg, dojrzewających owocach i starzejących się tkankach roślin. Etylen odgrywa kluczową rolę m.in. w procesie dojrzewania owoców. Powoduje, że skrobia i kwasy znajdujące się w owocu są przekształcane w sacharydy, które nadają mu słodki smak. Przejrzałe jabłko wytwarza duże ilości etylenu. Rozprzestrzenia się on w otoczeniu i przyspiesza dojrzewanie innych owoców (fot. 21.).



Fot. 21. O tym, czy jabłka można długo przechowywać w chłodni, decyduje sprawnie działający system wentylacyjny, który usuwa zbierający się tam etylen.

Otrzymywanie etenu

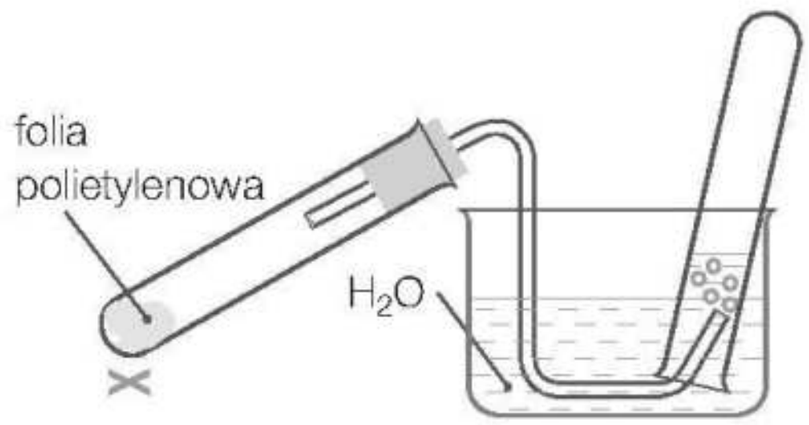
Doświadczenie 9. C_2H_4

Otrzymywanie etenu (etylenu)

Odczynniki: folia polietylenowa.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: próbówki, krystalizator, korek z rurką odprowadzającą, korki, palnik gazowy.

Instrukcja: Probówkę z kawałkami folii polietylenowej, np. worka foliowego, zamknij korkiem z rurką odprowadzającą i ogrzewaj w płomieniu palnika. Wydzielający się gaz zbieraj pod wodą do probówek (schemat). Cztery napełnione gazem probówki szczelnie zamknij korkami. Sprawdź barwę i zapach gazu w jednej z nich. Gaz zebrany w pozostałych probówkach wykorzystaj w doświadczeniu 10.



ogrzewana folia polietylenowa się topi

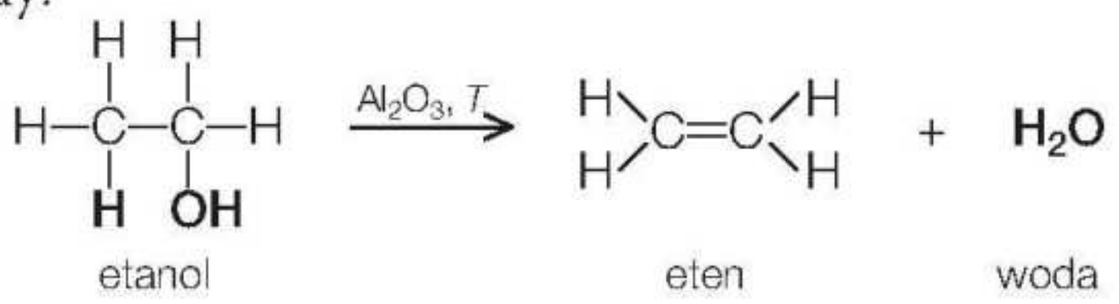


Fot. 22. Otrzymywanie etenu z folii polietylenowej.

Obserwacje: Wydziela się bezbarwny, nierozpuszczalny w wodzie gaz (fot. 22.) o charakterystycznym zapachu.

Wniosek: Gazem tym jest eten C_2H_4.

Eten można również otrzymać z etanolu w **reakcji eliminacji** cząsteczki wody:



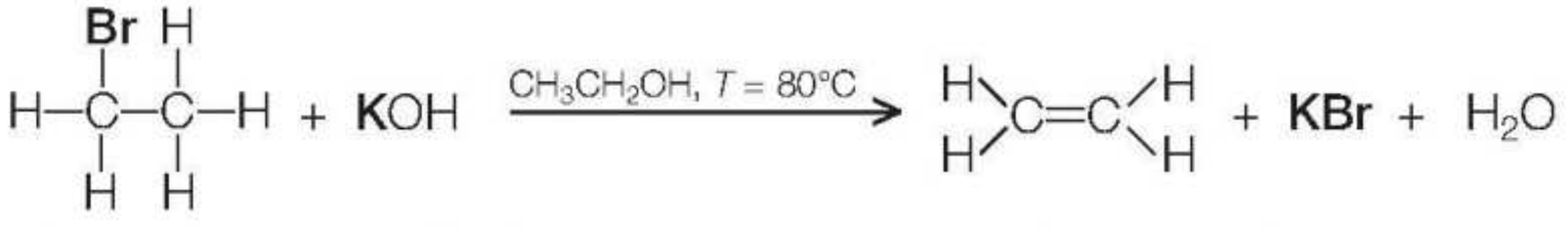
Podczas tej reakcji chemicznej ze związku nasyconego odrywa się prosta cząsteczka nieorganiczna i powstaje związek nienasycony.

Reakcja eliminacji – usunięcie atomu (lub grupy atomów) z cząsteczki związku chemicznego.

W celu przeprowadzenia reakcji eliminacji wody z cząsteczki etanolu należy do probówki, zawierającej ok. 3 cm^3 piasku zwilżonego etanolem, nasypać ok. 2 cm^3 tlenku glinu Al_2O_3. Następnie probówkę należy lekko ogrzewać. Do tego doświadczenia chemicznego można wykorzystać szkło i sprzęt laboratoryjny z doświadczenia 9., a eten odbierać w taki sam sposób.

Eten można otrzymać także w reakcji eliminacji cząsteczki bromowodoru z bromoetanu, przebiegającej zgodnie z równaniem:

eliminacja

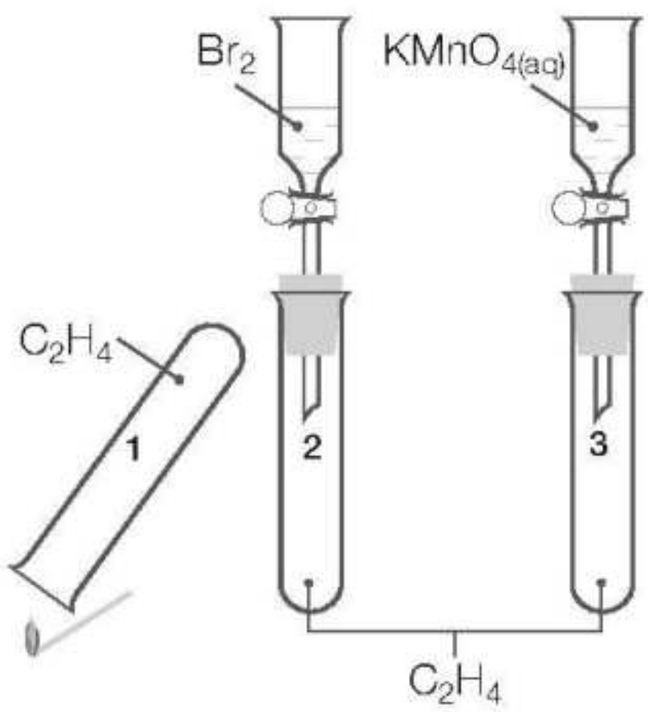


Reakcje chemiczne etenu

Doświadczenie 10. C_2H_4 C_2H_4 $KMnO_4$, Br_2 Br_2

Spalanie etenu oraz badanie zachowania etenu wobec bromu i roztworu manganianu(VII) potasu

Odczynniki: eten, roztwór bromu, wodny roztwór manganianu(VII) potasu.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: próbówki, łuczywo, korki, wkraplacze, ciemny papier.
Instrukcja: Do wykonania doświadczenia użyj etenu otrzymanego w doświadczeniu 9. Do wylotu probówki 1. zbliż płonące łuczywo, zachowując szczególną ostrożność. Do probówki 2. dodaj 2 cm^3 roztworu bromu. Zamknij probówkę korkiem, zawiń w ciemny papier i wstrząsaj. Do probówki 3. dodaj 2 cm^3 wodnego roztworu manganianu(VII) potasu (schemat), zamknij ją korkiem i wstrząsaj.



W tym doświadczeniu należy użyć roztworu fluorowca w rozpuszczalniku organicznym, np. CCl_4.

Obserwacje: Gaz z probówki 1. spala się jasnym, świecącym płomieniem. Zawartość probówki 2. odbarwia się, a w probówce 3. powstaje brunatny osad.
Wniosek: Eten ulega reakcji spalania całkowitego:

$$\underset{\text{eten}}{C_2H_4} + \underset{\text{tlen}}{3\,O_2} \longrightarrow \underset{\text{tlenek węgla(IV)}}{2\,\mathbf{CO_2}} + \underset{\text{woda}}{2\,H_2O}$$

spalanie całkowite C_2H_4

Przy ograniczonym dostępie tlenu, podobnie jak w przypadku alkanów, może zachodzić spalanie niecałkowite:

$$\underset{\text{eten}}{C_2H_4} + \underset{\text{tlen}}{2\,O_2} \longrightarrow \underset{\text{tlenek węgla(II)}}{2\,\mathbf{CO}} + \underset{\text{woda}}{2\,H_2O}$$

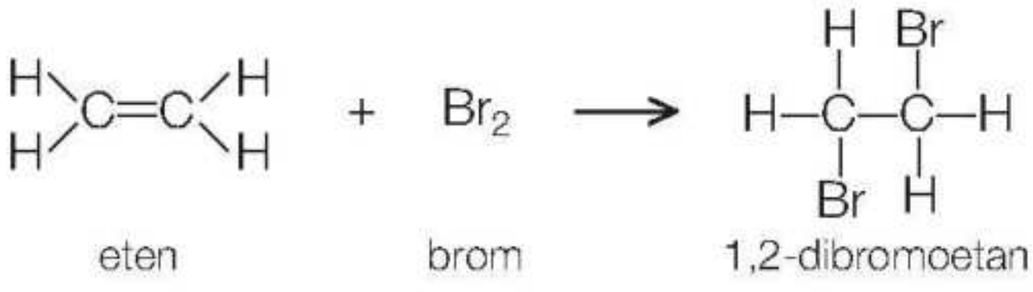
spalanie niecałkowite C_2H_4

$$\underset{\text{eten}}{C_2H_4} + \underset{\text{tlen}}{O_2} \longrightarrow \underset{\text{węgiel}}{2\,\mathbf{C}} + \underset{\text{woda}}{2\,H_2O}$$

Eten reaguje z bromem oraz manganianem(VII) potasu. Świadczy to o jego dużej reaktywności. W przypadku manganianu(VII) potasu powstaje osad tlenku manganu(IV).

Reakcja addycji – przyłączenie cząsteczki związku chemicznego lub atomu pierwiastka chemicznego do cząsteczki zawierającej wiązanie podwójne.

Bromowanie etenu przebiega w następujący sposób:

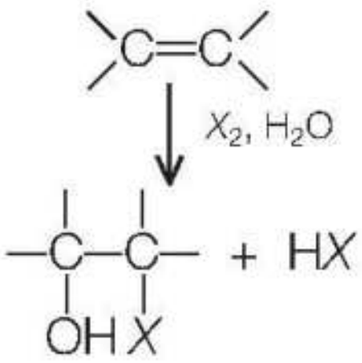


eten brom 1,2-dibromoetan

Jest to reakcja **addycji**, czyli **przyłączenia** atomów bromu do atomów węgla w cząsteczce etenu.

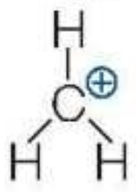
addycja Br_2

Podczas reakcji addycji Br_2 do alkenu w obecności wody przyłączane są: atom bromu —Br oraz grupa hydroksylowa —OH, np.:



Alkeny powodują odbarwienie wody bromowej.

Karbokation – kation, w którym ładunek dodatni jest zlokalizowany na jednym lub kilku atomach węgla, np.



Oznaczenie karbokationu: ⊕

Elektrofil (akceptor pary elektronowej) – kation lub cząsteczka – przyjmuje parę elektronową i tworzy nowe wiązanie chemiczne.

Nukleofil (donor pary elektronowej) – anion lub cząsteczka – przekazuje wolną parę elektronową w celu utworzenia wiązania chemicznego.

addycja H_2

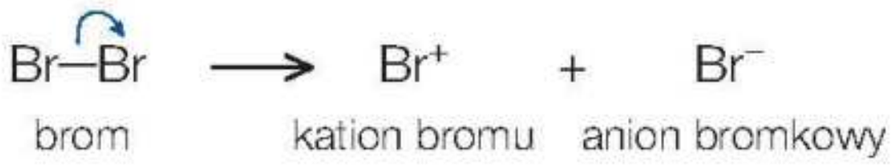
Wiązanie typu π w cząsteczce etenu jest słabsze od wiązania typu σ. Łatwo pęka, a uwolnione w ten sposób elektrony są wykorzystywane do przyłączenia atomów bromu do atomów węgla w cząsteczce etenu. W wyniku czego powstaje związek chemiczny – 1,2-dibromoetan.

Zapisane równanie reakcji addycji przedstawia tylko substraty i końcowy produkt. **Nie można z niego odczytać rzeczywistego przebiegu mechanizmu reakcji chemicznej.** Reakcja addycji bromu do etenu nie wymaga działania światła ani temperatury.

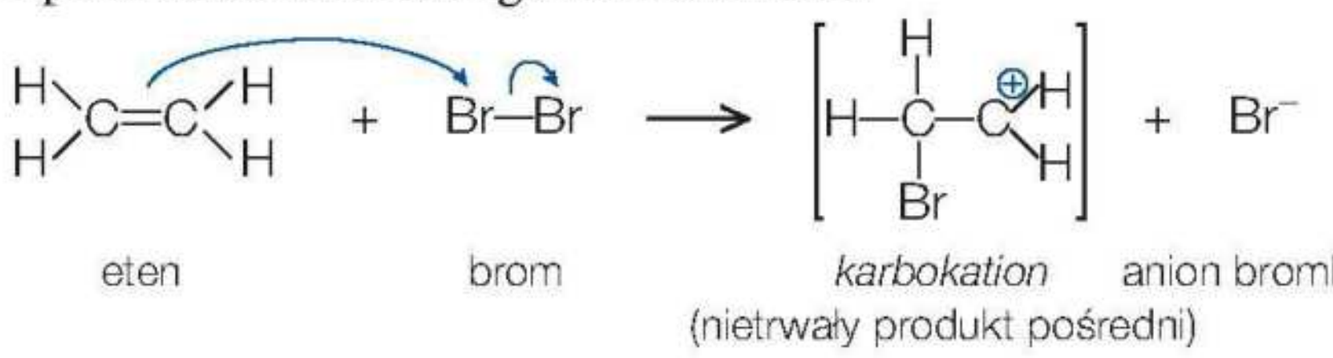
Mechanizm addycji elektrofilowej

Reakcja addycji bromu do etenu przebiega w dwóch etapach:

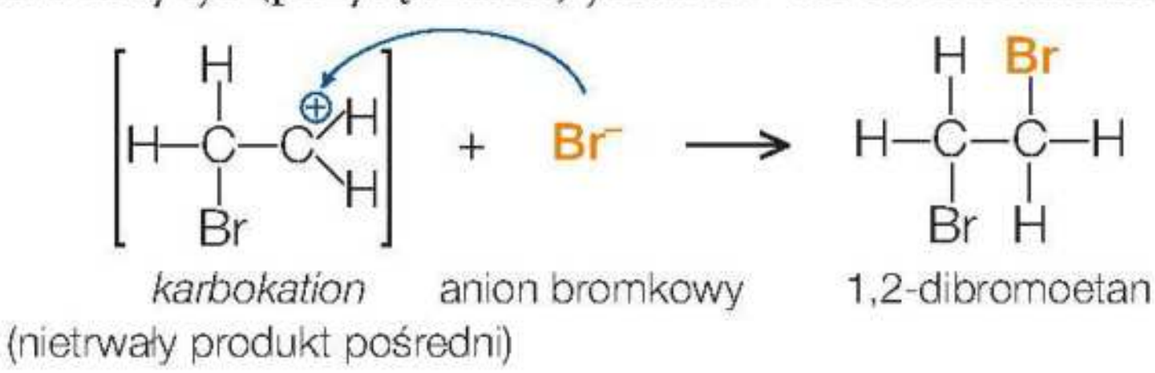
Etap I. Rozpad wiązania kowalencyjnego w cząsteczce bromu pod wpływem wiązania podwójnego o dużym zagęszczeniu elektronów w cząsteczce etenu i powstanie dwóch jonów bromu (kationu bromu i anionu bromkowego):



Następnie **addycja (przyłączenie) jonu Br^+** do elektronów π w cząsteczce etenu i powstanie nietrwałego karbokationu:



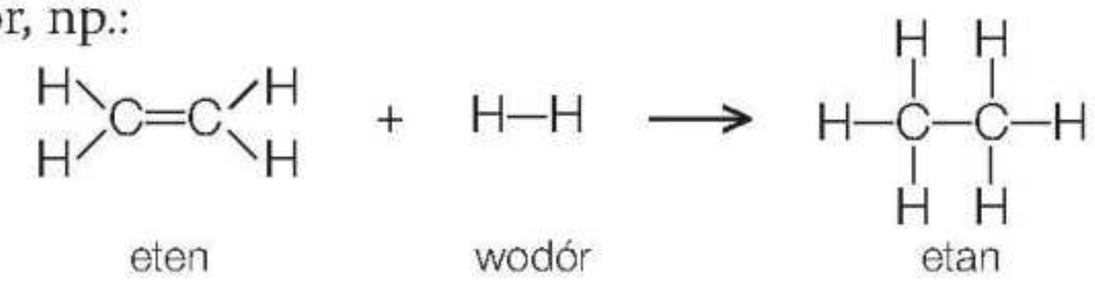
Etap II. Addycja (przyłączenie) jonu Br^- do karbokationu:



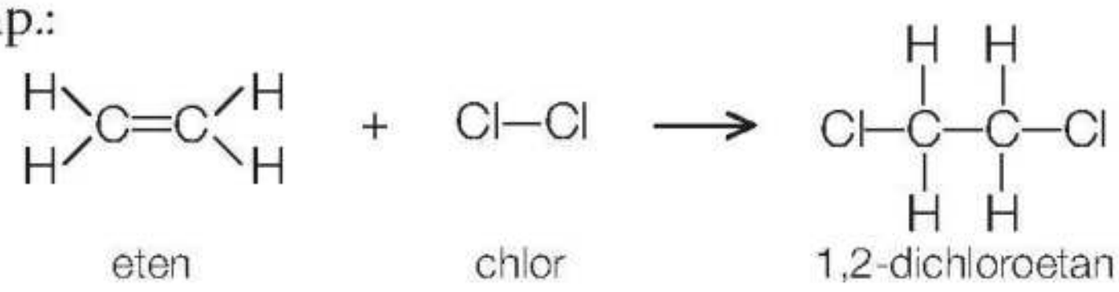
Przyłączenie fluorowców do alkenów jest przykładem reakcji **addycji elektrofilowej**. W tej reakcji kationy, np.: H^+, NH_4^+, Cl^+, Br^+, oraz związki chemiczne z luką elektronową, np. $AlCl_3$, są akceptorami pary elektronowej, tzw. **elektrofilami**. W reakcji addycji elektrofilowej elektrony π wiązania wielokrotnego są wykorzystane do przyłączenia elektrofila. Następnie powstały karbokation wiąże się z **nukleofilem**. W reakcji bromowania etenu jest nim jon Br^-.

Cząsteczki alkenów mogą także przyłączać inne cząsteczki, m.in.:

a) wodór, np.:

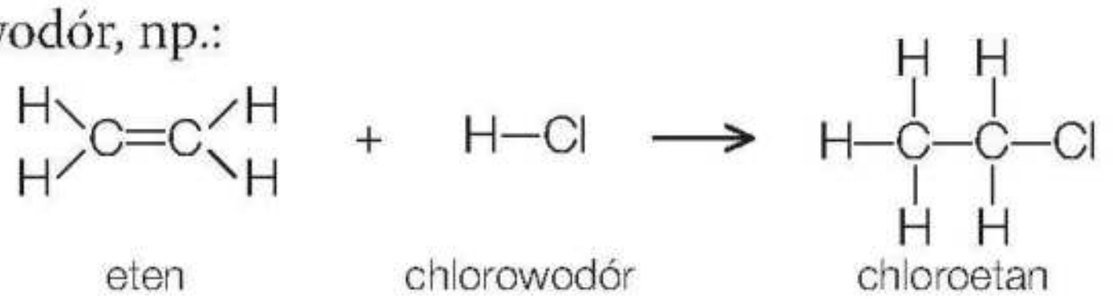


b) chlor, np.:



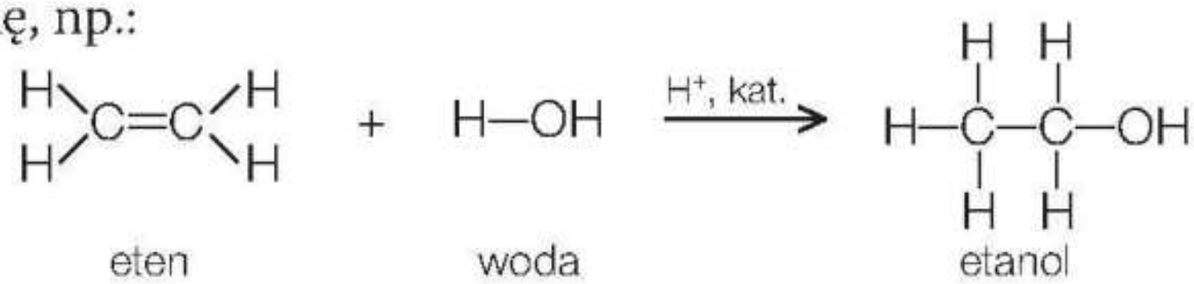
addycja Cl_2

c) chlorowodór, np.:



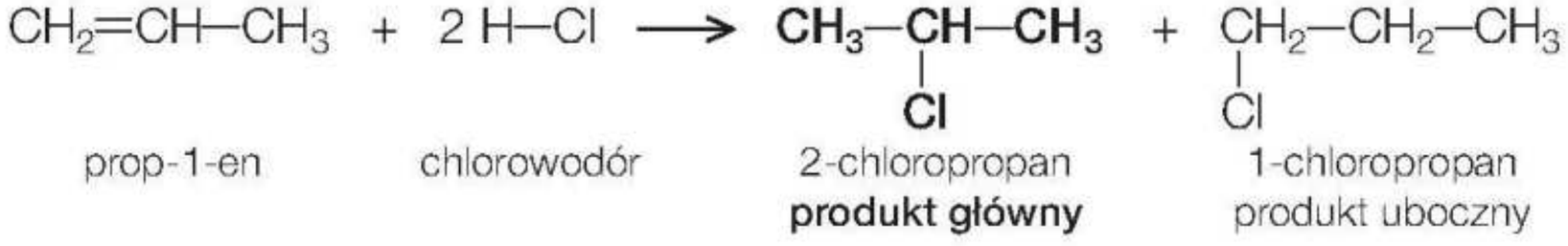
addycja HCl

d) wodę, np.:



addycja H_2O

Produktami tych reakcji chemicznych są związki nasycone. W reakcjach addycji do niesymetrycznych cząsteczek alkenów cząsteczek typu *HX*, gdzie *X* to np.: Cl, Br, I, OH, **atom wodoru** cząsteczki *HX* **przyłącza się do atomu węgla związanego z większą liczbą atomów wodoru zgodnie z regułą Markownikowa**. Powstaje w ten sposób **produkt główny**. Natomiast w reakcji addycji można otrzymać także **produkt uboczny**, który powstaje niezgodnie z regułą Markownikowa oraz w mniejszej ilości od produktu głównego:



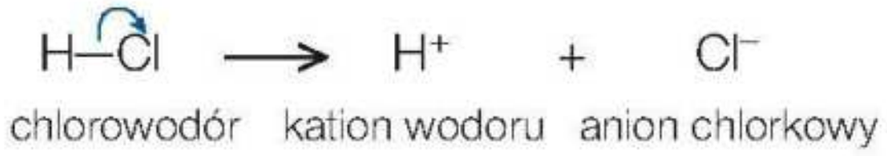
cząsteczka symetryczna
$CH_2{=}CH_2$

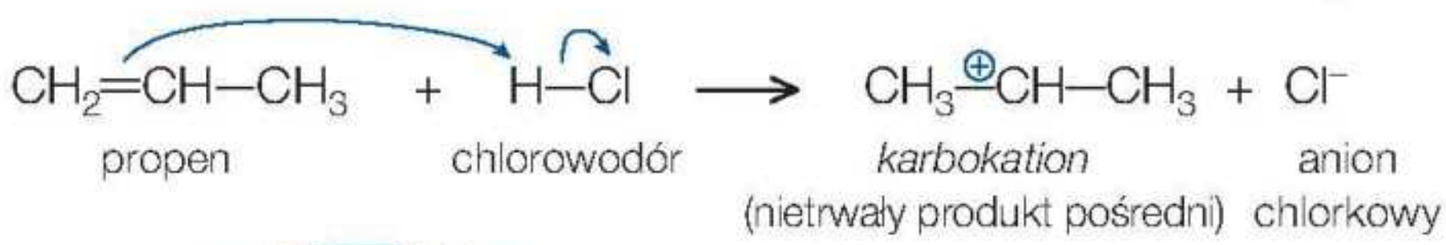
cząsteczka niesymetryczna
$CH_2{=}CH{-}CH_3$

Reguła Markownikowa – podczas addycji cząsteczek *HX* do alkenu o budowie niesymetrycznej atom wodoru cząsteczki *HX* przyłącza się do atomu węgla, który jest związany z większą liczbą atomów wodoru.

Reakcja propenu z chlorowodorem jest przykładem reakcji addycji elektrofilowej. Najpierw tworzy się karbokation, który następnie przyłącza anion Cl^- (nukleofil):

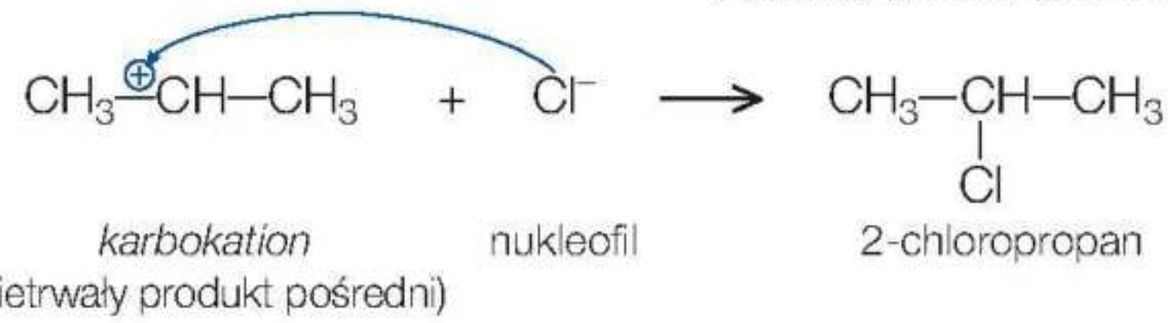
Etap I.





Elektrofil: H^+

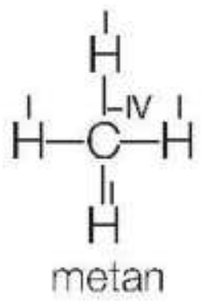
Etap II.

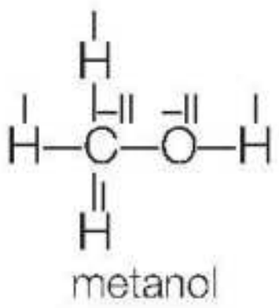


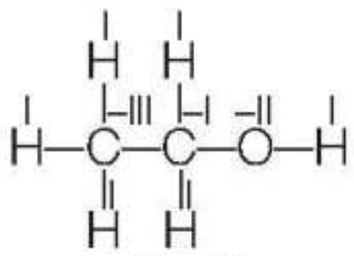
Nukleofil: Cl^-

Reakcje utleniania-redukcji z udziałem związków organicznych

Reakcja etenu z manganianem(VII) potasu (patrz doświadczenie 10., s. 69) jest reakcją utleniania-redukcji przebiegającą ze zmianą stopni utlenienia atomów węgla. Dobieranie współczynników stechiometrycznych tej reakcji chemicznej odbywa się podobnie jak w przypadku związków nieorganicznych.


metan

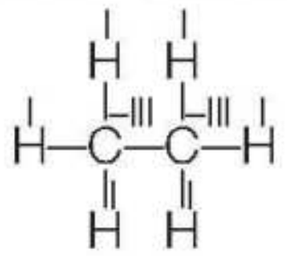

metanol

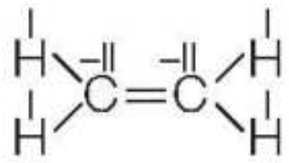

etanol

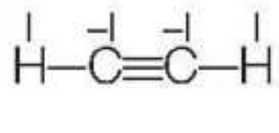
Stopnie utlenienia poszczególnych **atomów węgla w związkach organicznych** ustala się według następujących zasad:

Zasada 1. Suma stopni utlenienia w cząsteczce związku organicznego wynosi 0. Wiązanie z atomem wodoru powoduje obniżenie o jeden stopnia utlenienia danego atomu węgla. Zatem **atom węgla w metanie ma stopień utlenienia –IV**.

Zasada 2. Wiązanie z innym atomem węgla nie wpływa na stopień utlenienia danego atomu węgla, ponieważ w cząsteczkach związków organicznych stopnie utlenienia atomów węgla ustala się oddzielnie dla każdego z nich, np.:


etan


eten


etyn

Zasada 3. Każde pojedyncze wiązanie atomu węgla z niemetalem (fluorowcem, tlenem, azotem, siarką) podwyższa o jeden stopień utlenienia danego atomu węgla. Dlatego np. w cząsteczce metanolu stopień utlenienia atomu węgla wynosi –II. W cząsteczce etanolu atom węgla w grupie metylowej $-CH_3$ ma stopień utlenienia –III, zaś w grupie $-CH_2-OH$ stopień utlenienia atomu węgla wynosi –I.

Plan rozwiązywania

1. Napisz równanie reakcji chemicznej.
2. Określ stopnie utlenienia pierwiastków chemicznych w substratach i produktach.
3. Ustal liczby elektronów oddanych i przyjętych w reakcji redoks oraz wskaż reduktor i utleniacz.
4. Zapisz równania reakcji utleniania-redukcji z uwzględnieniem obliczonych współczynników stechiometrycznych.
5. Sprawdź, czy współczynniki stechiometryczne zostały ustalone poprawnie.

Przykład 9.

Ustalanie współczynników stechiometrycznych w równaniu reakcji utleniania-redukcji z udziałem związków organicznych metodą bilansu elektronowego

Ustal metodą bilansu elektronowego współczynniki stechiometryczne w równaniu reakcji etenu z manganianem(VII) potasu. Rozpocznij od ustalenia, które pierwiastki chemiczne zmieniły stopień utlenienia.

1. $MnO_4^- + H_2C{=}CH_2 + H_2O \longrightarrow H_2C(OH){-}CH_2(OH) + MnO_2 + OH^-$

2. $\overset{\text{VII}\ -\text{II}}{MnO_4^-} + \overset{\text{I}\ -\text{II}\quad -\text{II}\ \text{I}}{H_2C{=}CH_2} + \overset{\text{I}\ -\text{II}}{H_2O} \longrightarrow \overset{\text{I}\ -\text{I}\quad -\text{I}\ \text{I}}{H_2C(OH){-}CH_2(OH)} + \overset{\text{IV}\ -\text{II}}{MnO_2} + \overset{-\text{II}\ \text{I}}{OH^-}$

3. $\overset{-\text{II}}{2\,C} \longrightarrow \overset{-\text{I}}{2\,C} + 2e^- \quad |\cdot 3$

   $\overset{-\text{II}}{6\,C} \longrightarrow \overset{-\text{I}}{6\,C} + 6e^-$

   $\overset{\text{VII}}{Mn} + 3e^- \longrightarrow \overset{\text{IV}}{Mn} \quad |\cdot 2$

   $\overset{\text{VII}}{2\,Mn} + 6e^- \longrightarrow \overset{\text{IV}}{2\,Mn}$

4. utlenianie

   $\overset{\text{VII}\ -\text{II}}{2\,MnO_4^-} + 3\,\overset{\text{I}\ -\text{II}\quad -\text{II}\ \text{I}}{H_2C{=}CH_2} + 4\,\overset{\text{I}\ -\text{II}}{H_2O} \longrightarrow 3\,\overset{\text{I}\ -\text{I}\quad -\text{I}\ \text{I}}{H_2C(OH){-}CH_2(OH)} + 2\,\overset{\text{IV}\ -\text{II}}{MnO_2} + 2\,\overset{-\text{II}\ \text{I}}{OH^-}$

   utleniacz — reduktor

   redukcja

patrz s. 73

5 Należy sprawdzić, czy liczba atomów danego pierwiastka chemicznego wchodzących w skład substratów jest równa liczbie atomów tego pierwiastka chemicznego wchodzących w skład produktów reakcji redoks.

równanie reakcji chemicznej

substraty	**produkty**
Mn: 2	Mn: 2
O: 12	O: 12
H: 20	H: 20
C: 6	C: 6

Przykład 10.

Ustalanie współczynników stechiometrycznych w równaniu reakcji utleniania-redukcji z udziałem związków organicznych (zapis jonowo-elektronowy)

Napisz w formie jonowej z uwzględnieniem liczby pobieranych i oddawanych elektronów (zapis jonowo-elektronowy) równania reakcji redukcji i utleniania zachodzących podczas reakcji etenu z manganianem(VII) potasu. Ustal współczynniki stechiometryczne.

Plan rozwiązywania

1 Napisz równanie reakcji chemicznej i określ stopnie utlenienia pierwiastków chemicznych w substratach i produktach oraz ustal pierwiastki chemiczne, których stopień utlenienia się zmienia.

2 Napisz schemat redukcji MnO_4^- do MnO_2 oraz schemat utleniania C_2H_4 do $C_2H_4(OH)_2$.

3 Ułóż bilans ładunków w procesach redukcji i utleniania oraz uzgodnij równania reakcji redukcji i utleniania.

4 Napisz połówkowe równania reakcji utleniania i redukcji.

5 Napisz sumaryczne równanie reakcji chemicznej z uwzględnieniem współczynników stechiometrycznych.

1

$$\overset{\text{VII}\ -\text{II}}{\mathbf{Mn}O_4^-} + \overset{\text{I}\ -\text{II}\quad -\text{II}\ \text{I}}{H_2\mathbf{C}{=}\mathbf{C}H_2} + \overset{\text{I}\ -\text{II}}{H_2O} \longrightarrow \overset{\text{I}\ -\text{I}\quad -\text{I}\ \text{I}}{H_2\mathbf{C}{-}\mathbf{C}H_2} + \overset{\text{IV}\ -\text{II}}{\mathbf{Mn}O_2} + \overset{-\text{II}\ \text{I}}{OH^-}$$

$$\begin{matrix} & & -\text{III}\ \text{I} & -\text{III}\ \text{I} \\ & & OH & OH \end{matrix}$$

2

$$\overset{\text{VII}}{MnO_4^-} + 3e^- \longrightarrow \overset{\text{IV}}{MnO_2}$$

$$\overset{-\text{II}\quad -\text{II}}{H_2C{=}CH_2} \longrightarrow \overset{-\text{I}\quad -\text{I}}{H_2C{-}CH_2} + 2e^-$$

$$\begin{matrix} & & -\text{III}\ \text{I} & -\text{III}\ \text{I} \\ & & OH & OH \end{matrix}$$

3

$$\overset{\text{VII}}{MnO_4^-} + 3e^- + 2\,H_2O \longrightarrow \overset{\text{IV}}{MnO_2} + 4\,OH^- \quad |\cdot 2$$

$$\overset{-\text{II}\quad -\text{II}}{H_2C{=}CH_2} + 2\,OH^- \longrightarrow \overset{-\text{I}\quad -\text{I}}{H_2C{-}CH_2} + 2e^- \quad |\cdot 3$$

$$\begin{matrix} & & -\text{III}\ \text{I} & -\text{III}\ \text{I} \\ & & OH & OH \end{matrix}$$

4

$$\overset{\text{VII}}{2\,MnO_4^-} + 6e^- + 4\,H_2O \longrightarrow \overset{\text{IV}}{2\,MnO_2} + 8\,OH^-$$

$$\overset{-\text{II}\quad -\text{II}}{3\,H_2C{=}CH_2} + 6\,OH^- \longrightarrow \overset{-\text{I}\quad -\text{I}}{3\,H_2C{-}CH_2} + 6e^-$$

$$\begin{matrix} & & -\text{III}\ \text{I} & -\text{III}\ \text{I} \\ & & OH & OH \end{matrix}$$

5

$$\overset{\text{VII}\ -\text{II}}{2\,MnO_4^-} + \overset{\text{I}\ -\text{II}\quad -\text{II}\ \text{I}}{3\,H_2C{=}CH_2} + \overset{\text{I}\ -\text{II}}{4\,H_2O} \longrightarrow \overset{\text{I}\ -\text{I}\quad -\text{I}\ \text{I}}{3\,H_2C{-}CH_2} + \overset{\text{IV}\ -\text{II}}{2\,MnO_2} + \overset{-\text{II}\ \text{I}}{2\,OH^-}$$

$$\begin{matrix} & & -\text{III}\ \text{I} & -\text{III}\ \text{I} \\ & & OH & OH \end{matrix}$$

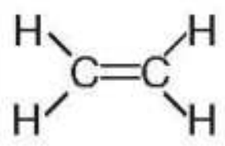
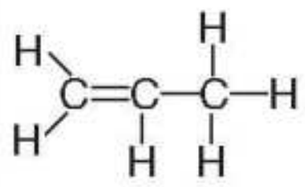
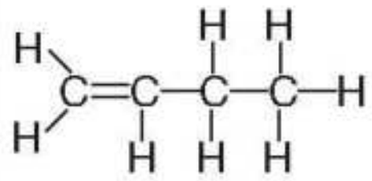
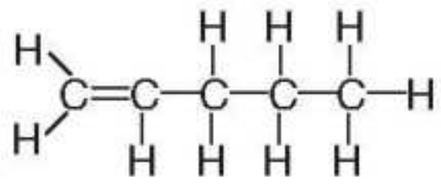
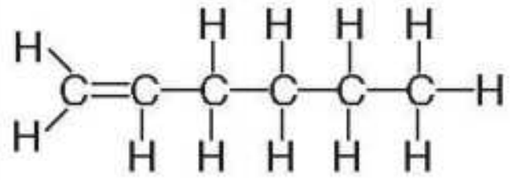
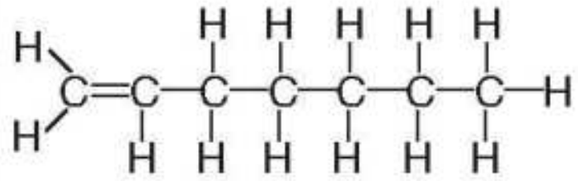
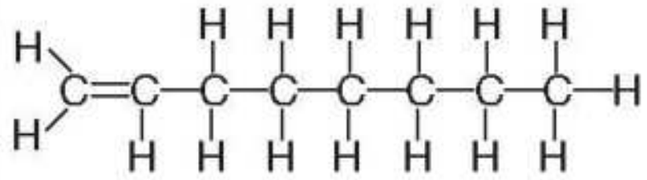
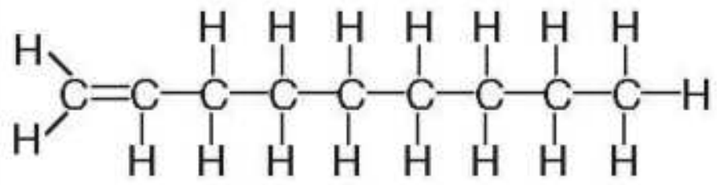
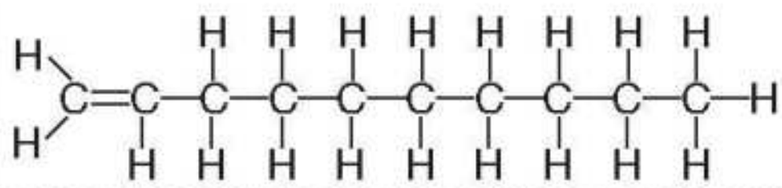
Szereg homologiczny alkenów

Alkeny tworzą szereg homologiczny (tabela 9.) o wzorze ogólnym:

Wzór ogólny alkenów ▶ C_nH_{2n}

gdzie:
n – liczba atomów węgla w cząsteczce alkenu.

Tabela 9. Szereg homologiczny alkenów

Liczba atomów węgla w cząsteczce	Nazwa		
		sumaryczny	strukturalny
2	eten	C_2H_4	
3	propen	C_3H_6	
4	but-1-en	C_4H_8	
5	pent-1-en	C_5H_{10}	
6	heks-1-en	C_6H_{12}	
7	hept-1-en	C_7H_{14}	
8	okt-1-en	C_8H_{16}	
9	non-1-en	C_9H_{18}	
10	dek-1-en	$C_{10}H_{20}$	

Stan skupienia alkenów, podobnie jak u alkanów, zmienia się w szeregu homologicznym. W warunkach normalnych pierwsze trzy alkeny, zawierające od 2 do 4 atomów węgla w cząsteczce, są gazami.

Alkeny mające od 5 do 13 atomów węgla w cząsteczce są cieczami, a zawierające w cząsteczce co najmniej 14 atomów węgla – substancjami stałymi. W szeregu homologicznym alkenów wraz ze zwiększaniem się liczby atomów węgla w cząsteczce zwiększają się temperatura wrzenia, temperatura topnienia oraz gęstość.

Stany skupienia alkenów:
$2 \leq n \leq 4$ **gazy**
$5 \leq n \leq 13$ **ciecze**
$n \geq 14$ **substancje stałe**
gdzie:
n – liczba atomów węgla w cząsteczce alkenu.

Wzór		
półstrukturalny	grupowy	szkieletowy (kreskowy)
$CH_2{=}CH_2$	CH_2CH_2	
$CH_2{=}CH{-}CH_3$	CH_2CHCH_3	
$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_3$	$CH_2CHCH_2CH_3$	
$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	$CH_2CH(CH_2)_2CH_3$	
$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	$CH_2CH(CH_2)_3CH_3$	
$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	$CH_2CH(CH_2)_4CH_3$	
$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	$CH_2CH(CH_2)_5CH_3$	
$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	$CH_2CH(CH_2)_6CH_3$	
$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	$CH_2CH(CH_2)_7CH_3$	

Izomeria konstytucyjna alkenów

Izomeria konstytucyjna alkenów wynika nie tylko z różnej budowy łańcucha węglowodorowego (prosty, rozgałęziony) oraz innego rozmieszczenia podstawników, lecz także z odmiennego usytuowania wiązania podwójnego. W cząsteczkach alkenów, oprócz izomerii konstytucyjnej, występuje też **izomeria *cis-trans***, która zostanie omówiona w dalszej części podręcznika (patrz s. 122–125).

Nazewnictwo alkenów

Nazwy alkenów tworzy się od nazw alkanów, zmieniając końcówkę **-an** na **-en**. Zasady tworzenia nazw alkenów są podobne jak w przypadku alkanów.

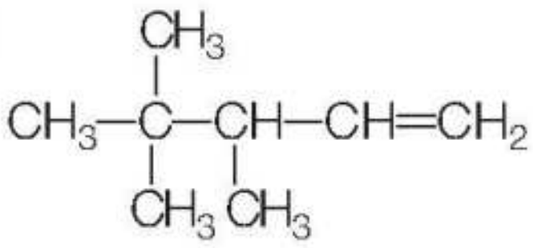
Należy rozpocząć od znalezienia najdłuższego łańcucha węglowego (łańcucha głównego). Jeśli zawiera on wiązanie podwójne, to atomy węgla w cząsteczce trzeba ponumerować – w ten sposób, aby pierwszy atom węgla tworzący wiązanie podwójne miał jak najniższy numer. Lokant ten umieszcza się po podstawie, a przed końcówką nazwy alkenu.

Przykład 11.

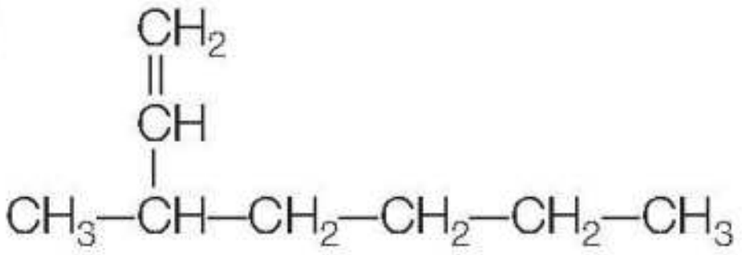
Ustalanie nazw systematycznych alkenów

Napisz nazwy systematyczne alkenów o podanych wzorach półstrukturalnych.

a)



b)

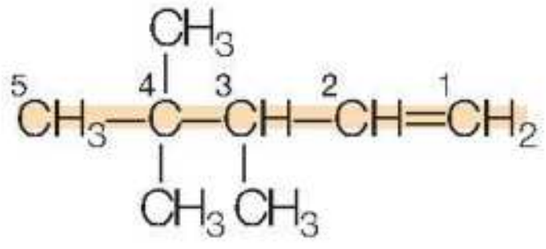


Plan rozwiązywania

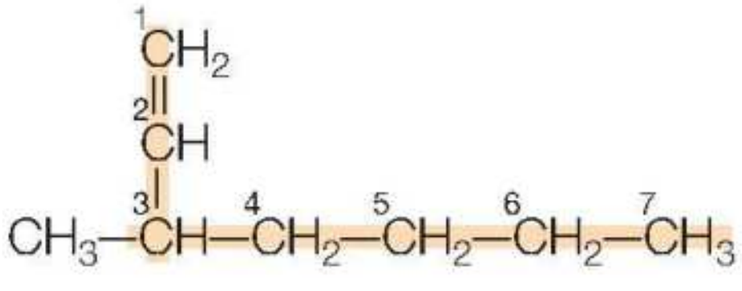
1 Wyznacz najdłuższy łańcuch węglowy i ponumeruj atomy węgla w łańcuchu, uwzględniając położenie wiązania podwójnego, oraz ustal podstawę nazwy alkenu.

2 Ustal rodzaj i położenie podstawników oraz zapisz nazwę systematyczną alkenu.

a) Najdłuższy łańcuch węglowy zawiera 5 atomów węgla, a wiązanie podwójne znajduje się między 1. a 2. atomem węgla – **pent-1-en**.

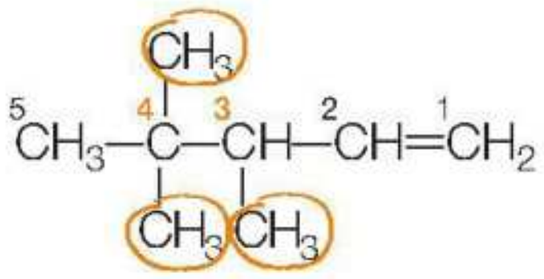


b) Najdłuższy łańcuch węglowy zawiera 7 atomów węgla, a wiązanie podwójne znajduje się między 1. a 2. atomem węgla – **hept-1-en**.



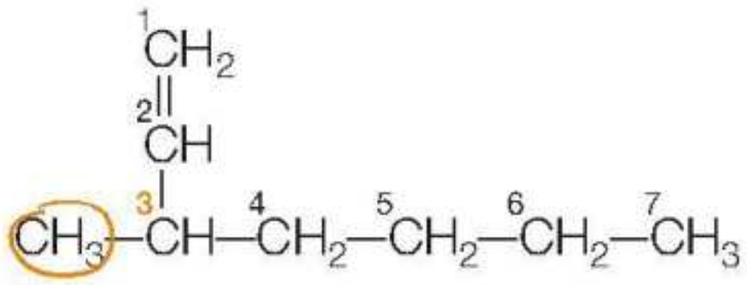
patrz s. 77

2 **a)** Cząsteczka zawiera trzy podstawniki – **trzy grupy metylowe** – jedną przy 3. atomie węgla i dwie przy 4.



Nazwa alkenu: 3,4,4-trimetylopent-1-en.

b) Cząsteczka zawiera jeden podstawnik – **jedną grupę metylową** przy 3. atomie węgla.



Nazwa alkenu: 3-metylohept-1-en.

Przykład 12.

Zapisywanie wzorów półstrukturalnych alkenów o znanych nazwach systematycznych

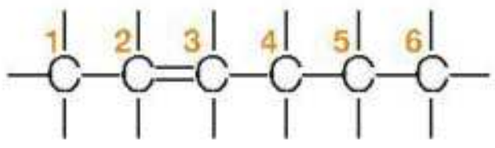
Napisz wzory półstrukturalne alkenów o podanych nazwach systematycznych.

a) 3,4-dimetyloheks-2-en

b) 4-etylo-3-metylohept-3-en

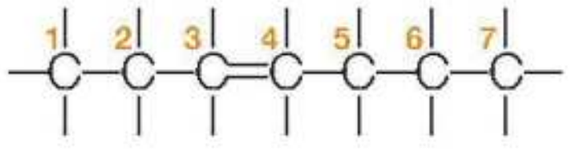
1 **a)** 3,4-dimetylo**heks-2-en**

Podstawą tworzonej nazwy jest **heks-2-en** – najdłuższy łańcuch zawiera 6 atomów węgla. Wiązanie podwójne znajduje się między 2. a 3. atomem węgla.



b) 4-etylo-3-metylo**hept-3-en**

Podstawą tworzonej nazwy jest **hept-3-en** – najdłuższy łańcuch zawiera 7 atomów węgla. Wiązanie podwójne znajduje się między 3. a 4. atomem węgla.



Plan rozwiązywania

1 Ustal podstawę nazwy alkenu, napisz główny łańcuch węglowy o odpowiedniej liczbie atomów węgla i ponumeruj atomy węgla, uwzględniając położenie wiązania podwójnego.

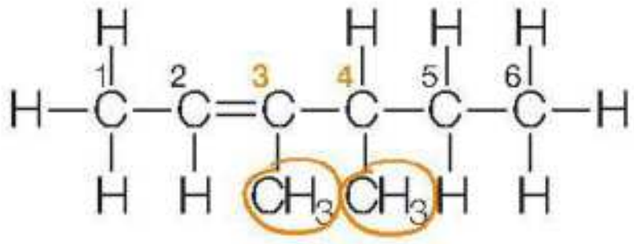
2 Napisz wzory podstawników przy odpowiednich atomach węgla i dopisz brakujące atomy wodoru.

3 Napisz wzór półstrukturalny alkenu.

patrz s. 78

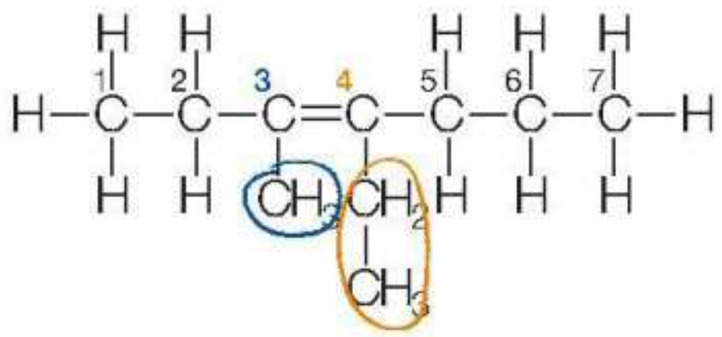
2 **a)** **3,4-dimetylo**heks-2-en

Cząsteczka alkenu zawiera dwa podstawniki: **dwie grupy metylowe** – jedną przy 3. atomie węgla i jedną przy 4.

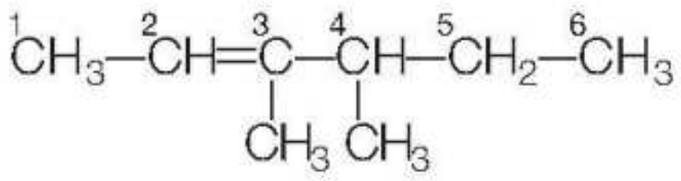


b) **4-etylo-3-metylo**hept-3-en

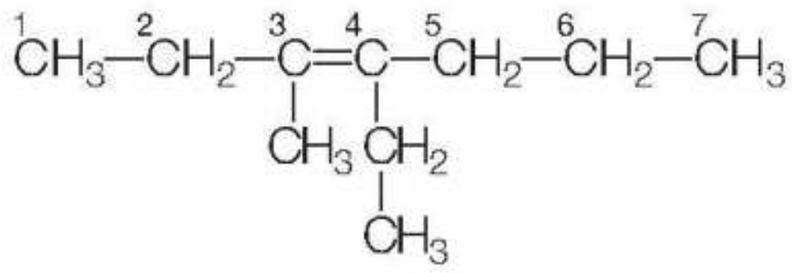
Cząsteczka alkenu zawiera dwa podstawniki: **jedną grupę etylową** przy 4. atomie węgla i **jedną grupę metylową** przy 3. atomie węgla.



3 **a)** 3,4-dimetyloheks-2-en



b) 4-etylo-3-metylohept-3-en

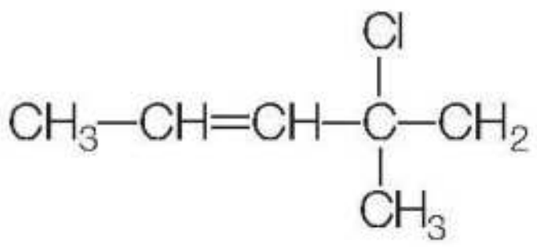


Przykład 13.

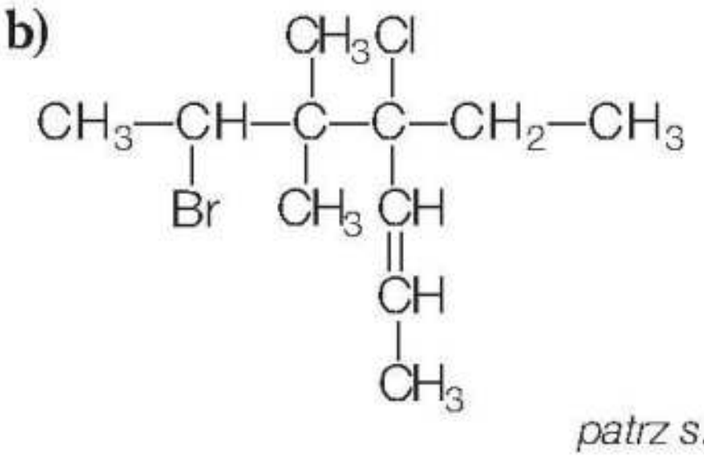
Ustalanie nazw systematycznych alkenów zawierających atomy fluorowców w cząsteczkach

Napisz nazwy systematyczne związków chemicznych o podanych wzorach półstrukturalnych.

a)



b)



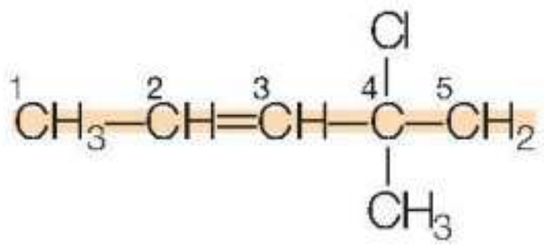
patrz s. 79

Plan rozwiązywania

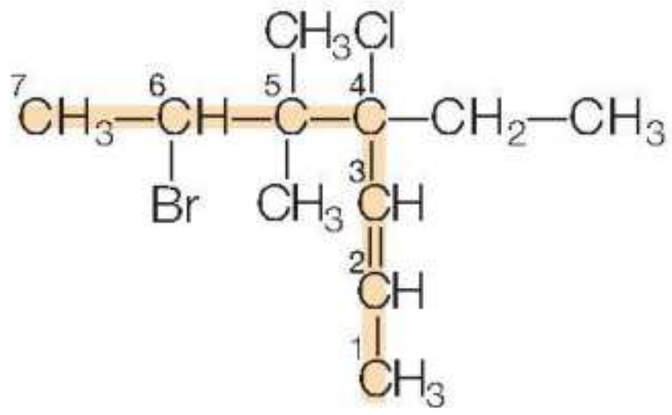
1 Wyznacz najdłuższy łańcuch węglowy, ponumeruj atomy węgla, uwzględniając położenie wiązania podwójnego, oraz podaj podstawę nazwy alkenu.

2 Ustal położenie podstawników i podaj nazwę systematyczną alkenu.

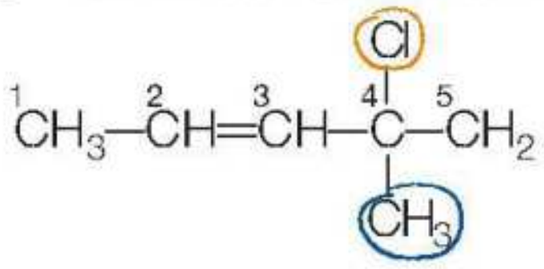
1 **a)** Najdłuższy łańcuch zawiera 5 atomów węgla, a wiązanie podwójne znajduje się między 2. a 3. atomem węgla – **pent-2-en**.



b) Najdłuższy łańcuch zawiera 7 atomów węgla, a wiązanie podwójne znajduje się między 2. a 3. atomem węgla – **hept-2-en**.

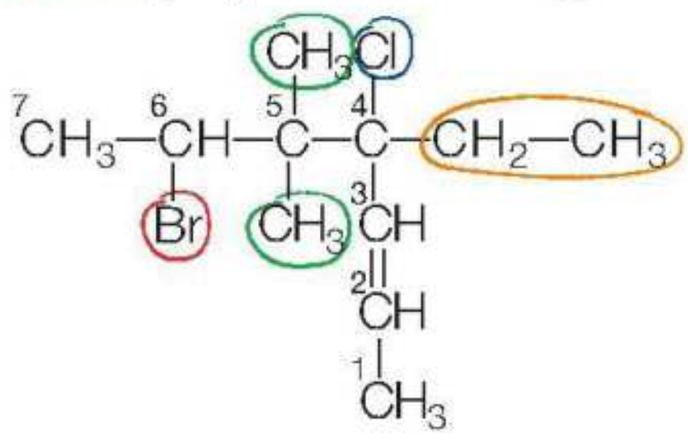


2 **a)** Cząsteczka alkenu zawiera dwa podstawniki: **jeden atom chloru** przy 4. atomie węgla i **jedną grupę metylową** przy 4. atomie węgla.



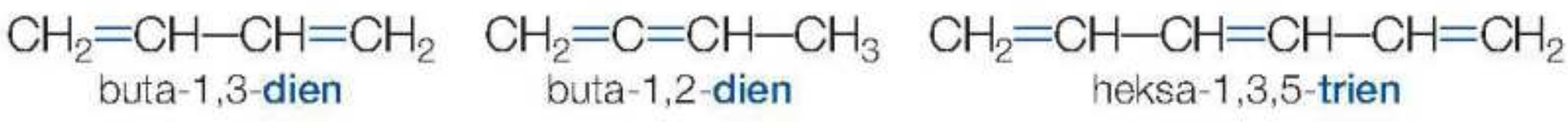
Nazwa systematyczna alkenu: 4-chloro-4-metylopent-2-en.

b) Cząsteczka alkenu zawiera pięć podstawników: **jedną grupę etylową** przy 4. atomie węgla, **jeden atom chloru** przy 4. atomie węgla, **dwie grupy metylowe** przy 5. atomie węgla i **jeden atom bromu** przy 6. atomie węgla.



Nazwa systematyczna alkenu: 6-bromo-4-chloro-4-etylo-5,5--dimetylohept-2-en.

Oprócz węglowodorów nienasyconych, w których cząsteczkach występuje jedno wiązanie podwójne między atomami węgla, istnieją także związki chemiczne, w których cząsteczkach są **dwa wiązania podwójne – alkadieny** – lub trzy wiązania podwójne – **alkatrieny**, np.:



Reakcja polimeryzacji polega na łączeniu się pojedynczych cząsteczek związku nienasyconego – monomerów.

Monomer – cząsteczka związku nienasyconego.

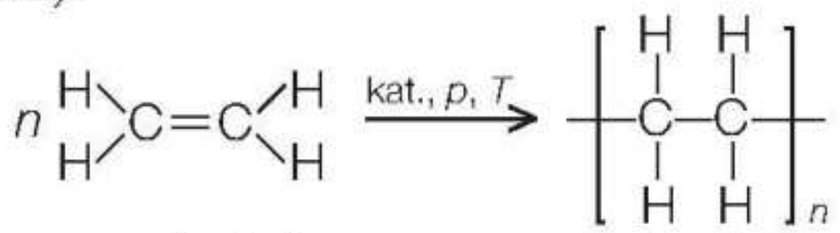
Polimer – wielkocząsteczkowy związek chemiczny, który powstaje w wyniku łączenia się monomerów.

mer – powtarzający się fragment polimeru

Polimeryzacja alkenów

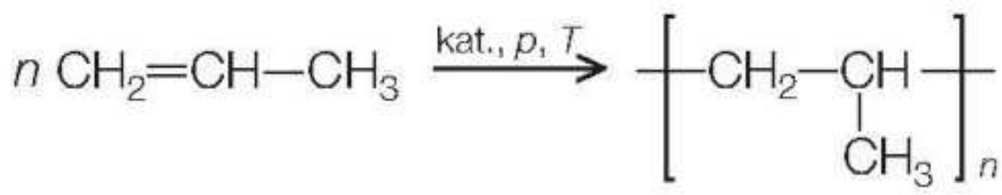
Reakcja polimeryzacji polega na wytworzeniu związku wielkocząsteczkowego – **polimeru** (rys. 10.) – ze związków **nienasyconych – monomerów.**

W wyniku reakcji polimeryzacji alkenów powstają tworzywa polimeryzacyjne, np. **polietylen** i **polipropylen**. Polietylen otrzymuje się w wyniku polimeryzacji etenu (etylenu), a polipropylen – w wyniku polimeryzacji propenu (propylenu):



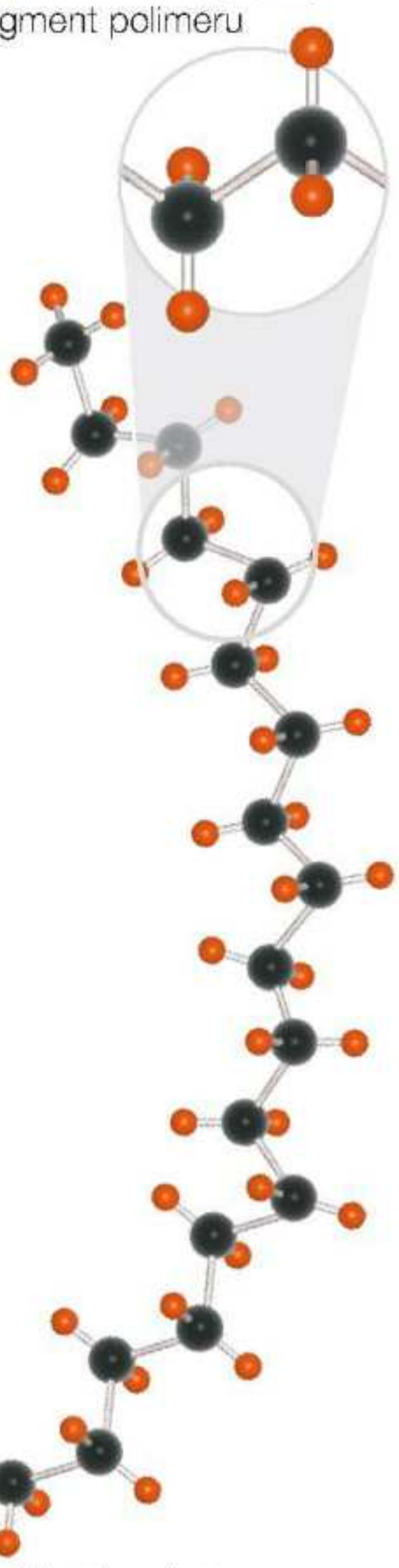
eten (etylen)
monomer

polietylen
polimer



propen (propylen)

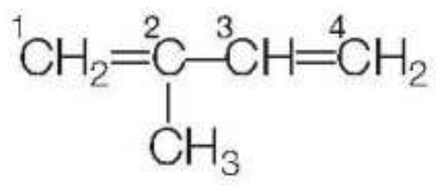
polipropylen



Modele atomów:
węgla wodoru

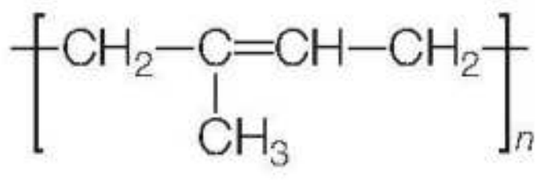
Rys. 10. Model cząsteczki polimeru.

Polimery – polietylen i polipropylen – są odporne na działanie kwasów, zasad i większości rozpuszczalników organicznych, z wyjątkiem węglowodorów i ich fluorowcopochodnych. Wykazują znaczną wytrzymałość mechaniczną, są też łatwopalne. Wytwarza się z nich m.in. folie opakowaniowe, pojemniki na produkty spożywcze, wodę lub chemikalia. Ważnym polimerem naturalnym jest **kauczuk naturalny** o wzorze $(C_5H_8)_n$ i masie cząsteczkowej (zależnie od pochodzenia substancji) od ok. 100 000 u do ok. 4 000 000 u. Monomerem w cząsteczce kauczuku jest tzw. **izopren** o wzorze półstrukturalnym:



2-metylobuta-1,3-dien

Kauczuk naturalny można więc przedstawić za pomocą wzoru:



Kauczuk naturalny w temperaturze pokojowej jest elastyczną substancją stałą o brunatnej barwie. Otrzymuje się go z lateksu – soku drzewa kauczukowego. Kauczuk poddany usieciowieniu w procesie wulkanizacji (reakcji z siarką) tworzy gumę. Współcześnie, ze względu na ogromne zapotrzebowanie na gumę, wytwarza się kauczuki syntetyczne. Monomerami do ich produkcji są:

- buta-1,3-dien $CH_2=CH-CH=CH_2$,
- 2-chlorobuta-1,3-dien (chloropren) $CH_2=CCl-CH=CH_2$.

Kauczuki syntetyczne mają lepsze właściwości użytkowe niż ich naturalne odpowiedniki.

Zastosowania

Alkeny

Pierwszy w szeregu homologicznym alkenów – eten – jest wykorzystywany w ogrodnictwie i sadownictwie jako czynnik przyspieszający dojrzewanie owoców.





■ Przemysł chemiczny

But-1,3-dien stosuje się do otrzymywania polibutadienu. Materiały wykonane z polibutadienu są elastyczne, dlatego polimer ten stosuje się do produkcji m.in. **opon samochodowych**.



■ Przemysł tekstylny

W skład **zimowej odzieży termoaktywnej** wchodzi polipropylen – produkt polimeryzacji propenu. Chroni on użytkownika przed nadmierną utratą ciepła.

■ Przemysł rolniczy i ogrodnictwo

Do **utrzymywania świeżości kwiatów ciętych** wykorzystuje się syntetycznie otrzymywany hormon roślinny 1-metylocyklopropen – metylową pochodną cyklopropenu.



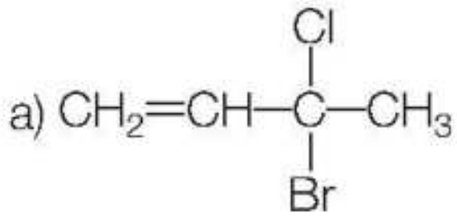
Chemia w medycynie

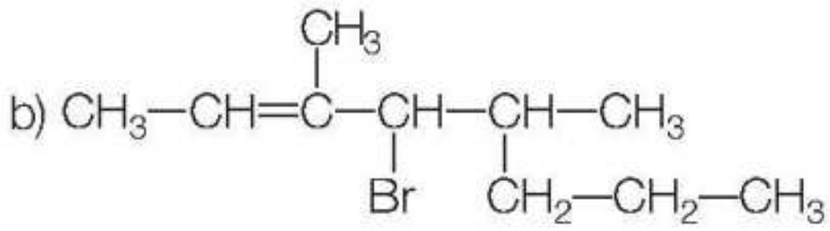
β-karoten chroni skórę przed szkodliwym wpływem promieni UV. Działając jak **filtr przeciwsłoneczny**, zmniejsza ryzyko oparzeń. Gromadzi się w skórze i stopniowo nadaje jej delikatny, złotawy kolor.

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Napisz nazwy systematyczne związków chemicznych o podanych wzorach.

a) 

b) 

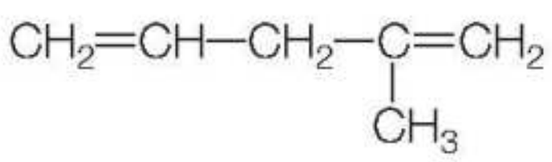
2. Napisz wzory półstrukturalne związków chemicznych o podanych nazwach.

a) 3-chloro-2-metyloheks-1-en b) 2,3-dibromobut-1-en c) 6,6-dimetylo-5-propylookt-2-en

3. Napisz równania reakcji chemicznych (1–3) przedstawionych na schemacie, stosując wzory półstrukturalne związków chemicznych. Określ rodzaje tych reakcji chemicznych.

propan $\xrightarrow{1}$ 1-chloropropan $\xrightarrow{2}$ propen $\xrightarrow{3}$ 2-bromopropan

4. Określ liczbę wszystkich wiązań typu σ i typu π w cząsteczce związku chemicznego o wzorze półstrukturalnym:



5. Napisz równania reakcji spalania całkowitego i niecałkowitego alkenu C_nH_{2n}.

6. Napisz wzory strukturalne wszystkich izomerów alkenów o podanych wzorach sumarycznych:

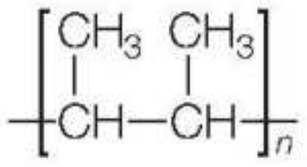
a) C_3H_6 b) C_4H_8 c) C_5H_{10}

7. Oblicz, ile cząsteczek etenu poddano polimeryzacji, jeżeli masa cząsteczkowa polietylenu wynosi 20 000 u.

8. Ustal stopnie utlenienia atomów węgla w cząsteczkach węglowodorów o podanych nazwach systematycznych.

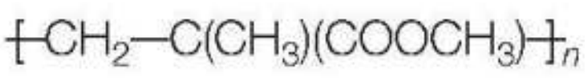
a) but-1-en b) 3,3-dimetylobut-1-en

9. Napisz równania reakcji polimeryzacji. W miejsce liter *X* i *Y* wpisz wzory odpowiednich związków chemicznych. Podaj nazwy substratów i produktów.

a) $n\ CH_2{=}CH{-}CH_3 \xrightarrow{\text{kat., } p, T} X$ b) $Y \xrightarrow{\text{kat., } p, T}$ 

10. Wzór empiryczny pewnego węglowodoru ma postać CH_2, a jego masa cząsteczkowa wynosi 56 u. Napisz wzór rzeczywisty tego węglowodoru oraz wzory strukturalne wszystkich jego izomerów.

11. Poli(metakrylan metylu) to związek chemiczny o wzorze:



K.H. Lautenschläger, W. Schröter, A. Wanninger, *Nowoczesne kompendium chemii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.

Napisz wzór monomeru, który poddano polimeryzacji w celu otrzymania poli(metakrylanu metylu).

12. Stosując wzory półstrukturalne (grupowe), napisz równanie reakcji chemicznej, której jedynym organicznym produktem jest 3-metylobut-1-en. Nad strzałką oznaczającą reakcję wpisz nazwę rozpuszczalnika. Wybierz substraty spośród związków chemicznych o nazwach: 2-metylobutan, 1-bromo-3-metylobutan, 2-bromo-3-metylobutan, wodorotlenek potasu, woda, bezwodny etanol.

7. Węglowodory nienasycone – alkiny

Alkiny to węglowodory, których cząsteczki zawierają – oprócz wiązań pojedynczych – **jedno wiązanie potrójne między atomami węgla** (rys. 11.).



Rys. 11. Model fragmentu cząsteczki alkinu. Między atomami węgla występuje jedno wiązanie potrójne.

Występowanie alkinów

Alkiny występują w środowisku przyrodniczym bardzo rzadko. Najczęściej spotyka się węglowodory nienasycone z kilkoma wiązaniami potrójnymi, tzw. poliyny. W ich łańcuchach atomy węgla są połączone naprzemiennie wiązaniami pojedynczymi i potrójnymi. Ich obecność stwierdzono m.in. w minerałach tworzących meteoryty. Poliyny wyizolowano również z korzenia jeżówki (fot. 23.). Z kolei w szafranie występuje węglowodór nienasycony o nazwie trideka-1,3,11-trien-5,7,9-triyn.



Fot. 23. Jeżówka purpurowa, znana jako *Echinacea purpurea*, ma właściwości lecznicze.

Hybrydyzacja orbitali atomowych węgla w cząsteczkach alkinów

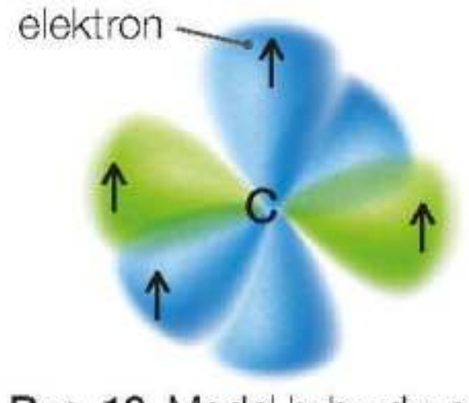
Wiązanie potrójne powstaje, gdy orbitale atomowe węgla ulegają hybrydyzacji **dygonalnej *sp*** (tabela 10.). Polega ona na „wymieszaniu" orbitalu *s* i orbitalu *p*.

Tabela 10. Hybrydyzacja orbitali atomowych węgla w cząsteczkach alkinów

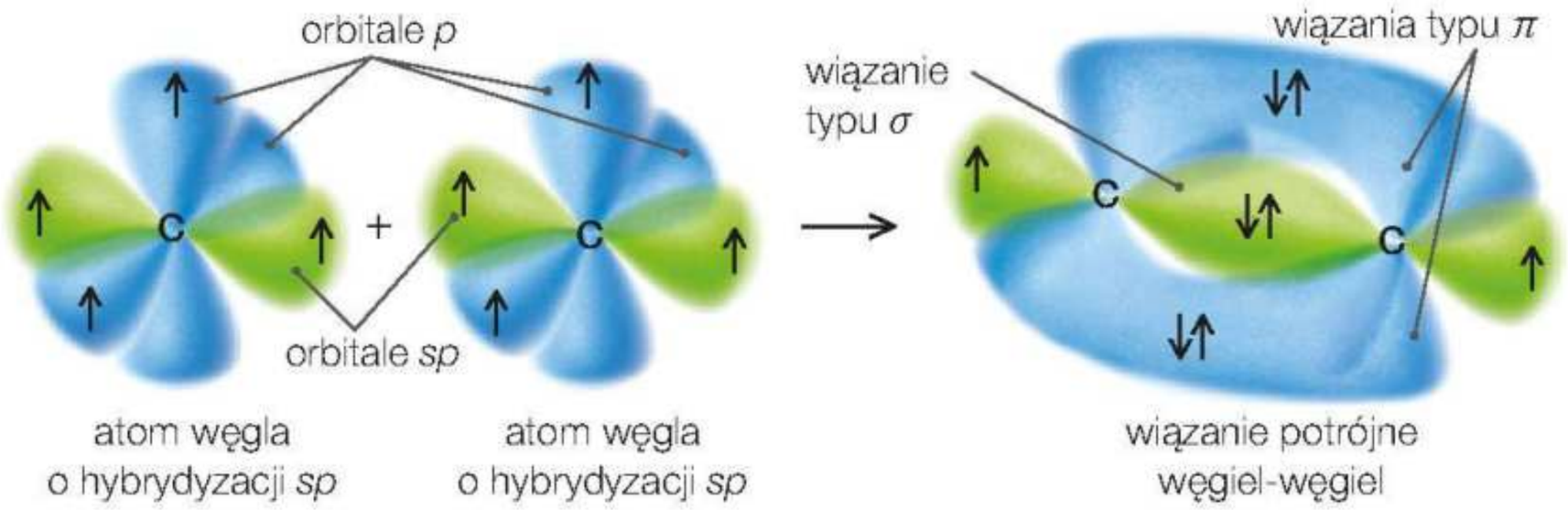
Szkielet łańcucha węglowego	Hybrydyzacja		Orbitale zhybrydyzowane			
	typ	orbitale ulegające hybrydyzacji	liczba	orientacja przestrzenna	kształt	kąt
–C≡C– wiązanie potrójne	*sp*	↑↓ ↑ ↑ ↑ ↑ 1 orbital *s* 1 orbital *p*	2		liniowy	180°

W wyniku hybrydyzacji powstają dwa równocenne orbitale *sp* (rys. 12.), których osie są położone w linii prostej. Dlatego kąty między wiązaniami wynoszą 180°. Dwa orbitale *p* nie ulegają hybrydyzacji i przyjmują kierunki prostopadłe do siebie (jeden orbital *p* jest położony w płaszczyźnie orbitali zhybrydyzowanych, a drugi – prostopadle do tej płaszczyzny).

Zbliżenie dwóch atomów o tak zhybrydyzowanych orbitalach (patrz rys. 13., s. 84) powoduje czołowe przenikanie orbitali *sp* (powstanie orbitalu molekularnego typu σ i utworzenie wiązania typu σ) oraz boczne przenikanie niezhybrydyzowanych orbitali *p* (powstanie dwóch orbitali molekularnych typu π i utworzenie dwóch wiązań typu π).



Rys. 12. Model hybrydyzacji *sp* orbitali atomowych węgla.



Rys. 13. Model tworzenia się wiązań typu σ i typu π między atomami węgla wchodzącymi w skład cząsteczki alkinu.

Budowa cząsteczki etynu

Pierwszym alkinem w szeregu homologicznym jest **etyn**, nazywany potocznie **acetylenem**. W jego cząsteczce dwa atomy węgla są połączone trzema wiązaniami kowalencyjnymi, z których jedno to wiązanie typu σ, a dwa typu π. Ponadto każdy z tych atomów łączy się z jednym atomem wodoru wiązaniem typu σ:

Rodzaje wiązań w cząsteczce etynu

$H\overset{\sigma}{-}C\equiv C\overset{\sigma}{-}H$

jedno wiązanie typu σ i dwa wiązania typu π

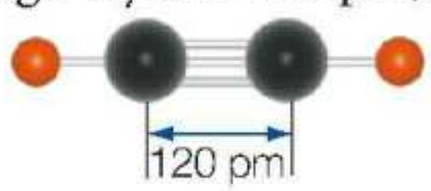


jedno wiązanie typu σ i dwa wiązania typu π

Modele atomów:
węgla wodoru

Reaktywność alkinów

Długość wiązania potrójnego wynosi 120 pm, a energia wiązania jest równa $830\ \frac{kJ}{mol}$.



Podobnie jak w cząsteczkach alkenów, wiązania typu π są słabsze od wiązania typu σ i mogą pękać. Dlatego alkiny, w których występują dwa wiązania typu π, są **bardziej reaktywne od alkanów**, w których wiązania typu π nie występują.

Otrzymywanie etynu

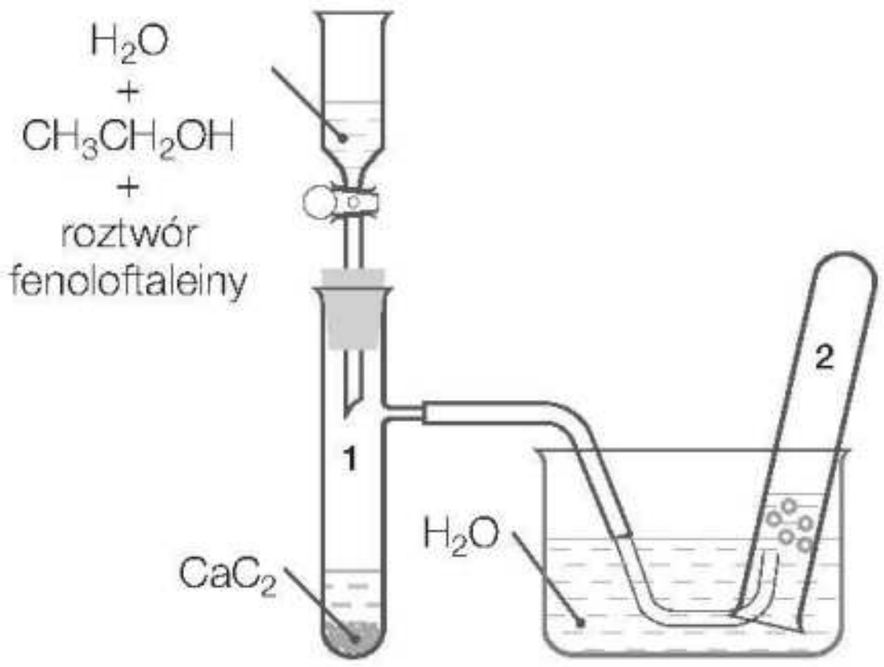
Doświadczenie 11. N CH_4, CH_3CH_2OH, C_2H_2 ! CH_3CH_2OH

Otrzymywanie etynu (acetylenu)

Odczynniki: karbid (węglik wapnia), etanol, woda, roztwór fenoloftaleiny.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, wkraplacz, rurka odprowadzająca, krystalizator, korki.
Instrukcja: Do probówki zawierającej małą ilość karbidu (węglika wapnia) wkraplaj 3 cm^3 roztworu wody i etanolu (zmieszanych w stosunku objętościowym 1 : 1) z kroplą roztworu fenoloftaleiny. Do przeprowadzenia tego doświadczenia używa się mieszaniny wody z etanolem. Dodatek etanolu zmniejsza szybkości reakcji chemicznej. Etanol pełni więc funkcję inhibitora tej reakcji chemicznej. Wydzielający się gaz zbierz do czterech probówek. Sprawdź barwę i zapach gazu w jednej z probówek. Pozostałe probówki napełnione gazem szczelnie zamknij korkami.
Zebrany gaz wykorzystaj w doświadczeniu 12.



Fot. 24. Otrzymywanie etynu.



Obserwacje: Z probówki 1. wydziela się bezbarwny, bezwonny i nierozpuszczalny w wodzie gaz. Zawartość probówki 1. barwi się na malinowo.
Wniosek: Zabarwienie się fenoloftaleiny na malinowo świadczy o tym, że w probówce 1. powstał produkt o odczynie zasadowym (patrz fot. 24., s. 84).

Karbid, czyli węglik wapnia (fot. 25.), to produkt reakcji węgla z tlenkiem wapnia. Karbid reaguje z wodą zgodnie z równaniem:

$$\underset{\text{węglik wapnia}}{CaC_2} + \underset{\text{woda}}{2\,H_2O} \longrightarrow \underset{\text{etyn}}{C_2H_2} + \underset{\text{wodorotlenek wapnia}}{Ca(OH)_2}$$

Produktami reakcji węglika wapnia z wodą są etyn (acetylen) i wodorotlenek wapnia.

Na skalę przemysłową etyn otrzymuje się w procesie pirolizy metanu, czyli rozkładu metanu w wysokiej temperaturze (ok. 1500°C):

$$\underset{\text{metan}}{2\,CH_4} \xrightarrow{T} \underset{\text{etyn}}{C_2H_2} + \underset{\text{wodór}}{3\,H_2}$$

Podczas wykonywania doświadczenia zachowaj szczególną ostrożność. Do zbierania etynu należy używać małych probówek, gdyż eksperymentowanie z większą ilością tego związku chemicznego jest bardzo niebezpieczne. **Mieszanina etynu z powietrzem jest wybuchowa w dużym zakresie stężeń.**

otrzymywanie C_2H_2



Fot. 25. Węglik wapnia.

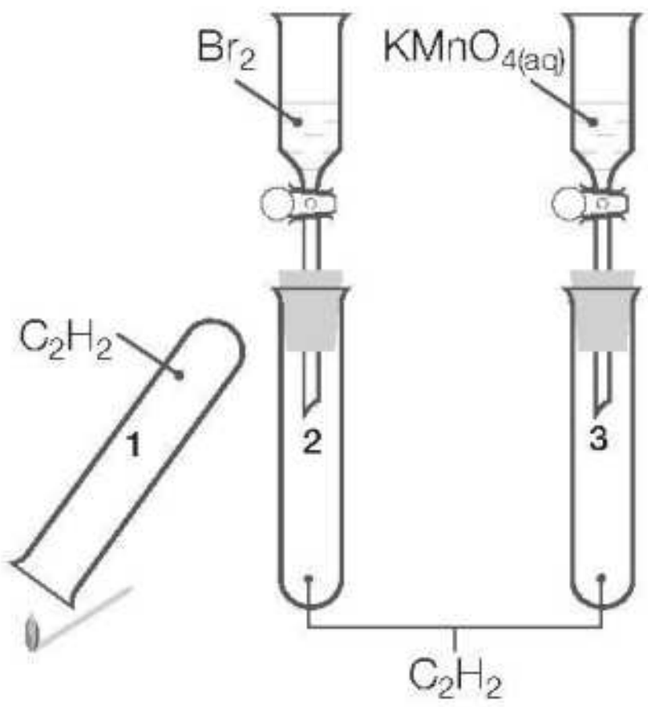
piroliza CH_4

Reakcje chemiczne etynu

Doświadczenie 12.  C_2H_2  $KMnO_4$, Br_2   Br_2

Spalanie etynu oraz badanie jego zachowania wobec bromu i roztworu manganianu(VII) potasu

Odczynniki: etyn, roztwór bromu, wodny roztwór manganianu(VII) potasu.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: próbówki, łuczywo, wkraplacze, korki.
Instrukcja: Do wykonania doświadczenia użyj etynu otrzymanego w doświadczeniu 11. Do wylotu probówki 1. zbliż zapalone łuczywo. Do probówki 2. dodaj 2 cm^3 roztworu bromu, a do probówki 3. – 2 cm^3 wodnego roztworu manganianu(VII) potasu (schemat). Probówki 2. i 3. zamknij korkami i wstrząśnij.



Obserwacje: Etyn (acetylen) spala się jaskrawym, kopcącym płomieniem. Zawartość probówki 2. odbarwia się. W probówce 3. powstaje brunatny osad.

Wniosek: W wyniku spalania etynu w powietrzu powstaje sadza. Świadczy to o dużej zawartości procentowej węgla w tym związku chemicznym – zachodzi spalanie niecałkowite.

Spalanie niecałkowite zachodzi zgodnie z równaniami reakcji chemicznych:

spalanie niecałkowite C_2H_2

$$2\,C_2H_2 + 3\,O_2 \longrightarrow 4\,\mathbf{CO} + 2\,H_2O$$

etyn — tlen — tlenek węgla(II) — woda

$$2\,C_2H_2 + O_2 \longrightarrow 4\,\mathbf{C} + 2\,H_2O$$

etyn — tlen — węgiel — woda

Spalanie całkowite etynu następuje przy zwiększonym dopływie tlenu, m.in. w płomieniu palnika acetylenowo-tlenowego (fot. 26.):

spalanie całkowite C_2H_2

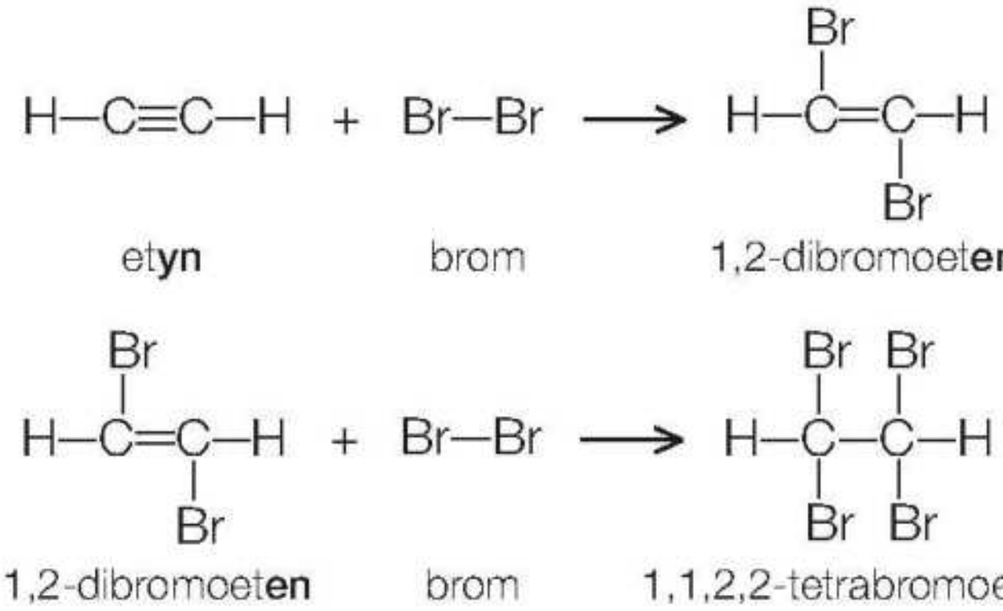
$$2\,C_2H_2 + 5\,O_2 \longrightarrow 4\,\mathbf{CO_2} + 2\,H_2O$$

etyn — tlen — tlenek węgla(IV) — woda



Fot. 26. Temperatura płomienia palnika acetylenowo-tlenowego wynosi ok. 3000°C.

Etyn, podobnie jak eten, reaguje z bromem i manganianem(VII) potasu oraz powoduje strącanie się brunatnego osadu tlenku manganu(IV). Te reakcje chemiczne przebiegają łatwo i świadczą o nienasyconym charakterze etynu. Reakcja bromowania etynu jest reakcją **addycji** (przyłączania) atomów bromu do atomów węgla w cząsteczce etynu. Reakcja chemiczna przebiega w taki sam sposób jak w przypadku bromowania etenu:



Reakcje przyłączania z udziałem alkinów przebiegają etapowo:

Etap I. Pęka jedno wiązanie w wiązaniu potrójnym i powstaje związek nienasycony z wiązaniem podwójnym.

Etap II. Pęka jedno wiązanie w wiązaniu podwójnym i powstaje związek nasycony o wiązaniach pojedynczych.

Cząsteczki etynu i innych **alkinów** mogą przyłączać cząsteczki:

addycja H_2

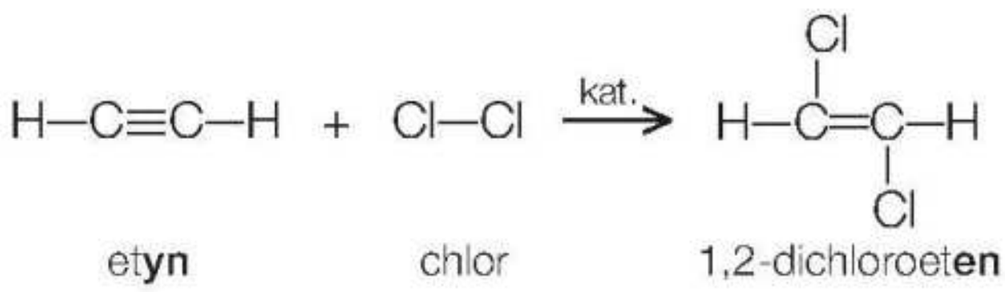
a) wodoru, np.: $H–C\equiv C–H + H–H \xrightarrow{kat.} H_2C=CH_2$

etyn — wodór — eten

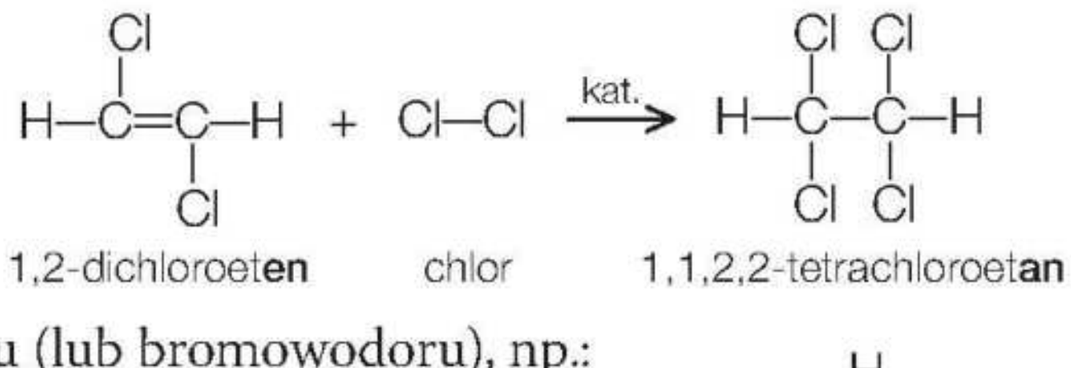
$H_2C=CH_2 + H–H \xrightarrow{kat.} H_3C–CH_3$

eten — wodór — etan

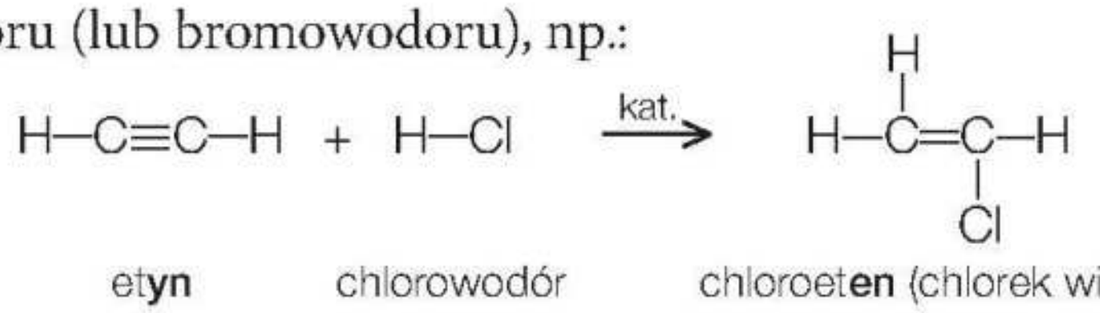
b) chloru, np.:



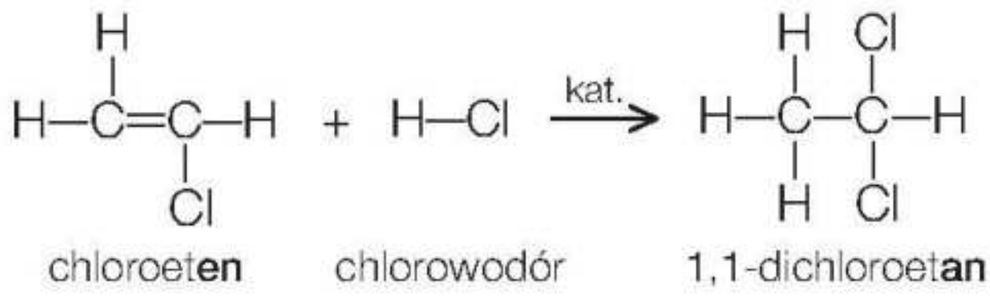
addycja Cl_2



c) chlorowodoru (lub bromowodoru), np.:

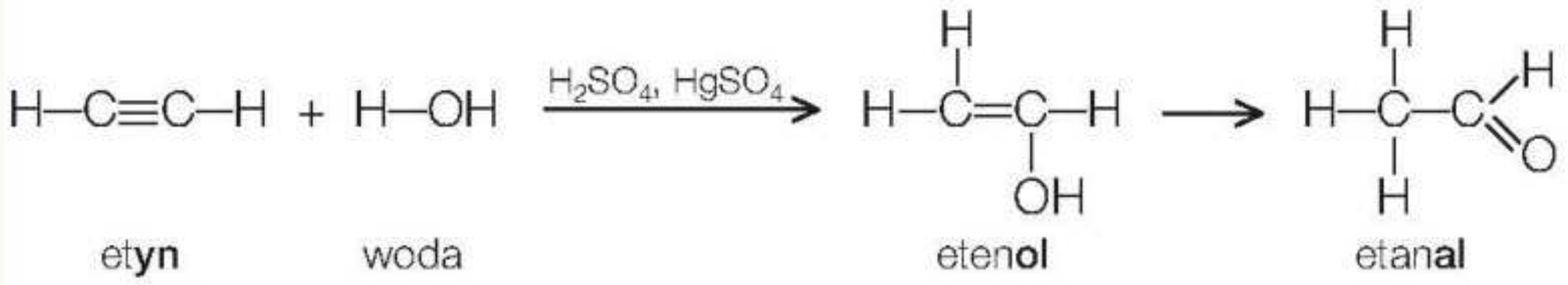


addycja HCl



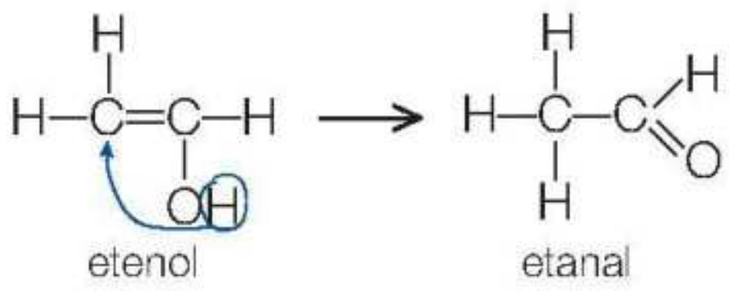
reguła Markownikowa

Przyłączenie cząsteczki wody do cząsteczki etynu zachodzi w obecności kwasu siarkowego(VI) H_2SO_4 i siarczanu(VI) rtęci(II) $HgSO_4$. W pierwszym etapie powstaje **etenol** – związek chemiczny zaliczany do enoli. Jest on nietrwały i przekształca się w izomeryczny aldehyd – **etanal** (aldehyd octowy). Reakcja przyłączania wody do etynu nosi nazwę **reakcji Kuczerowa**.

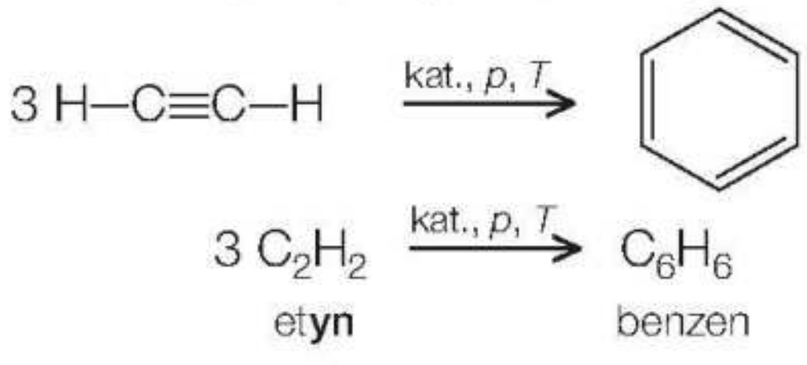


reakcja addycji H_2O
reakcja Kuczerowa

Przemiana etenolu w etanal to tzw. **przegrupowanie wewnątrzcząsteczkowe**, które polega na przemieszczeniu się atomu wodoru z grupy —OH wewnątrz cząsteczki i przyłączeniu go do atomu węgla. Jest to możliwe, ponieważ atom wodoru z grupy —OH jest najsłabiej związany w cząsteczce:



W wyniku **trimeryzacji etynu** powstaje **benzen** (patrz s. 102).



otrzymywanie C_6H_6

Szereg homologiczny alkinów

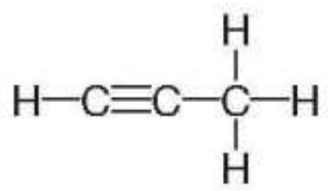
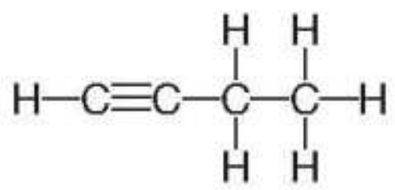
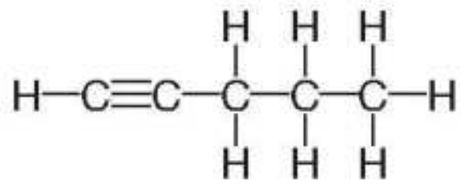
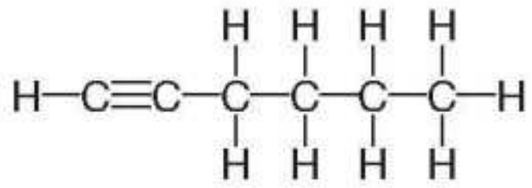
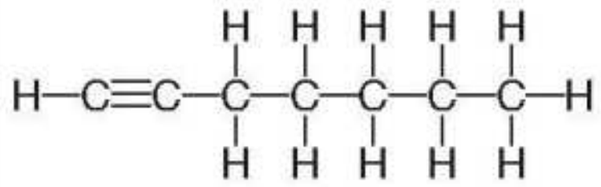
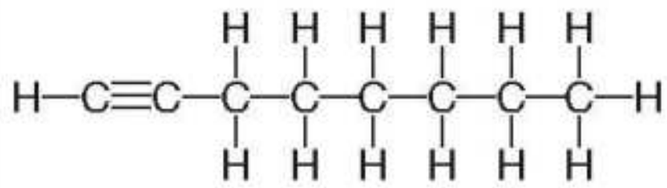
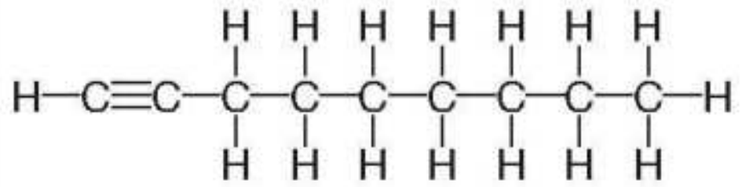
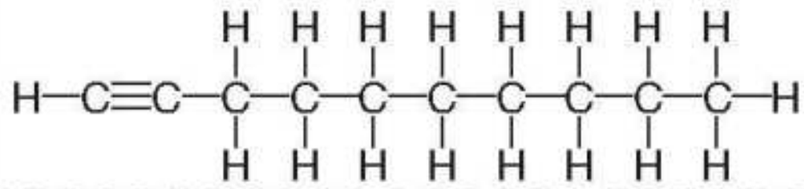
Alkiny tworzą szereg homologiczny (tabela 11.) o wzorze ogólnym:

Wzór ogólny alkinów ▶

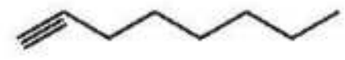
$$C_nH_{2n-2}$$

gdzie:
n – liczba atomów węgla w cząsteczce alkinu.

Tabela 11. Szereg homologiczny alkinów

Liczba atomów węgla w cząsteczce	Nazwa		
		sumaryczny	strukturalny
2	etyn	C_2H_2	
3	propyn	C_3H_4	
4	but-1-yn	C_4H_6	
5	pent-1-yn	C_5H_8	
6	heks-1-yn	C_6H_{10}	
7	hept-1-yn	C_7H_{12}	
8	okt-1-yn	C_8H_{14}	
9	non-1-yn	C_9H_{16}	
10	dek-1-yn	$C_{10}H_{18}$	

Trzy pierwsze związki chemiczne szeregu homologicznego alkinów są gazami. Wraz ze zwiększaniem się liczby atomów węgla w cząsteczce zwiększają się temperatury wrzenia i topnienia oraz gęstość alkinów. Wszystkie alkiny mają gęstość mniejszą od gęstości wody. Są też bardzo reaktywne – ulegają reakcjom spalania, addycji i polimeryzacji.

Wzór		
półstrukturalny	grupowy	szkieletowy (kreskowy)
$HC{\equiv}CH$	CHCH	
$HC{\equiv}C{-}CH_3$	$CHCCH_3$	
$HC{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_3$	$CHCCH_2CH_3$	
$HC{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	$CHC(CH_2)_2CH_3$	
$HC{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	$CHC(CH_2)_3CH_3$	
$HC{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	$CHC(CH_2)_4CH_3$	
$HC{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	$CHC(CH_2)_5CH_3$	
$HC{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	$CHC(CH_2)_6CH_3$	
$HC{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	$CHC(CH_2)_7CH_3$	

Nazewnictwo alkinów

Nazwy alkinów tworzy się od nazw alkanów, zmieniając końcówki **-an** na **-yn** (lub **-in** po spółgłoskach: ch, f, g, k, l; np. dek**an** – dek**in**).

Położenie wiązania potrójnego określa się podobnie jak wiązania podwójnego. Jeżeli w cząsteczce węglowodoru obok wiązania potrójnego występuje także wiązanie podwójne, to **pierwszeństwo przy ustalaniu numeracji atomów węgla ma wiązanie podwójne**.

Plan rozwiązywania

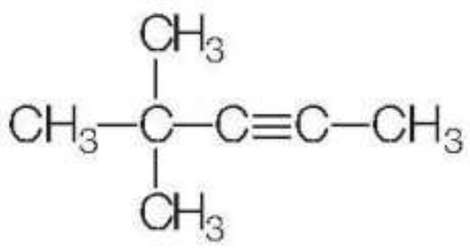
1. Wyznacz najdłuższy łańcuch węglowy i ponumeruj atomy węgla w łańcuchu, uwzględniając położenie wiązania potrójnego, oraz ustal podstawę nazwy alkinu.
2. Ustal rodzaj i położenie podstawników oraz zapisz nazwę systematyczną alkinu.

Przykład 14.

Ustalanie nazw systematycznych alkinów

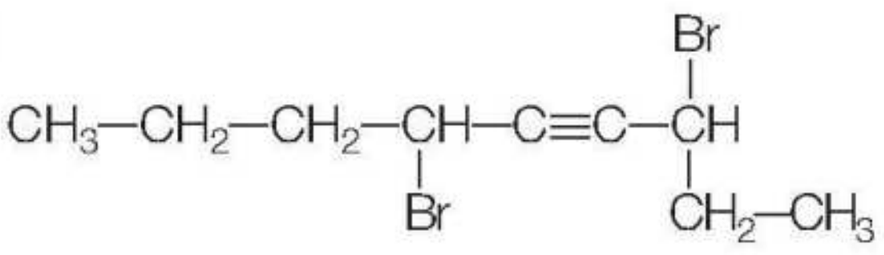
Napisz nazwy systematyczne alkinów o podanych wzorach.

a)

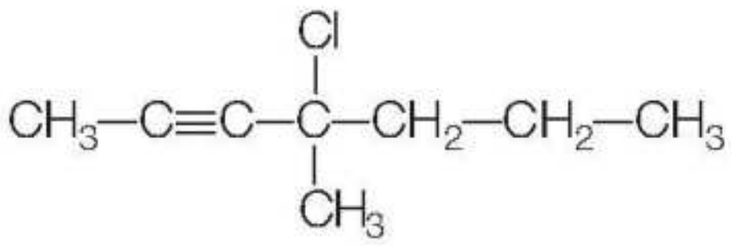


b) $CH{\equiv}C{-}C{\equiv}C{-}CH{=}CH_2$

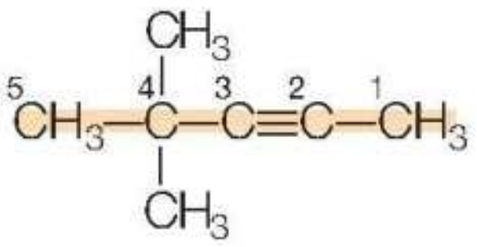
c)



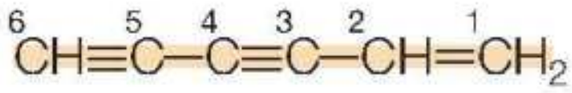
d)



1 **a)** Najdłuższy łańcuch węglowy składa się z 5 atomów węgla, a wiązanie potrójne znajduje się między 2. a 3. atomem węgla – **pent-2-yn**.

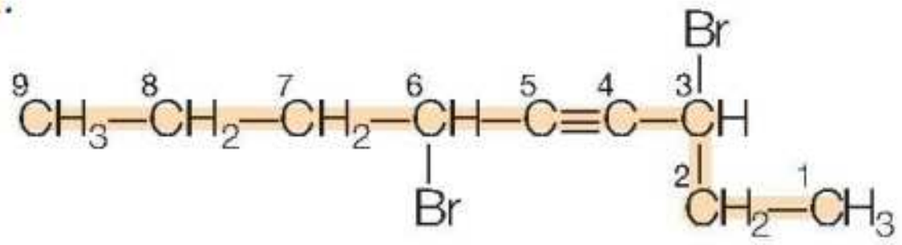


b) Najdłuższy łańcuch węglowy składa się z 6 atomów węgla. Pierwszeństwo przy ustalaniu numeracji atomów węgla ma wiązanie podwójne, które znajduje się między 1. a 2. atomem węgla. Wiązania potrójne znajdują się między 3. a 4. atomem węgla oraz między 5. a 6. atomem węgla – **heks-3,5-diyn**.

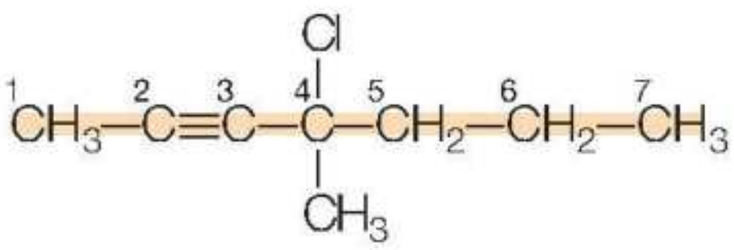


patrz s. 91

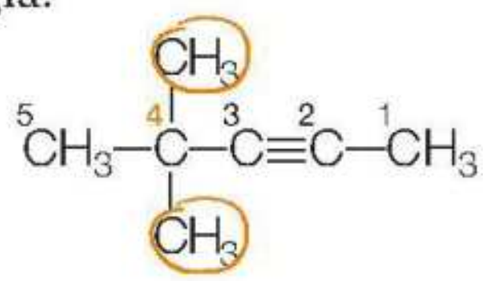
c) Najdłuższy łańcuch węglowy składa się z 9 atomów węgla, a wiązanie potrójne znajduje się między 4. a 5. atomem węgla – **non-4-yn**.



d) Najdłuższy łańcuch węglowy składa się z 7 atomów węgla, a wiązanie potrójne znajduje się między 2. a 3. atomem węgla – **hept-2-yn**.

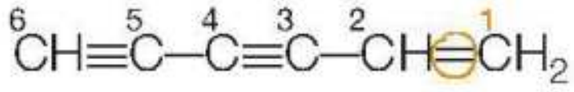


2 **a)** Cząsteczka zawiera dwa podstawniki – **dwie grupy metylowe** przy 4. atomie węgla.



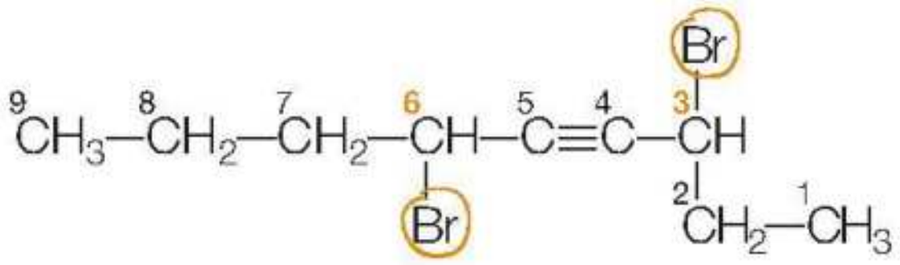
Nazwa systematyczna alkinu: 4,4-dimetylopent-2-yn.

b) Cząsteczka nie zawiera podstawników. Zawiera natomiast **jedno wiązanie podwójne** przy 1. atomie węgla.



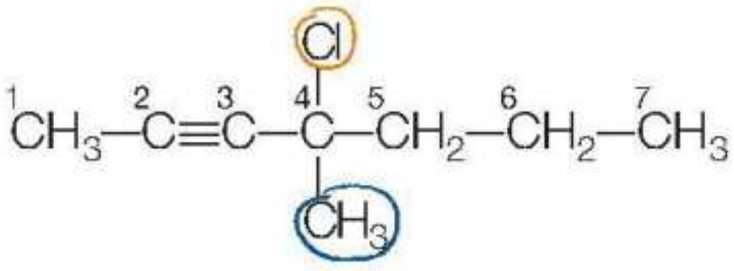
Nazwa systematyczna alkinu: heks-1-en-3,5-diyn.

c) Cząsteczka zawiera dwa podstawniki – **dwa atomy bromu** – jeden przy 3. atomie węgla i jeden przy 6.



Nazwa systematyczna alkinu: 3,6-dibromonon-4-yn.

d) Cząsteczka zawiera dwa podstawniki – **jeden atom chloru** przy 4. atomie węgla oraz **jedną grupę metylową** przy 4. atomie węgla.



Nazwa systematyczna alkinu: 4-chloro-4-metylohept-2-yn.

Plan rozwiązywania

1 Ustal podstawę nazwy alkinu, narysuj główny łańcuch węglowy o odpowiedniej liczbie atomów węgla i ponumeruj atomy węgla, uwzględniając położenie wiązań wielokrotnych.

2 Napisz wzory podstawników przy odpowiednich atomach węgla i dopisz brakujące atomy wodoru.

3 Napisz wzór półstrukturalny alkinu.

Przykład 15.

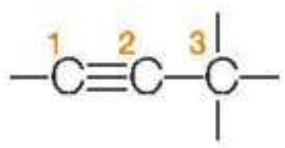
Zapisywanie wzorów półstrukturalnych alkinów o znanych nazwach systematycznych

Napisz wzory półstrukturalne alkinów o podanych nazwach systematycznych.

a) 3-chloroprop-1-yn
b) 2-chloro-3-metyloheks-2-en-4-yn
c) 6,6-dimetylohept-2-yn
d) 4,4-dibromoheks-1-en-5-yn

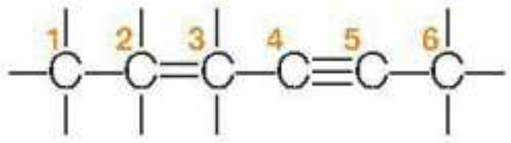
1 **a)** 3-chloro**prop-1-yn**

Podstawą tworzonej nazwy jest **prop-1-yn** – najdłuższy łańcuch zawiera 3 atomy węgla. Wiązanie potrójne znajduje się między 1. a 2. atomem węgla.



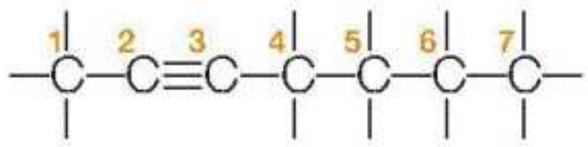
b) 2-chloro-3-metylo**heks**-2-en-**4-yn**

Podstawą tworzonej nazwy jest **heks-4-yn** – najdłuższy łańcuch zawiera 6 atomów węgla. Wiązanie potrójne znajduje się między 4. a 5. atomem węgla.



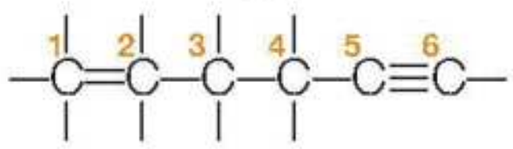
c) 6,6-dimetylo**hept-2-yn**

Podstawą tworzonej nazwy jest **hept-2-yn**– najdłuższy łańcuch zawiera 7 atomów węgla. Wiązanie potrójne znajduje się między 2. a 3. atomem węgla.



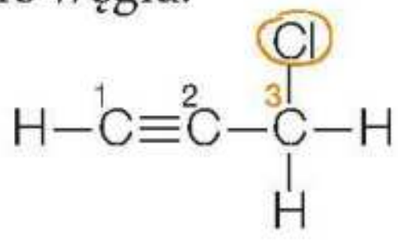
d) 4,4-dibromo**heks**-1-en-**5-yn**

Podstawą tworzonej nazwy jest **heks-5-yn** – najdłuższy łańcuch zawiera 6 atomów węgla. Wiązanie potrójne znajduje się między 5. a 6. atomem węgla.



2 **a)** **3-chloro**prop-1-yn

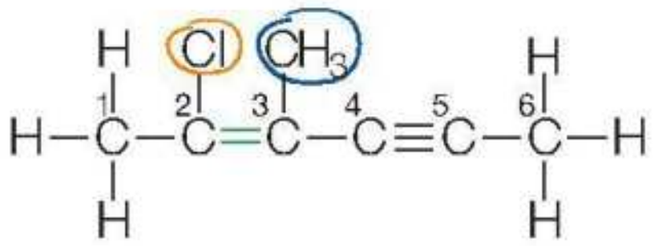
Cząsteczka alkinu zawiera jeden podstawnik: **jeden atom chloru** przy 3. atomie węgla.



patrz s. 93

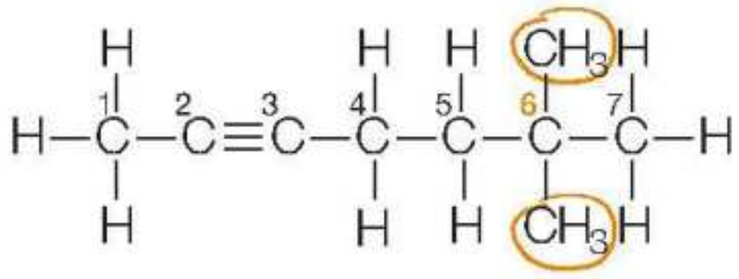
b) **2-chloro-3-metylo**heks-**2-en**-4-yn

Cząsteczka alkinu zawiera dwa podstawniki: **jeden atom chloru** przy 2. atomie węgla i **jedną grupę metylową** przy 3. atomie węgla oraz **jedno wiązanie podwójne** między 2. a 3. atomem węgla.



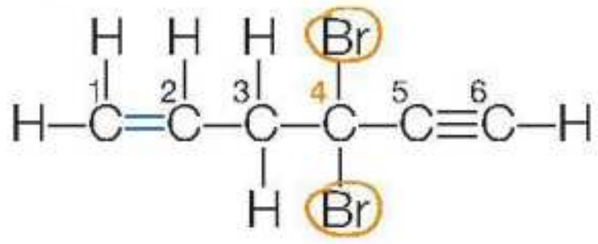
c) **6,6-dimetylo**hept-2-yn

Cząsteczka alkinu zawiera dwa podstawniki: **dwie grupy metylowe** przy 6. atomie węgla.



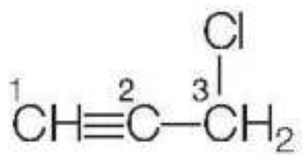
d) **4,4-dibromo**heks-**1-en**-5-yn

Cząsteczka alkinu zawiera dwa podstawniki: **dwa atomy bromu** przy 4. atomie oraz **jedno wiązanie podwójne** między 1. a 2. atomem węgla.

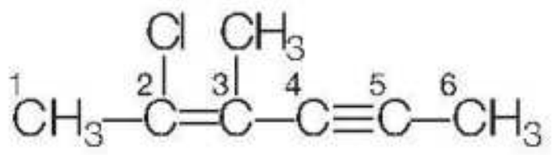


3 Wzory półstrukturalne alkinów o podanych nazwach:

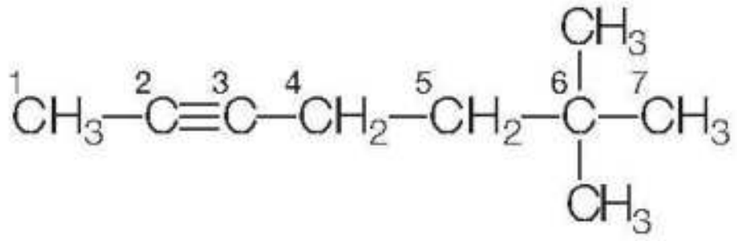
a)



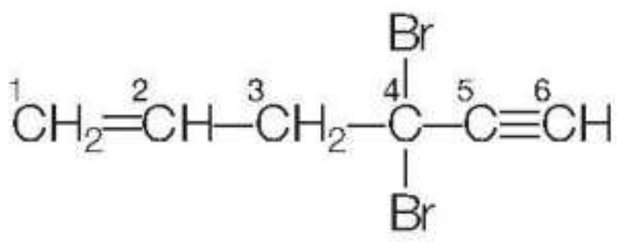
b)



c)



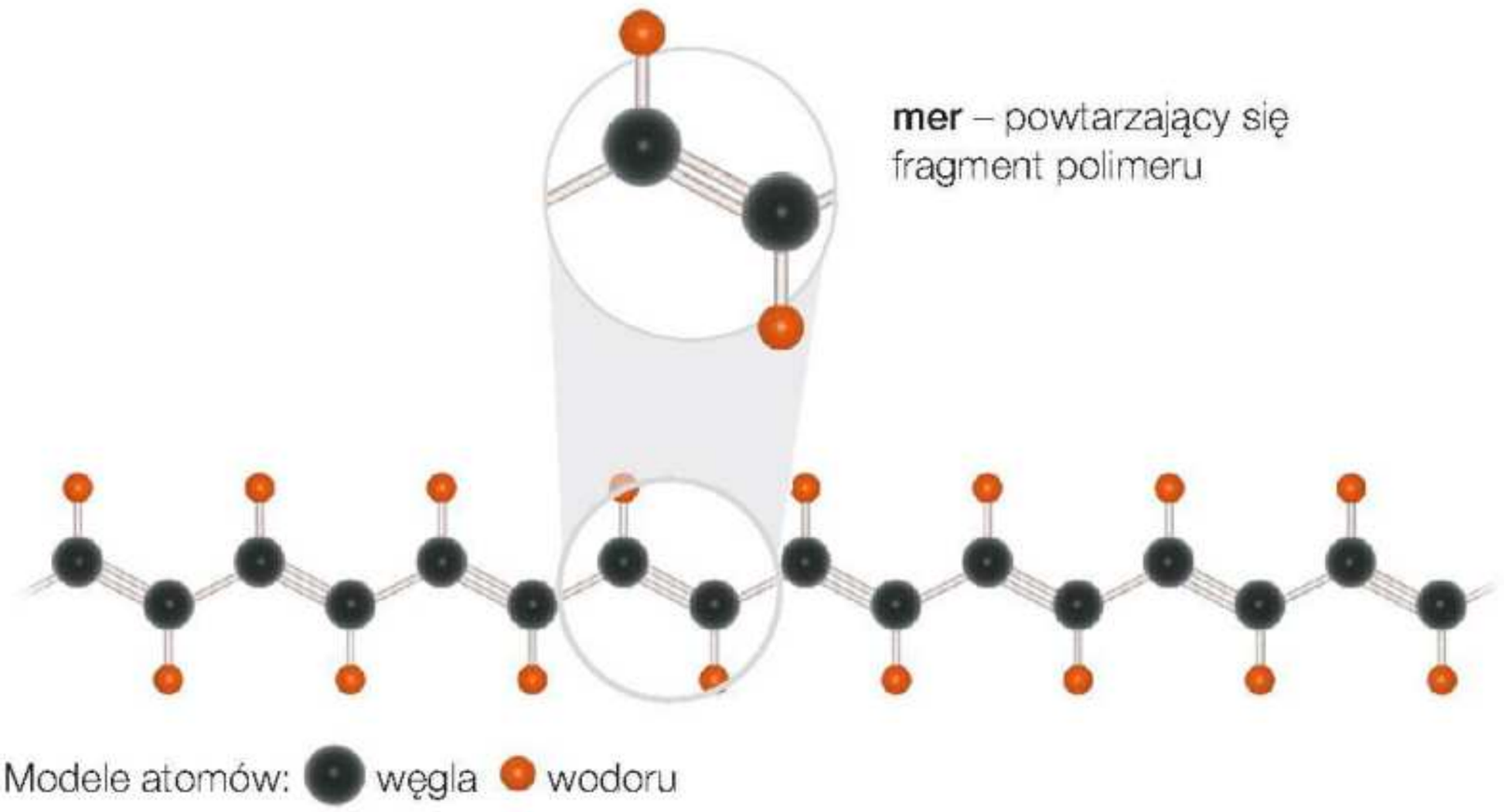
d)



Polimeryzacja alkinów

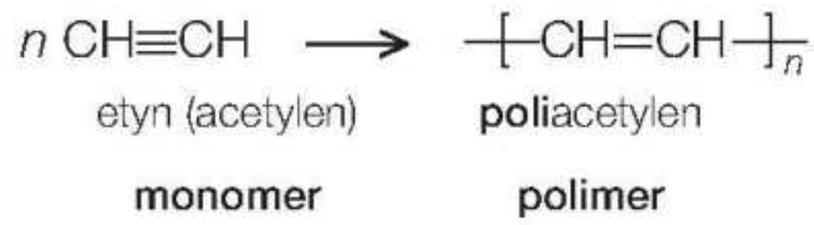
Ze względu na obecność wiązania potrójnego w cząsteczce alkiny ulegają reakcji polimeryzacji. Oznacza to, że ich cząsteczki wiążą się ze sobą, tworząc większe cząsteczki. Na przykład w wyniku polimeryzacji etynu powstaje **poliacetylen** (rys. 14.).

Skrót poliacetylenu: PA

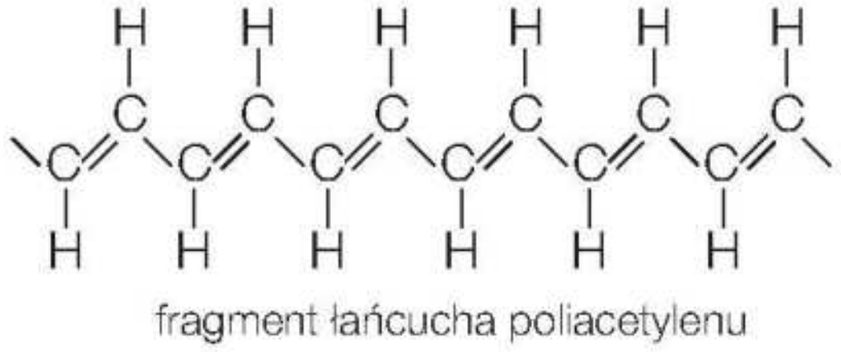


Rys. 14. Model fragmentu cząsteczki poliacetylenu.

Jest to jeden z pierwszych otrzymanych w laboratorium chemicznym polimerów przewodzących prąd elektryczny.



Cząsteczki etynu łączą się, wykorzystując elektrony jednego z dwóch wiązań typu π. Pozostałe elektrony π mogą swobodnie poruszać się wzdłuż długiego łańcucha poliacetylenu. Umożliwia to przepływ prądu elektrycznego przez cząsteczki tego polimeru.





Fot. 27. Diody AMOLED wykorzystuje się m.in. w smartwatchach.

Polimery przewodzące prąd elektryczny wykorzystuje się m.in. w organicznych diodach elektroluminescencyjnych OLED (ang. ***O**rganic **L**ight-**E**mitting **D**iode*). Są to diody LED wytwarzane ze związków organicznych. Ich ulepszoną wersję – diody AMOLED (ang. *Active-Matrix **O**rganic **L**ight-**E**mitting **D**iode*) – stosuje się w wyświetlaczach montowanych w urządzeniach przenośnych, m.in. smartfonach, tabletach, smartwatchach (fot. 27.). Zużywają one mniej energii niż wyświetlacze, w których zastosowano diody OLED.

Zastosowania

Alkiny

Dzięki dużej reaktywności alkiny wykorzystuje się w wielu syntezach organicznych. Propyn można bezpiecznie sprężać, dlatego stosuje się go m.in. w mieszaninach gazów (propan, butan, propyn i propadien) wykorzystywanych w palnikach gazowo-tlenowych.



Przemysł chemiczny

Etyn jest substratem **reakcji otrzymywania** wielu **związków organicznych**, m.in.: chloroetenu, etanalu czy etanolu.



Przemysł szklarski

Podczas spalania propynu przy ograniczonym dostępie tlenu powstaje sadza węglowa o właściwościach smarnych, wykorzystywana do produkcji szkła.

Przemysł metalurgiczny

Etyn (acetylen) spalany w czystym tlenie osiąga temperaturę nawet 3100°C, dlatego mieszaninę tych gazów stosuje się w **palnikach acetylenowo-tlenowych** używanych do cięcia i spawania metali.

Chemia w medycynie

W preparatach leczniczych zawierających jeżówkę (*Echinacea*) znajdują się poliyny – węglowodory o właściwościach wirusostatycznych (hamujących rozwój wirusów). Poliyny zwiększają także zdolność skóry do regeneracji, dlatego są wykorzystywane w dermatologii do leczenia trudno gojących się ran.



Odkrycia, które zmieniły świat – acetylen

Etyn odkrył w 1836 r. **Edmund Davy** [czyt. dejwi], kiedy przypadkowo wymieszał węglik potasu K_2C_2 z wodą. Następnie w 1862 r. **Friedrich Wöhler** otrzymał węglik wapnia CaC_2 (karbid). Te dwa odkrycia umożliwiły opracowanie metody **otrzymywania acetylenu**. A to z kolei przyczyniło się do skonstruowania lampy nazywanej **karbidówką**. Jej wynalezienie pod koniec XIX w. znacznie poprawiło warunki pracy górników. Korzystali z niej też kolejarze, grotołazi, wykorzystywano ją również jako oświetlenie w samochodach i rowerach. Prosta konstrukcja, trwałość i niski koszt eksploatacji spowodowały, że lamp karbidowych (fot. 28.) używa się do dzisiaj. Zestaw wykorzystywany w alpinizmie jaskiniowym składa się z wytwornicy acetylenu połączonej wężykiem z palnikiem umieszczonym na kasku. Wytwarzane tym sposobem światło rozprasza się lepiej niż światło elektryczne i jest łagodniejsze dla oczu. Karbidówki składają się z dwóch komór. W górnej 1 znajduje się woda, która kapie do dolnej komory 2 wypełnionej karbidem. Jednym z produktów zachodzącej reakcji chemicznej jest etyn C_2H_2 odprowadzany rurką 3 do palnika 4. Grotołaz może zmienić wysokość płomienia zaworem 5, który reguluje przepływ wody.



Fot. 28. W XIX w. karbidówkę powszechnie stosowano m.in. do oświetlania wagonów kolejowych i statków. W czasie II wojny światowej była wykorzystywana do oświetlania mieszkań.

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Napisz nazwy systematyczne związków chemicznych o podanych wzorach półstrukturalnych.

a) $CH_3-C\equiv C-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$

b) $CH_2=\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{C}}-C\equiv C-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{C}}}}-CH_3$

c) $CH_3-C\equiv C-\underset{\displaystyle CH_2-CH_3}{\underset{|}{CH}}-\overset{\displaystyle Cl}{\overset{|}{CH}}-CH=CH_2$

2. Napisz wzory półstrukturalne związków chemicznych o podanych nazwach.

a) 3-bromobut-1-yn b) 3,3-dichloroheks-1-en-4-yn c) 3,3-dimetylopent-1,4-diyn

3. Napisz wzór półstrukturalny węglowodoru, w którego cząsteczce występuje dziewięć wiązań typu σ i dwa wiązania typu π. Podaj nazwę systematyczną tego związku chemicznego.

4. Porównaj zawartość procentową węgla (procent masowy) **w etanie, etenie** i **etynie.**

5. Mieszanina gazów stosowana w butlach acetylenowo-tlenowych zawiera zazwyczaj 0,7 m^3 acetylenu na każdy 1 m^3 tlenu. **Oblicz, czy objętość gazów w butlach** (w przeliczeniu na warunki normalne) **wystarczy do przeprowadzenia reakcji spalania całkowitego acetylenu, czy też jeden z nich występuje w butli w nadmiarze.**

6. But-1-yn poddano reakcji addycji chlorowodoru przy stosunku molowym substratów 1 : 1. Następnie w odpowiednich warunkach przeprowadzono polimeryzację produktu pierwszego etapu reakcji. **Napisz wzór półstrukturalny otrzymanego polimeru.**

8. Węglowodory aromatyczne – areny. Benzen

Węglowodory aromatyczne (areny) są związkami chemicznymi o budowie pierścieniowej. Ich nazwa związana jest z częstym występowaniem tych węglowodorów w olejkach żywicznych, które mają przyjemne zapachy. Mimo że wiele arenów nie ma zapachu, nadal używa się nazwy „węglowodory aromatyczne".

Najważniejszym przedstawicielem arenów jest **benzen** (rys. 15.). Do węglowodorów aromatycznych zalicza się także **jego homologi** – metylobenzen (toluen), etylobenzen, propylobenzen – **oraz ich izomery**, a także **wielopierścieniowe związki aromatyczne**, np. naftalen i antracen.



Rys. 15. Model cząsteczki benzenu.

Modele atomów:
węgla wodoru

Występowanie benzenu

Benzen powstaje zarówno podczas procesów naturalnych, m.in. wybuchów wulkanów (fot. 29.) oraz pożarów lasów, jak i jako produkt działalności człowieka. Benzen w dużym stężeniu występuje w pobliżu dróg szybkiego ruchu, stacji benzynowych i zakładów rafineryjnych. Dopuszczalne stężenie tego związku chemicznego w atmosferze (na terenie Polski) wynosi 5 $\frac{\mu g}{m^3}$. Stężenie benzenu zwiększa się w sezonie grzewczym – powodem jest spalanie paliw kopalnych i odpadów, m.in. z tworzyw sztucznych. Benzen występuje też w dymie papierosowym.



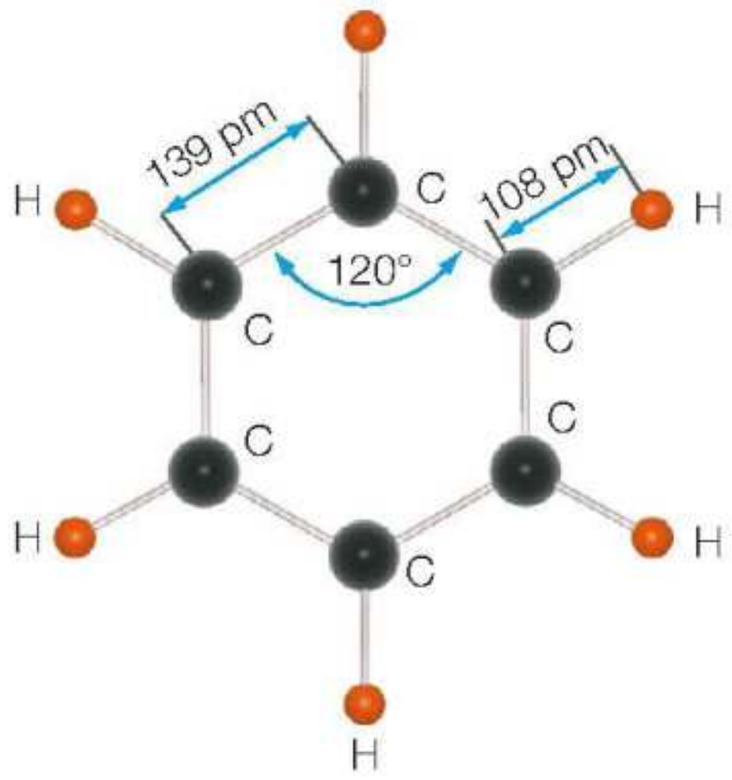
Fot. 29. Podczas erupcji wulkanu do atmosfery trafia wiele związków chemicznych, m.in. C_6H_6, NH_3, HCl, H_2S i CH_4.

Reaktywność benzenu

Cząsteczka benzenu jest płaska (rys. 16.), a tworzące ją atomy węgla znajdują się w wierzchołkach sześciokąta foremnego. Każdy z atomów węgla jest połączony z jednym atomem wodoru. Wszystkie wiązania między atomami węgla w cząsteczce benzenu mają jednakową długość , która wynosi 139 pm. Są więc krótsze od wiązań pojedynczych, ale nieco dłuższe od wiązań podwójnych. Wszystkie kąty między wiązaniami C—C i C—H wynoszą po 120°.

długość wiązania pojedynczego: 154 pm

długość wiązania podwójnego: 133 pm



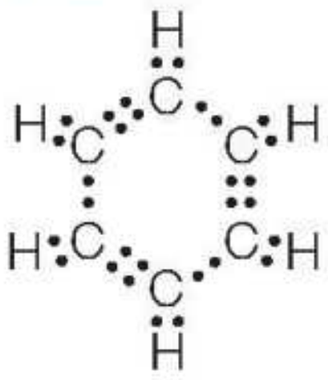
Rys. 16. Model budowy cząsteczki benzenu.

Pierścień aromatyczny jest bardzo trwały ze względu na obecność wiązania zdelokalizowanego. W reakcjach chemicznych zachowuje się podobnie jak cząsteczki związków nasyconych.

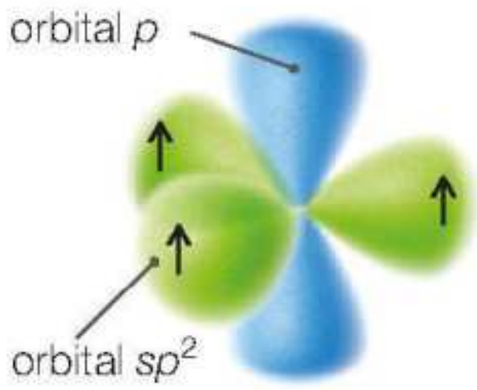
Budowa cząsteczki benzenu

Liczba atomów wodoru w cząsteczce benzenu jest znacznie mniejsza od liczby atomów wodoru w cząsteczce alkanu, który zawiera taką samą liczbę atomów węgla.

Wzór elektronowy kropkowy cząsteczki benzenu:

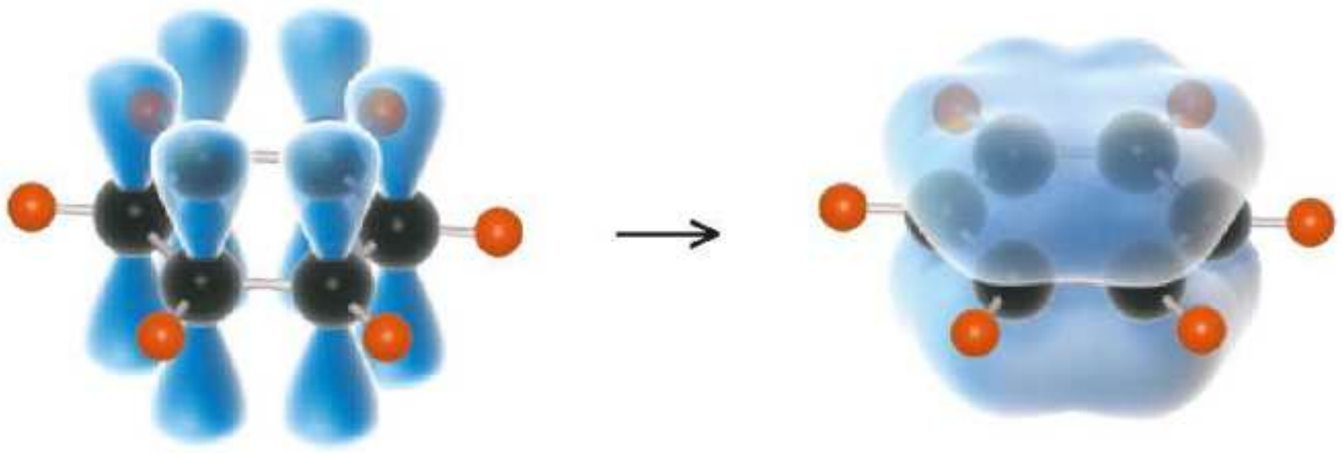


Atomy wchodzące w skład cząsteczki benzenu mają łącznie 30 elektronów walencyjnych, czyli 24 elektrony walencyjne atomów węgla i 6 elektronów walencyjnych atomów wodoru. Do utworzenia wiązań pojedynczych C–C i C–H potrzeba 24 elektronów. Rozmieszczenie pozostałych 6 elektronów walencyjnych oraz budowę cząsteczki benzenu można wyjaśnić w następujący sposób. Orbitale atomowe węgla w cząsteczce benzenu ulegają hybrydyzacji sp^2 (rys. 17.). Każdy atom węgla wykorzystuje dwa orbitale zhybrydyzowane sp^2 do utworzenia wiązań typu σ między atomami węgla. Trzeci orbital tworzy wiązanie typu σ łączące atom węgla z atomem wodoru.



Rys. 17. Model hybrydyzacji sp^2 orbitali atomowych węgla.

Hybrydyzacja orbitali atomowych sp^2 wyjaśnia **płaską budowę pierścienia benzenowego**. Orbitale atomowe p, które nie biorą udziału w hybrydyzacji, są prostopadłe do płaszczyzny pierścienia i ulegają bocznemu nakładaniu się, tak jak przy tworzeniu wiązania typu π (rys. 18.). W ten sposób tworzy się kołowy **molekularny obszar orbitalny typu π**, zajmowany przez 6 elektronów pochodzących od 6 atomów węgla cząsteczki benzenu. Powstaje wiązanie obejmujące wszystkie atomy węgla pierścienia benzenowego.



Rys. 18. Model tworzenia zdelokalizowanych orbitali typu π (zdelokalizowane wiązanie typu π).

Wiązanie w pierścieniu benzenowym nosi nazwę **wiązania zdelokalizowanego** i jest charakterystyczne dla wszystkich związków aromatycznych.

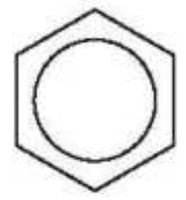
Wiązanie zdelokalizowane tworzą elektrony znajdujące się w molekularnym obszarze orbitalnym typu π. Elektrony te oddziałują z sześcioma jądrami atomowymi węgla w benzenie lub inną liczbą jąder atomowych w pozostałych węglowodorach aromatycznych.

Delokalizację elektronów można przedstawić graficznie za pomocą okręgu wpisanego w pierścień benzenowy. Boki sześciokąta foremnego przedstawiają wiązania między atomami węgla. **Okrąg symbolizuje 6 elektronów równomiernie rozłożonych w całej cząsteczce**. Taki wzór nie pozwala jednak wyjaśnić mechanizmów reakcji, jakim ulega benzen.

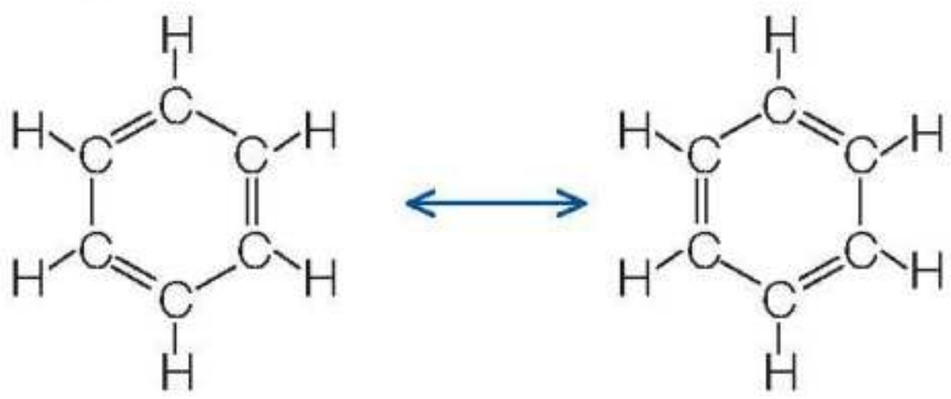
Wzory strukturalne benzenu

Wielu chemików próbowało wyjaśnić sprzeczność między składem cząsteczki benzenu, wskazującym na charakter nienasycony tego związku chemicznego, a jego właściwościami, które są charakterystyczne dla związków nasyconych. Pierwsze rozwiązanie zaproponował w 1866 r. **Friedrich August Kekulé**. Według jego teorii cząsteczka benzenu ma strukturę pierścieniową, a atomy węgla wiążą się w niej na przemian wiązaniami pojedynczymi i podwójnymi, przy czym wiązania te **oscylują** (przemieszczają się) w cząsteczce:

Wzór uproszczony benzenu:

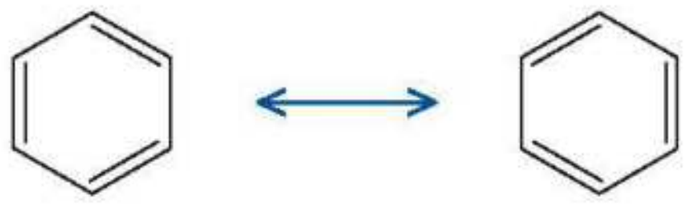


wzory Kekulégo



wzory strukturalne benzenu

lub prościej:

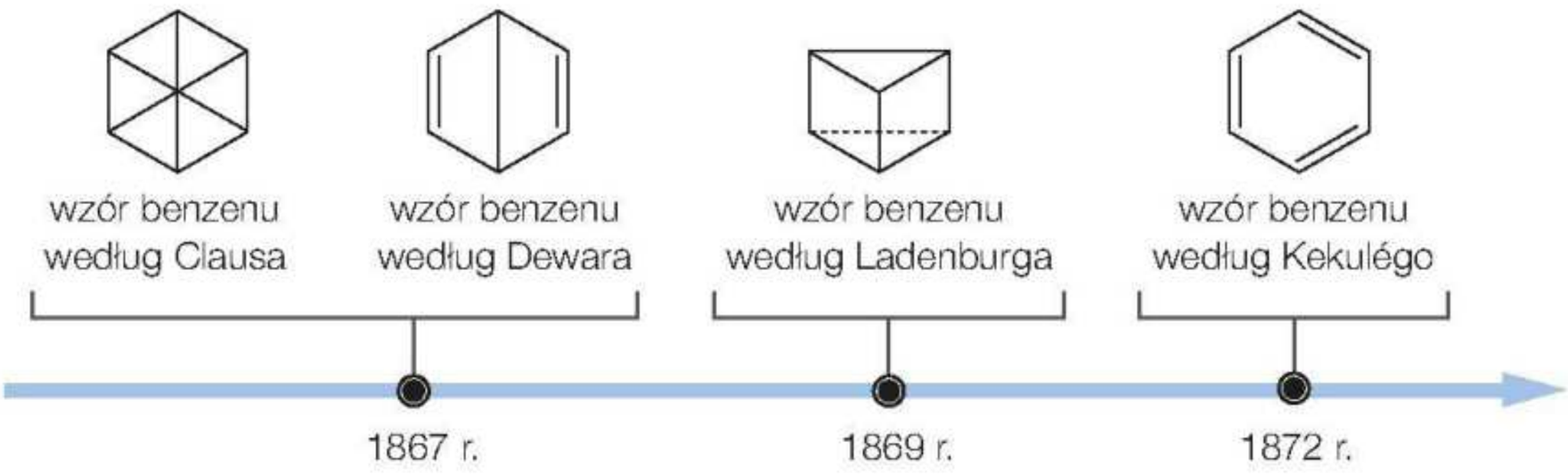


wzory szkieletowe benzenu

Jednak gdyby benzen miał budowę sugerowaną przez Kekulégo, powinien łatwo ulegać reakcjom addycji. W rzeczywistości **addycja zachodzi trudno**, a najbardziej **typowe dla benzenu są reakcje substytucji**.

Odkrycia, które zmieniły świat – pierścieniowa budowa cząsteczki benzenu

Friedrich August Kekulé, przedstawiając w 1866 r. pierścieniową budowę cząsteczki benzenu, zapoczątkował chemię związków aromatycznych (rys. 19.). Nie był to jego jedyny wkład w rozwój chemii organicznej. W 1857 r. udowodnił, że węgiel jest czterowartościowy, a rok później, że atomy węgla mogą tworzyć związki chemiczne o budowie łańcuchowej.



Rys. 19. Zaproponowana przez Kekulégo koncepcja wzoru benzenu nie została początkowo uznana, ponieważ wzór ten nie odzwierciedlał aromatycznych właściwości węglowodoru. W kolejnych latach pojawiały się propozycje innych chemików, ale ostatecznie w 1872 r. zaakceptowano wzór Kekulégo.

Reakcje chemiczne benzenu

Doświadczenie 13.



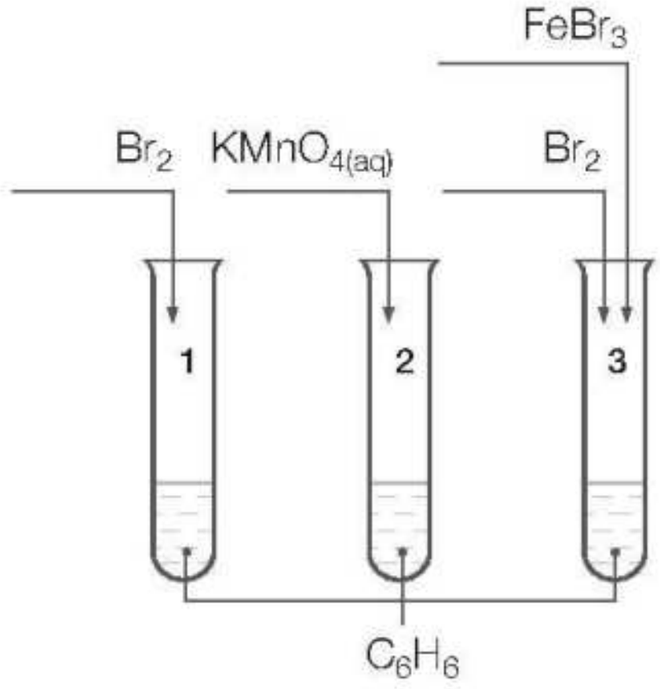
Badanie właściwości benzenu

! Benzen jest trucizną i ma właściwości rakotwórcze. Z tego powodu należy zachować szczególną ostrożność podczas doświadczalnego badania właściwości benzenu.

Odczynniki: benzen, wodny roztwór manganianu(VII) potasu, roztwór bromu, bromek żelaza(III), woda.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, bagietki, palnik, zlewka, uniwersalny papierek wskaźnikowy.

Instrukcja: Szklaną bagietkę należy zanurzyć w benzenie i zbliżyć do płomienia palnika. Do trzech probówek należy wlać po 2 cm^3 benzenu. Do probówki 1. dolać 1 cm^3 roztworu bromu, do probówki 2. – 1 cm^3 wodnego roztworu manganianu(VII) potasu, a do probówki 3. – 1 cm^3 roztworu bromu i dodać kilka kryształków bromku żelaza(III) (schemat). Probówkę 3. należy umieścić w zlewce z wrzącą wodą. Zawartości probówek wymieszać bagietką, a następnie wstrząsać. U wylotu probówki 3. należy umieścić zwilżony wodą uniwersalny papierek wskaźnikowy.



! W tym doświadczeniu należy użyć roztworu fluorowca w rozpuszczalniku organicznym, np. CCl_4.



Fot. 30. Pod wpływem powietrza benzen spala się. Produktami są węgiel i woda.

Obserwacje: Benzen na szklanej bagietce spala się kopcącym płomieniem (fot. 30.). Roztwór bromu w probówce 1. oraz roztwór manganianu(VII) potasu w probówce 2. nie odbarwiły się (patrz fot. 31., s. 101). W probówce 3. roztwór bromu odbarwił się, a zwilżony wodą uniwersalny papierek wskaźnikowy zabarwił się na czerwono.

Wniosek: Benzen jest bezbarwną cieczą o charakterystycznym zapachu. W probówce 2. (patrz fot. 31., s. 101) stanowi on górną warstwę, ponieważ ma gęstość mniejszą od gęstości wody i nie rozpuszcza się w niej. Spala się kopcącym płomieniem, co świadczy o dużej zawartości procentowej węgla w tym związku chemicznym.



Fot. 31. Zachowanie benzenu wobec: roztworu bromu, roztworu $KMnO_4$, roztworu bromu z $FeBr_3$.

Reakcje spalania benzenu przedstawiają równania:

$$2\,C_6H_6 + 15\,O_2 \longrightarrow 12\,\mathbf{CO_2} + 6\,H_2O$$
benzen, tlen, tlenek węgla(IV), woda — spalanie całkowite C_6H_6

$$2\,C_6H_6 + 9\,O_2 \longrightarrow 12\,\mathbf{CO} + 6\,H_2O$$
benzen, tlen, tlenek węgla(II), woda — spalanie niecałkowite C_6H_6

$$2\,C_6H_6 + 3\,O_2 \longrightarrow 12\,\mathbf{C} + 6\,H_2O$$
benzen, tlen, węgiel, woda

Benzen reaguje z bromem, jednak nie pod wpływem światła jak alkany. Reakcja chemiczna zachodzi w obecności katalizatora – bromku żelaza(III) $FeBr_3$ (fot. 31.). Produktami są **bromobenzen** C_6H_5Br oraz bromowodór HBr. Zachodzi więc reakcja substytucji, którą przedstawia równanie:

$$C_6H_6 + Br_2 \xrightarrow{FeBr_3} C_6H_5Br + HBr$$
benzen, brom, bromobenzen, bromowodór — substytucja elektrofilowa

W tej reakcji chemicznej benzen zachowuje się jak związek nasycony – następuje substytucja (podstawienie) atomu wodoru w pierścieniu benzenowym przez atom bromu.

Jeśli mieszanina bromu i benzenu będzie poddawana promieniowaniu nadfioletowemu, zajdzie **stopniowa addycja** bromu do benzenu. Jej końcowym produktem jest **1,2,3,4,5,6-heksabromocykloheksan**:

$$C_6H_6 + 3\,Br_2 \xrightarrow{UV} C_6H_6Br_6$$
benzen, brom, 1,2,3,4,5,6-heksabromocykloheksan — addycja Br_2

Innym przykładem reakcji przyłączania jest **addycja wodoru** do benzenu w obecności katalizatora. Produktem tej reakcji chemicznej jest **cykloheksan**:

$$C_6H_6 + 3\,H_2 \xrightarrow{kat.,\ p,\ T} C_6H_{12}$$
benzen, wodór, cykloheksan — addycja H_2

Na podstawie powyższych przykładów można sformułować wniosek, że **w zależności od warunków reakcji chemicznej benzen zachowuje się jak związek nasycony lub nienasycony**.

Reguła Hückla i aromatyczność

Reguła Hückla – związki aromatyczne charakteryzują się płaską budową pierścieni oraz obecnością $4n + 2$ elektronów zdelokalizowanych.

Związki aromatyczne – areny – charakteryzują się płaską budową pierścieniową cząsteczek i obecnością zdelokalizowanych elektronów π. Zgodnie z regułą, którą przedstawił niemiecki fizyk **Erich Hückel** [czyt. eriś huke], cząsteczkę uznaje się za aromatyczną, gdy:

- ma płaską budowę pierścieniową,
- zawiera $4n + 2$ zdelokalizowanych elektronów π, gdzie n jest liczbą naturalną ($n = 0, 1, 2, 3, \ldots$).

Oznacza to, że cząsteczki, które mają np.: **2**, **6**, **10**, **14** elektronów π, są aromatyczne.

Cząsteczka z 6 zdelokalizowanymi elektronami π **jest aromatyczna**, np. benzen:



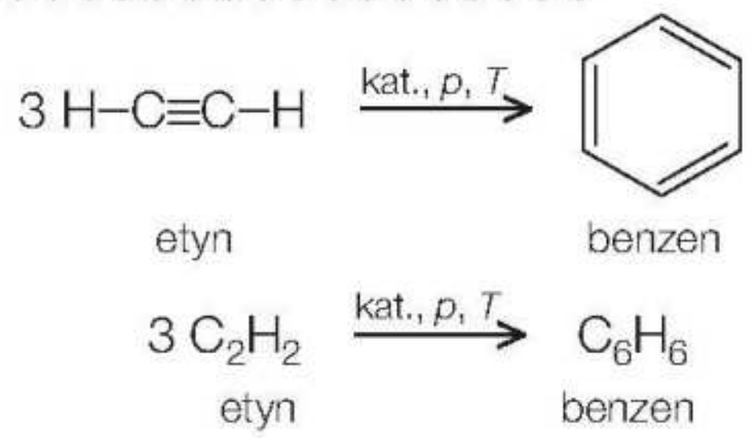
Cząsteczka z 4 elektronami π **nie jest aromatyczna**, np. cyklobutadien:



Otrzymywanie benzenu

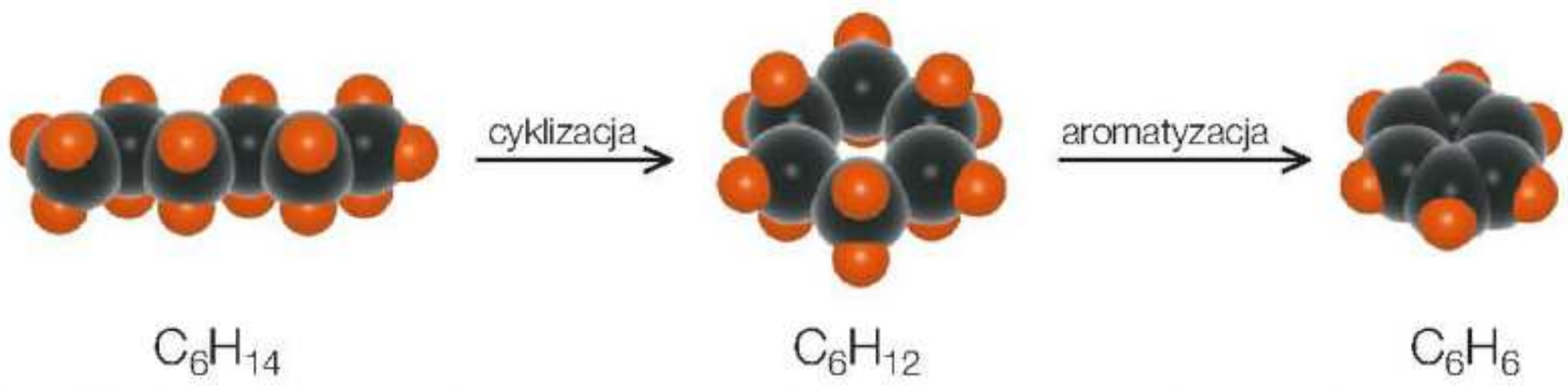
Benzen jest produktem destylacji smoły węglowej, którą otrzymuje się podczas przeróbki ropy naftowej (patrz s. 128). Powstaje również w reakcji trimeryzacji trzech cząsteczek acetylenu:

trimeryzacja C_2H_2



Benzen można także otrzymać z ropy naftowej w procesie **reformingu** (patrz s. 135). Węglowodory nasycone o prostych łańcuchach węglowych przekształcają się wówczas w węglowodory aromatyczne (rys. 20.).

Modele atomów:
węgla wodoru



Rys. 20. Uproszczony schemat powstawania benzenu w procesie reformingu.

Reakcja bromowania benzenu

substytucja elektrofilowa

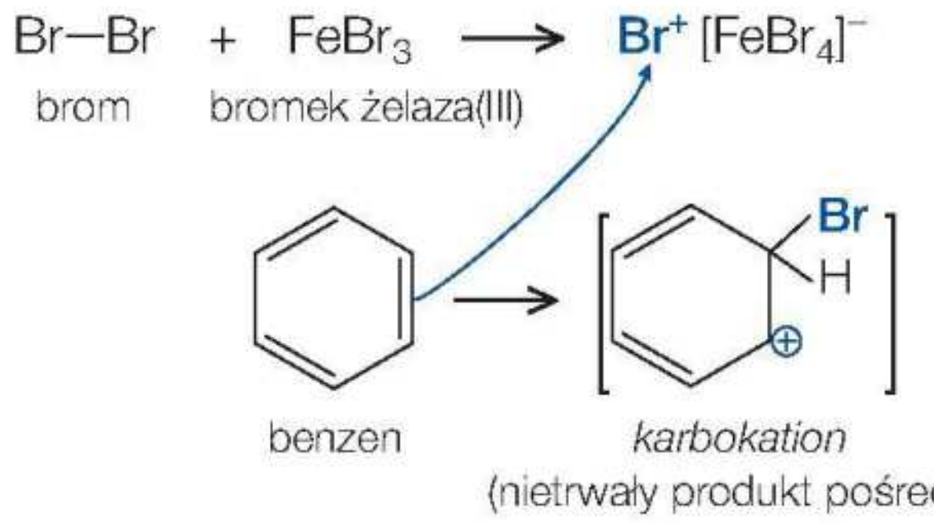
Charakterystycznymi reakcjami węglowodorów aromatycznych są reakcje substytucji elektrofilowej. Przykładem takiej reakcji chemicznej jest **bromowanie benzenu**. Podczas bromowania alkenów brom przyłącza się do wiązania podwójnego. Natomiast z benzenem reaguje jedynie w obecności katalizatora, którym najczęściej jest bromek żelaza(III) $FeBr_3$.

Reakcja substytucji elektrofilowej zachodzi dwuetapowo:

Etap I. W pierwszym etapie wiązanie kowalencyjne w cząsteczce bromu ulega rozpadowi pod wpływem pary elektronów cząsteczki benzenu. Katalizator ułatwia powstanie elektrofilu, którym w reakcji bromowania jest jon Br^+. Następnie powstaje nowe wiązanie między atomem węgla w pierścieniu i kationem bromu:

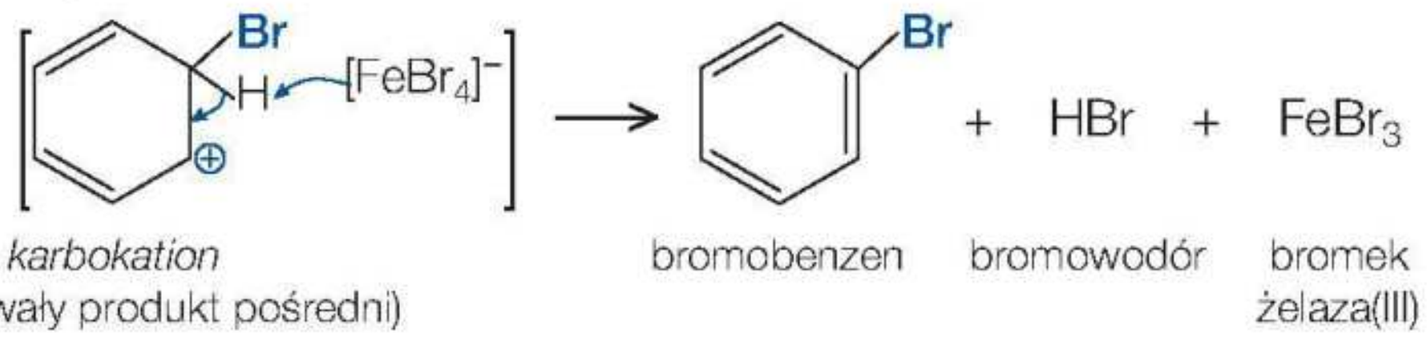
Elektrofil: Br^+

Nukleofil:

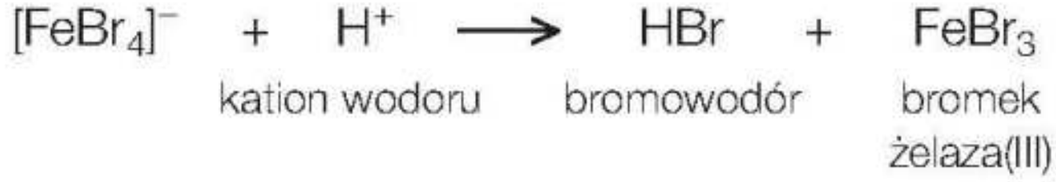


Podczas tworzenia produktu pośredniego zanika cykliczna delokalizacja elektronów w pierścieniu benzenowym.

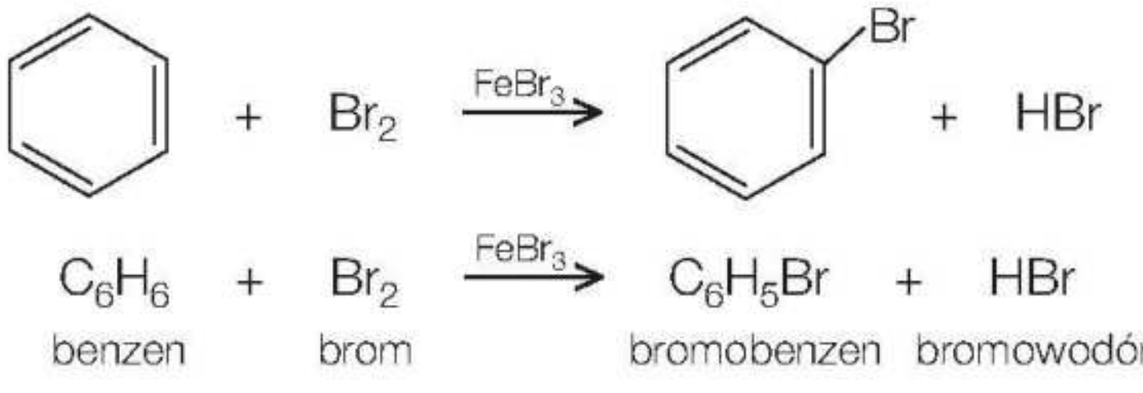
Etap II. W drugim etapie reakcji bromowania benzenu układ aromatyczny odtwarza się przez odłączenie kationu wodoru od produktu pośredniego. Powstają bromobenzen oraz bromowodór jako produkt uboczny:



Odtwarza się również cząsteczka katalizatora $FeBr_3$:



Sumaryczne równanie reakcji bromowania benzenu ma postać:



Reakcja nitrowania benzenu

substytucja elektrofilowa

Innym przykładem substytucji elektrofilowej jest **reakcja nitrowania benzenu** (fot. 32.). Przeprowadza się ją przy użyciu **mieszaniny nitrującej**. Jest to mieszanina stężonego roztworu kwasu azotowego(V) i stężonego roztworu kwasu siarkowego(VI). W reakcji nitrowania stężony roztwór kwasu siarkowego(VI) odgrywa podwójną rolę:

Elektrofil: NO_2^+

Nukleofil: 

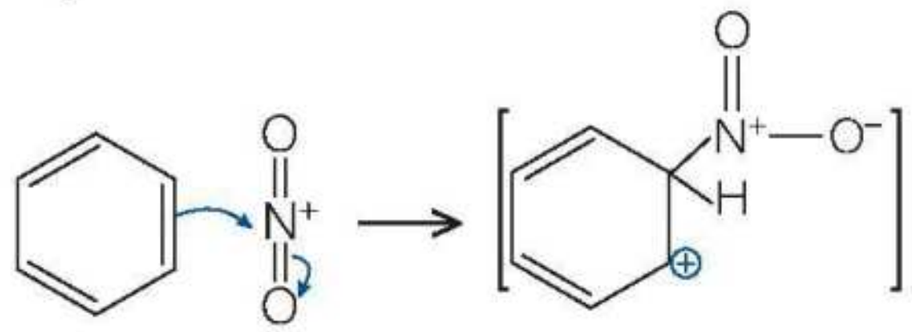
- powoduje wytworzenie w stężonym roztworze HNO_3 **kationu nitroniowego NO_2^+**:

$$\underset{\text{kwas azotowy(V)}}{HNO_{3(stęż.)}} + 2\,\underset{\text{kwas siarkowy(VI)}}{H_2SO_{4(stęż.)}} \longrightarrow \underset{\text{kation nitroniowy}}{NO_2^+} + \underset{\text{anion wodorosiarczanowy(VI)}}{2\,HSO_4^-} + \underset{\text{jon oksoniowy}}{H_3O^+}$$

- jako związek higroskopijny wiąże wodę powstałą w reakcji nitrowania.

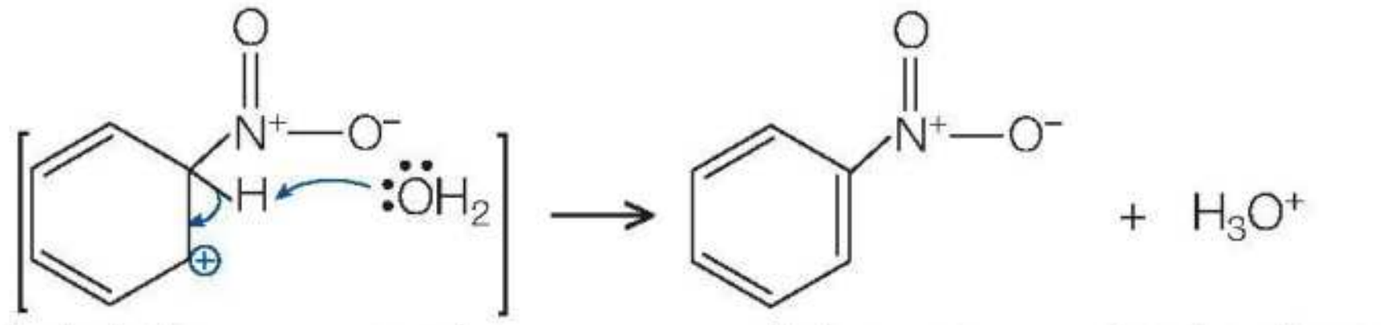
Reakcja substytucji elektrofilowej zachodzi dwuetapowo:

Etap I. W pierwszym etapie elektrofil, którym jest kation nitroniowy NO_2^+, reaguje z elektronami π pierścienia benzenowego. Powstaje wówczas produkt pośredni – karbokation:



benzen — kation nitroniowy — *karbokation* (nietrwały produkt pośredni)

Etap II. W drugim etapie układ aromatyczny odtwarza się przez odłączenie kationu wodoru od produktu pośredniego:

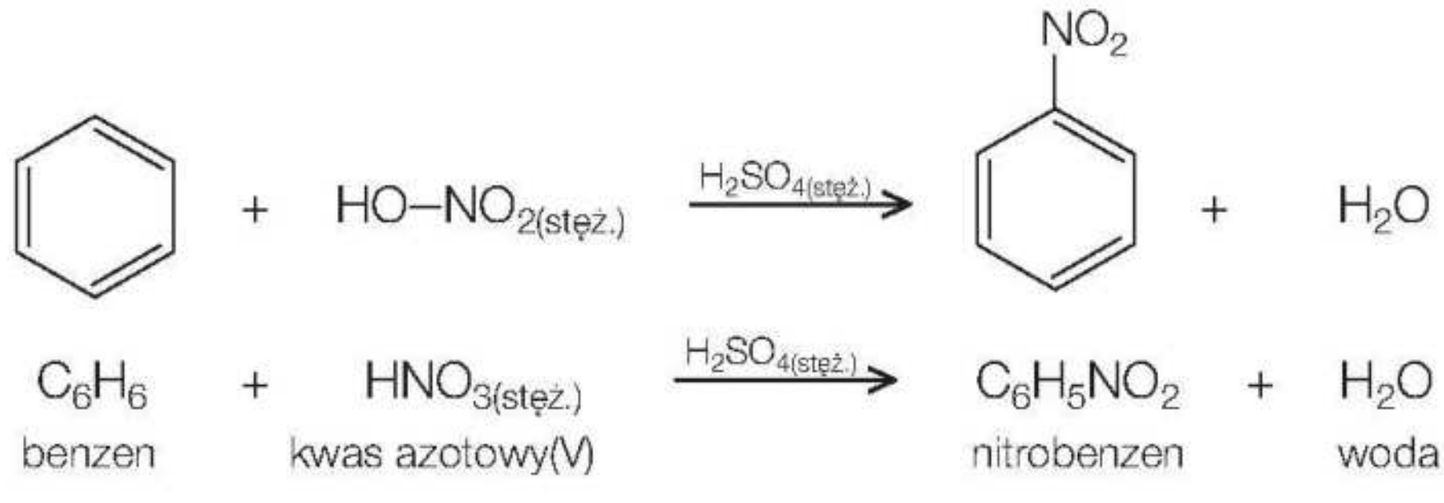


karbokation (nietrwały produkt pośredni) — woda — nitrobenzen — jon oksoniowy



Fot. 32. Nitrowanie jest reakcją egzoenergetyczną. Zazwyczaj przeprowadza się je w temperaturze ok. 60–70°C. Dlatego kolbę reakcyjną trzeba ochładzać, zanurzając ją w zimnej wodzie.

Sumaryczne równanie reakcji nitrowania benzenu ma postać:



$$C_6H_6 + HNO_{3(stęż.)} \xrightarrow{H_2SO_{4(stęż.)}} C_6H_5NO_2 + H_2O$$

benzen — kwas azotowy(V) — nitrobenzen — woda

Reakcja sulfonowania benzenu

substytucja elektrofilowa

Reakcją substytucji elektrofilowej jest także **reakcja sulfonowania benzenu**. Przeprowadza się ją przy użyciu stężonego roztworu kwasu siarkowego(VI) lub tzw. dymiącego kwasu siarkowego(VI), czyli **oleum** (roztwór SO_3 w stężonym roztworze H_2SO_4). Atom wodoru w cząsteczce benzenu zostaje podstawiony przez grupę **sulfonową** $-SO_3H$.

Elektrofil: SO_3H^+ albo SO_3

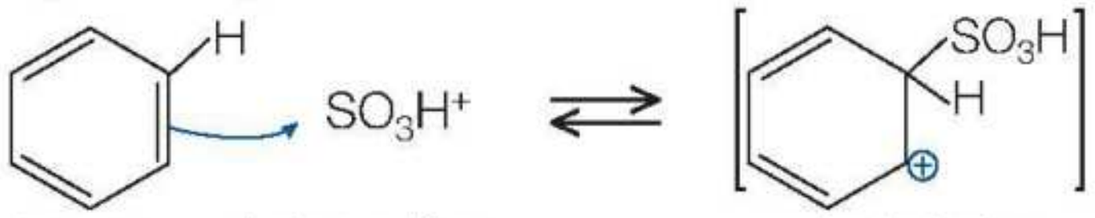
Nukleofil: 

Reakcja sulfonowania benzenu przebiega dwuetapowo:

Etap I. W pierwszym etapie elektrofil, którym jest kation sulfonowy SO_3H^+, otrzymywany jest w reakcji chemicznej:

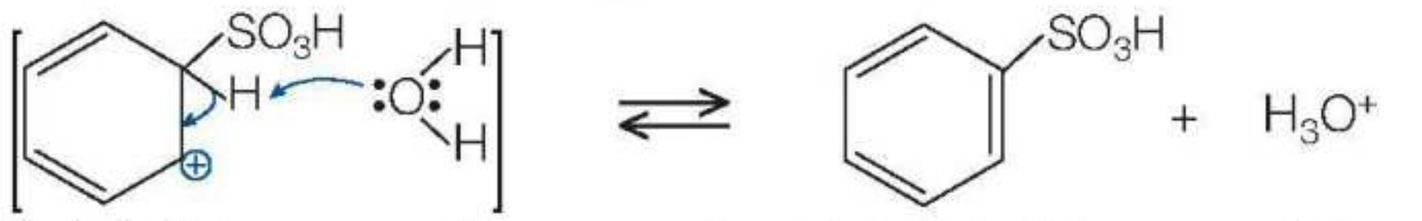
$$\underset{\text{kwas siarkowy(VI)}}{2\,H_2SO_{4(\text{stęż.})}} \rightleftharpoons \underset{\substack{\text{kation}\\\text{sulfonowy}}}{SO_3H^+} + \underset{\substack{\text{anion}\\\text{wodorosiarczanowy(VI)}}}{HSO_4^-} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

Reaguje on z elektronami π pierścienia benzenowego. Powstaje wówczas produkt pośredni – *karbokation*:



benzen — kation sulfonowy — *karbokation* (nietrwały produkt pośredni)

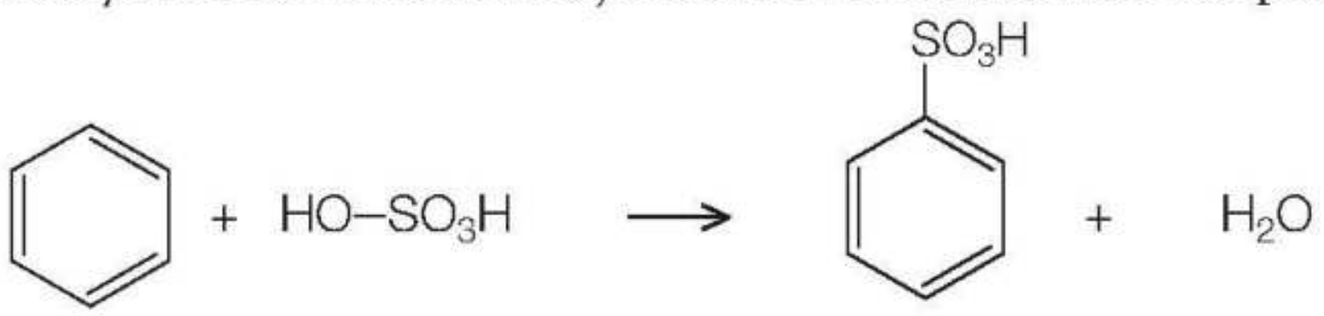
Etap II. W drugim etapie układ aromatyczny odtwarza się przez odłączenie kationu wodoru od produktu pośredniego:



karbokation (nietrwały produkt pośredni) — woda — kwas benzenosulfonowy — jon oksoniowy

$$\underset{\substack{\text{anion wodorosiarczanowy(VI)}}}{HSO_4^-} + \underset{\text{jon oksoniowy}}{H_3O^+} \longrightarrow \underset{\text{kwas siarkowy(VI)}}{H_2SO_4} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

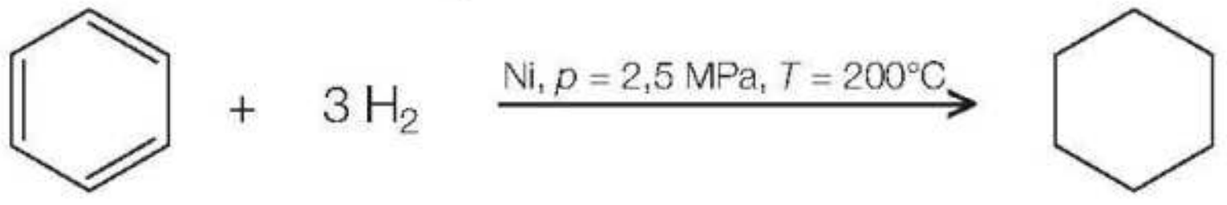
Sumaryczne równanie reakcji sulfonowania benzenu ma postać:



$$\underset{\text{benzen}}{C_6H_6} + \underset{\text{kwas siarkowy(VI)}}{H_2SO_4} \longrightarrow \underset{\text{kwas benzenosulfonowy}}{C_6H_5SO_3H} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

Reakcja katalitycznego uwodornienia benzenu

Przykładem **reakcji addycji** do cząsteczki benzenu jest reakcja uwodornienia benzenu. Zachodzi ona w temperaturze 200°C, pod ciśnieniem 2,5 MPa i w obecności niklu jako katalizatora:



benzen — wodór — cykloheksan

addycja H_2

Szereg homologiczny benzenu

Benzen jest podstawowym węglowodorem aromatycznym. Wzór ogólny związków szeregu homologicznego benzenu ma postać:

Wzór ogólny związków szeregu homologicznego benzenu

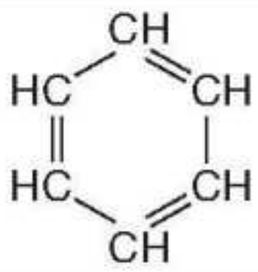
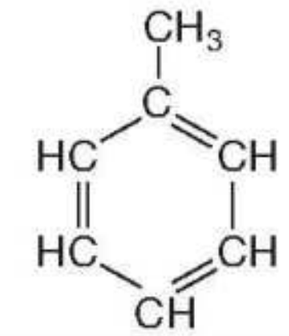
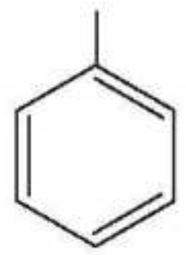
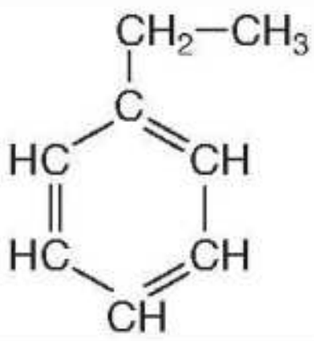
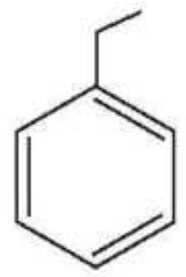
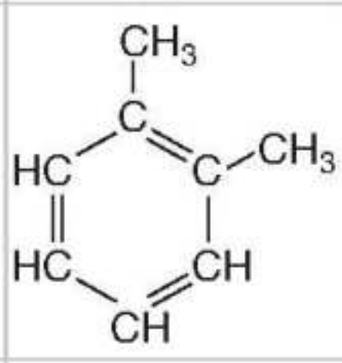
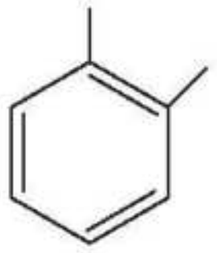
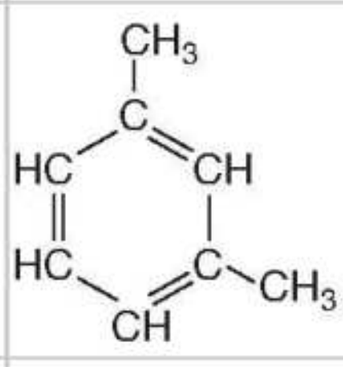
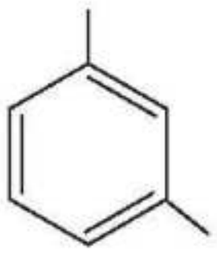
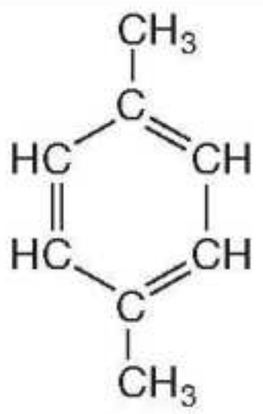
$$C_nH_{2n-6}$$

gdzie:

n – liczba atomów węgla w cząsteczce węglowodoru aromatycznego.

Szereg homologiczny benzenu (tabela 12.) tworzą benzen i jego homologi, np. etylobenzen oraz jego izomery – ksyleny.

Tabela 12. Szereg homologiczny benzenu

Liczba atomów węgla w cząsteczce	Nazwa węglowodoru aromatycznego	Wzory		
		sumaryczny	półstrukturalny	szkieletowy
6	benzen	C_6H_6		
7	metylobenzen (toluen)	C_7H_8		
8	etylobenzen	C_8H_{10}		
8	1,2-dimetylobenzen *orto*ksylen *o*-ksylen	C_8H_{10}		
8	1,3-dimetylobenzen *meta*ksylen *m*-ksylen	C_8H_{10}		
8	1,4-dimetylobenzen *para*ksylen *p*-ksylen	C_8H_{10}		

Nazewnictwo arenów

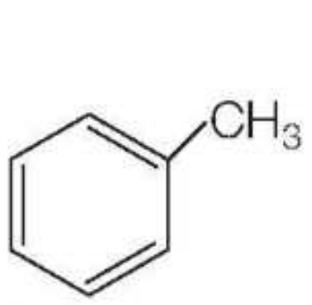
Nazwy pochodnych benzenu tworzy się, dodając nazwę podstawnika do słowa „benzen". Położenie podstawników określają numery atomów węgla w pierścieniu, czyli tzw. lokanty. Kierunek numeracji powinien być taki, aby były one jak najmniejsze.

Jeżeli z pierścieniem jest połączony tylko jeden podstawnik, to nie podaje się jego lokanta, ponieważ zawsze będzie on równy jeden.

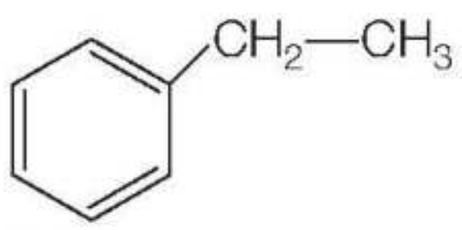
Nazwy grup alkilowych oraz innych grup, będących podstawnikami przy atomach węgla w pierścieniu benzenu, należy wymieniać w porządku alfabetycznym, a nie w kolejności wynikającej z numeracji.

Jeżeli związek zawiera dwa takie same podstawniki, przed nazwą podstawnika należy dodać odpowiedni przedrostek. Jednak do tworzenia nazw węglowodorów aromatycznych nie zawsze stosuje się reguły przyjęte dla innych węglowodorów.

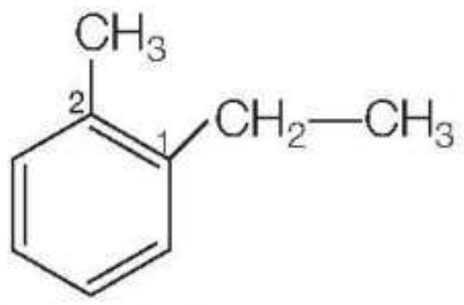
Na przykład dla benzenu nie używa się nazwy cykloheks-1,3,5-trien, gdyż cząsteczka benzenu nie zawiera wiązań podwójnych, tylko wiązanie zdelokalizowane typu π:



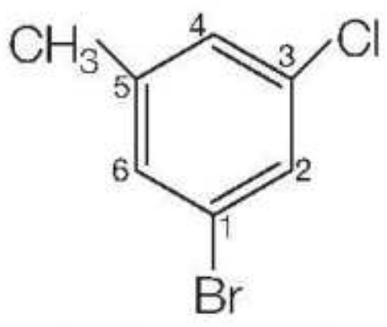
metylobenzen



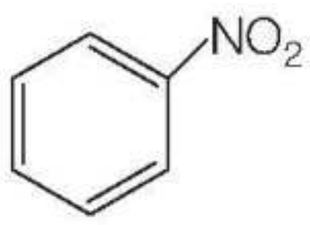
etylobenzen



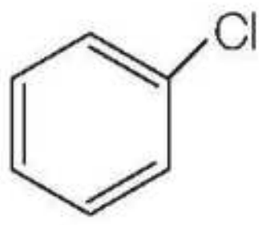
1-etylo-2-metylobenzen



1-bromo-3-chloro-5-metylobenzen



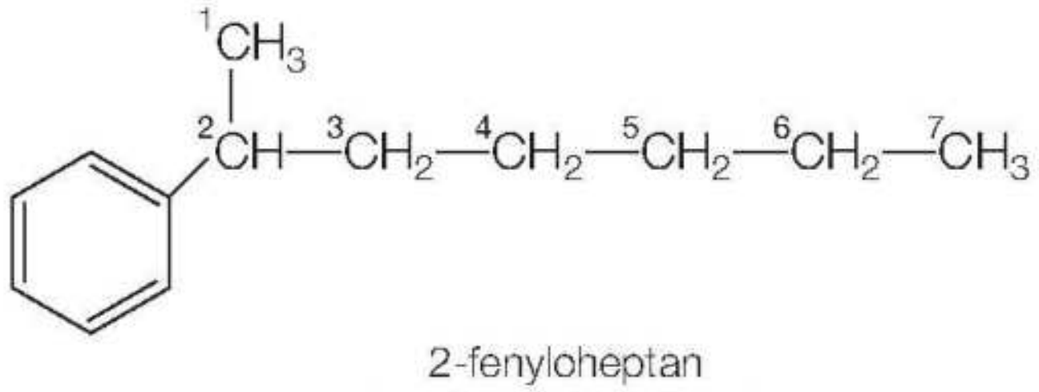
nitrobenzen



chlorobenzen

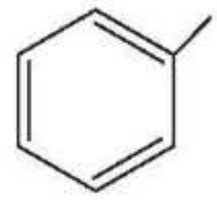
Benzen nie zawsze jest głównym elementem cząsteczki związku aromatycznego. Jeśli podstawnik zawiera sześć lub mniej atomów węgla, nazwę związku chemicznego tworzy się podobnie jak w przypadku podstawionych pochodnych benzenu.

Jeśli jednak grupa alkilowa dołączona do pierścienia benzenowego zawiera więcej niż sześć atomów węgla, pierścień aromatyczny traktuje się jako podstawnik, np. **fenyl** lub **benzyl**:

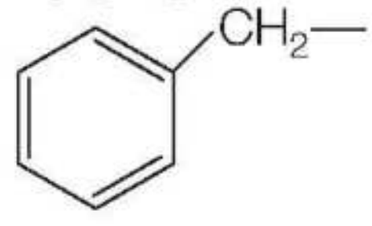


2-fenyloheptan
(heptan-2-ylobenzen)

grupa fenylowa (fenyl)
C_6H_5-



grupa benzylowa (benzyl)
$C_6H_5CH_2-$



Zastosowania

Benzen

Stosowany jest jako rozpuszczalnik m.in. wosków, tłuszczów, farb i lakierów.





■ Przemysł chemiczny

Nitrobenzen wykorzystuje się do produkcji **materiałów wybuchowych**, np. trinitrobenzenu (TNB). Jest to związek chemiczny o dużej sile wybuchu stosowany m.in. w minach przeciwpiechotnych.

■ Przemysł tworzyw sztucznych

W wyniku alkilowania benzenu powstaje etylobenzen – substrat w procesie otrzymywania polistyrenu, wykorzystywanego do produkcji **styropianu**.

■ Przemysł lakierniczy

Trifenylometan – pochodna metanu, w której trzy atomy wodoru zostały zastąpione pierścieniami benzenowymi – jest jednym z podstawowych składników wielu **barwników syntetycznych**.

Chemia w medycynie

W wyniku reakcji sulfonowania benzenu powstaje kwas benzenosulfonowy. Stosuje się go do produkcji **leków zwiotczających mięśnie szkieletowe**. Leki te umożliwiają dokonanie intubacji podczas znieczulenia ogólnego w czasie zabiegów chirurgicznych.



Izomeria konstytucyjna arenów

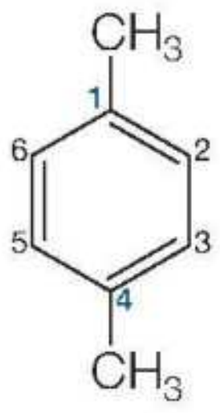
Węglowodory aromatyczne tworzą izomery konstytucyjne. Homologiem benzenu jest **dimetylobenzen** – ksylen. Dwa atomy wodoru benzenu zostały zastąpione przez grupy metylowe. **Położenie** tych dwóch **grup może być różne**, co odpowiada różnym izomerom ksylenu. W celu ich odróżnienia w ich nazwach zwyczajowych stosuje się przedrostki *„**orto**-”*, *„**meta**-”*, *„**para**-”*. Przedrostki *„orto-”*, *„meta-”* i *„para-”* można zastąpić skrótami *„**o**-”*, *„**m**-”*, *„**p**-”*:



1,2-dimetylobenzen
ortoksylen
o-ksylen

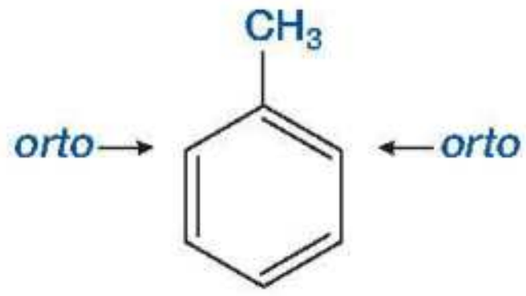


1,3-dimetylobenzen
metaksylen
m-ksylen

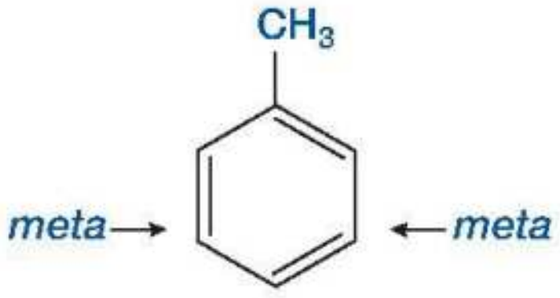


1,4-dimetylobenzen
paraksylen
p-ksylen

Położenie ***orto***:



Położenie ***meta***:



Położenie ***para***:



Przedrostki *„orto-”*, *„meta-”* i *„para-”* stosuje się wtedy, gdy w pierścieniu znajdują się dwa podstawniki.

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Napisz wzory półstrukturalne związków chemicznych o podanych nazwach systematycznych.

a) 1,3-dinitrobenzen

b) 1,2,5-trimetylobenzen

c) *o*-dibromobenzen

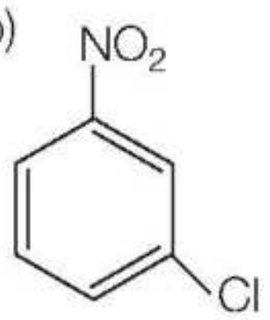
d) 1-chloro-2,3-dimetylobenzen

2. Napisz nazwy systematyczne związków chemicznych o podanych wzorach.

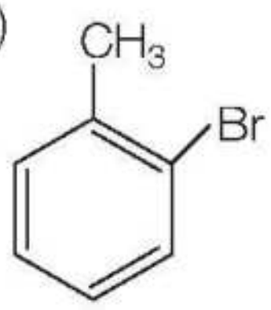
a)



b)



c)



3. Zaplanuj ciąg przemian umożliwiających otrzymanie benzenu z węgla i odpowiednich odczynników nieorganicznych. Napisz równania reakcji chemicznych.

4. Napisz równanie reakcji chemicznej etylobenzenu z manganianem(VII) potasu, wiedząc, że produktami tej reakcji chemicznej są tlenek manganu(IV), wodorotlenek potasu, tlenek węgla(IV) i kwas benzoesowy C_6H_5COOH. Dobierz współczynniki stechiometryczne metodą bilansu elektronowego. Wskaż utleniacz, reduktor, procesy utleniania i redukcji.

5. Chlorowanie benzenu jest reakcją substytucji elektrofilowej. Benzen reaguje z chlorem w obecności katalizatora, którym jest chlorek żelaza(III). **Wyjaśnij mechanizm tej reakcji, zapisując odpowiednie równania reakcji chemicznych.**

9. Metylobenzen – toluen



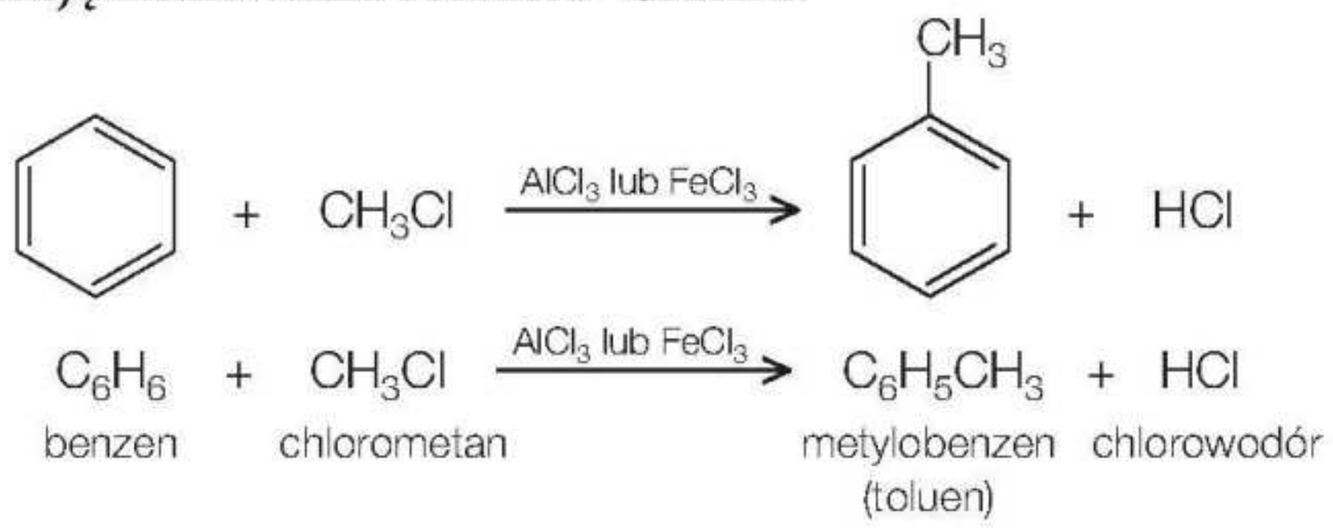
Rys. 21. Model cząsteczki metylobenzenu (toluenu).

Modele atomów:
węgla wodoru

Metylobenzen (toluen) $C_6H_5CH_3$ (rys. 21.) należy do węglowodorów aromatycznych i jest homologiem benzenu – związki te należą do tego samego szeregu homologicznego.

Otrzymywanie metylobenzenu

Metylobenzen można otrzymać w reakcji **alkilowania benzenu**, nazywanej **reakcją alkilowania Friedela–Craftsa**:



Reakcja alkilowania Friedela–Craftsa – reakcja benzenu z fluorowcopochodnymi węglowodorów (np. CH_3Cl, CH_2CH_3Cl).

substytucja elektrofilowa

Reakcje chemiczne metylobenzenu

Doświadczenie 14.



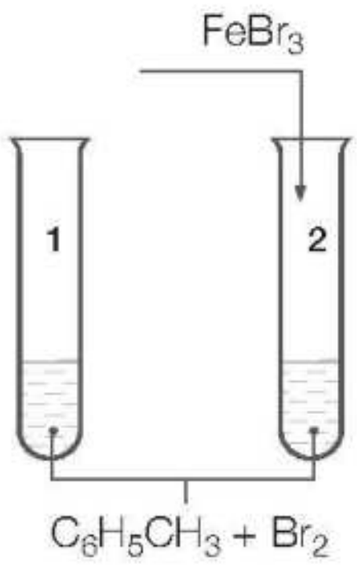
Badanie właściwości metylobenzenu

Metylobenzen jest trucizną i ma właściwości rakotwórcze. Z tego powodu należy zachować szczególną ostrożność podczas doświadczalnego badania jego właściwości.

Odczynniki: metylobenzen, roztwór bromu, bromek żelaza(III).

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, uniwersalne papierki wskaźnikowe, bagietka, palnik, źródło światła.

Instrukcja: Szklaną bagietkę zanurz w metylobenzenie i zbliż do płomienia palnika. Do dwóch probówek wlej po 2 cm^3 metylobenzenu i 1 cm^3 roztworu bromu. Probówkę 1. naświetlaj. Do probówki 2. dodaj kilka kryształków bromku żelaza(III) (schemat) i wymieszaj jej zawartość. U wylotu probówek umieść zwilżone uniwersalne papierki wskaźnikowe.



W tym doświadczeniu należy użyć roztworu fluorowca w rozpuszczalniku organicznym, np. CCl_4.

Obserwacje: Metylobenzen na szklanej bagietce spala się kopcącym płomieniem. Po dodaniu roztworu bromu do probówki 1. jej zawartość zabarwia się na pomarańczowo (patrz fot. 33., s. 111). Po naświetlaniu



Fot. 33. Barwa uniwersalnego papierka wskaźnikowego po dodaniu roztworu bromu do toluenu w probówce 1. lub toluenu z bromkiem żelaza(III) w probówce 2.

w probówce 1. powoli zanika barwa bromu i wydziela się substancja powodująca zmianę barwy uniwersalnego papierka wskaźnikowego z żółtej na czerwoną. W probówce 2. szybko następuje odbarwienie cieczy, a uniwersalny papierek wskaźnikowy zmienia barwę z żółtej na czerwoną.
Wniosek: Metylobenzen jest bezbarwną cieczą o charakterystycznym zapachu. Jednym z produktów spalania toluenu jest sadza. Jej obecność świadczy o dużej zawartości procentowej węgla w tym związku chemicznym.

Reakcje spalania toluenu przedstawiają równania:

$$\underset{\text{metylobenzen}}{C_6H_5CH_3} + \underset{\text{tlen}}{2\,O_2} \longrightarrow \underset{\text{węgiel}}{7\,\mathbf{C}} + \underset{\text{woda}}{4\,H_2O}$$

spalanie niecałkowite $C_6H_5CH_3$

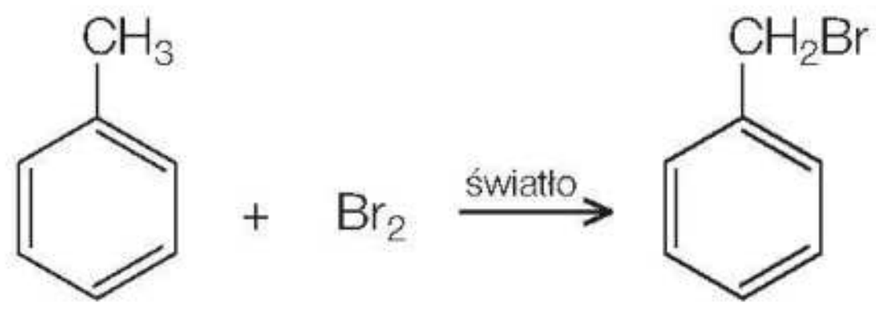
$$\underset{\text{metylobenzen}}{2\,C_6H_5CH_3} + \underset{\text{tlen}}{11\,O_2} \longrightarrow \underset{\text{tlenek węgla(II)}}{14\,\mathbf{CO}} + \underset{\text{woda}}{8\,H_2O}$$

Przy większym niż w powietrzu dostępie tlenu może nastąpić spalanie całkowite do tlenku węgla(IV):

$$\underset{\text{metylobenzen}}{C_6H_5CH_3} + \underset{\text{tlen}}{9\,O_2} \longrightarrow \underset{\text{tlenek węgla(IV)}}{7\,\mathbf{CO_2}} + \underset{\text{woda}}{4\,H_2O}$$

spalanie całkowite $C_6H_5CH_3$

Zmiana barwy uniwersalnego papierka wskaźnikowego na czerwoną (w probówce 1.) świadczy o wydzielaniu się substancji o odczynie kwasowym. W tym przypadku jest to bromowodór HBr – produkt uboczny bromowania toluenu:



substytucja rodnikowa

$$\underset{\text{metylobenzen}}{C_6H_5CH_3} + \underset{\text{brom}}{Br_2} \xrightarrow{\text{światło}} \underset{\text{(bromometylo)benzen}}{C_6H_5CH_2Br} + \underset{\text{bromowodór}}{HBr}$$

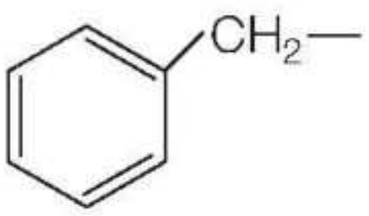
Zaszła reakcja **substytucji atomu wodoru atomem bromu w grupie metylowej (–CH_3)**, której produktem jest (bromometylo)benzen.

grupa fenylowa
C_6H_5–



Inna nazwa produktu – **bromofenylometan** – wynika z obecności w jego cząsteczce dwóch podstawników: bromu i grupy fenylowej, a podstawą tej nazwy jest metan. Grupa fenylowa (fenyl, –C_6H_5) jest przykładem **grupy arylowej**, czyli jednowartościowej grupy utworzonej formalnie przez oderwanie atomu wodoru od cząsteczki związku aromatycznego. Ogólnie oznacza się ją jako –**Ar**.

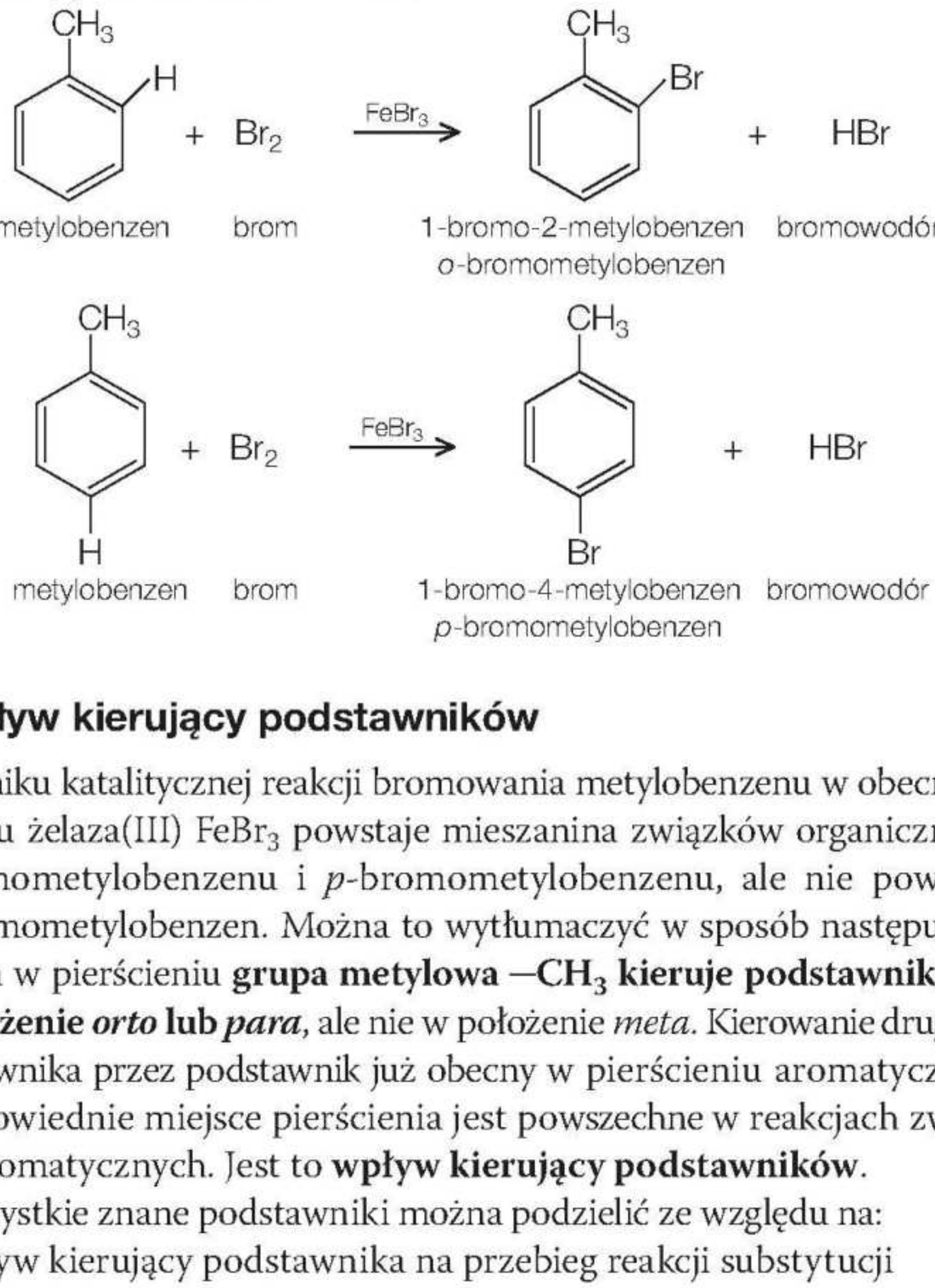
grupa benzylowa
$C_6H_5CH_2$–



Produkt tej reakcji – (bromometylo)benzen $C_6H_5CH_2Br$ – jest nazywany również **bromkiem benzylu**, gdyż grupa –$C_6H_5CH_2$ nosi nazwę **grupy benzylowej** (benzylu).

Szybkie odbarwienie zawartości probówki 2. i zmiana zabarwienia uniwersalnego papierka wskaźnikowego na czerwoną świadczą o przebiegu reakcji chemicznej podobnie jak w przypadku benzenu. $FeBr_3$ pełni funkcję katalizatora. Jest to **reakcja substytucji atomu wodoru atomem bromu w pierścieniu aromatycznym**. Drugim produktem tej reakcji chemicznej jest bromowodór HBr:

substytucja elektrofilowa



Wpływ kierujący podstawników

W wyniku katalitycznej reakcji bromowania metylobenzenu w obecności bromku żelaza(III) $FeBr_3$ powstaje mieszanina związków organicznych: *o*-bromometylobenzenu i *p*-bromometylobenzenu, ale nie powstaje *m*-bromometylobenzen. Można to wytłumaczyć w sposób następujący: obecna w pierścieniu **grupa metylowa –CH_3 kieruje podstawnik –Br w położenie *orto* lub *para***, ale nie w położenie *meta*. Kierowanie drugiego podstawnika przez podstawnik już obecny w pierścieniu aromatycznym w odpowiednie miejsce pierścienia jest powszechne w reakcjach związków aromatycznych. Jest to **wpływ kierujący podstawników**.

Wszystkie znane podstawniki można podzielić ze względu na:

- wpływ kierujący podstawnika na przebieg reakcji substytucji do pierścienia aromatycznego,
- wpływ podstawnika na reaktywność całego związku chemicznego.

Krok po kroku

Wpływ kierujący podstawników

Oznaczenia ***orto***, ***meta*** i ***para*** określają położenie dwóch podstawników względem siebie.

Podstawniki (*X*), **obecne w pierścieniu benzenowym**, wpływają na przebieg reakcji substytucji do pierścienia i rodzaj powstałego produktu. Można je podzielić następująco:

- **podstawniki I rodzaju** – kierują inne grupy, zastępujące atomy wodoru, w pozycje *orto* i *para*,
- **podstawniki II rodzaju** – kierują inne grupy, zastępujące atomy wodoru, w pozycję *meta*.

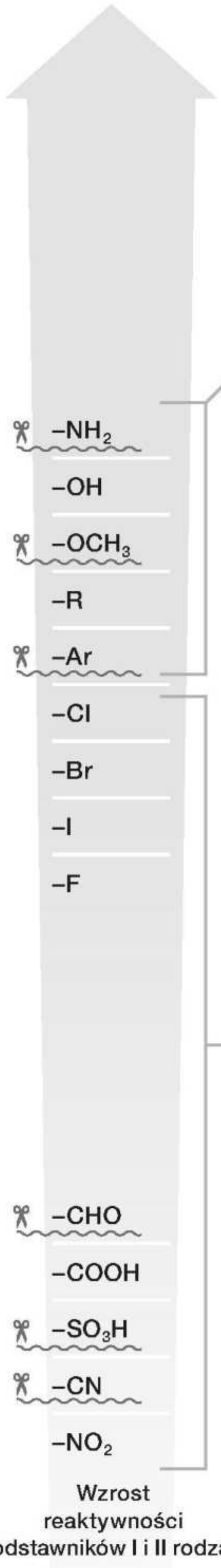
Wzory i nazwy podstawników I rodzaju (*X*)

Wzór / symbol chemiczny	Nazwa
$-NH_2$	grupa aminowa
$-OH$	grupa hydroksylowa
$-OCH_3$	grupa metoksylowa
$-R$ (np.: $-CH_3$, $-C_2H_5$)	grupa alkilowa (np.: metylowa, etylowa)
$-Ar$	grupa arylowa
$-Cl$, $-Br$, $-I$, $-F$	fluorowce

Związki chemiczne o ugrupowaniu ***para*** są przeważnie toksyczne.

Wzory i nazwy podstawników II rodzaju (*X*)

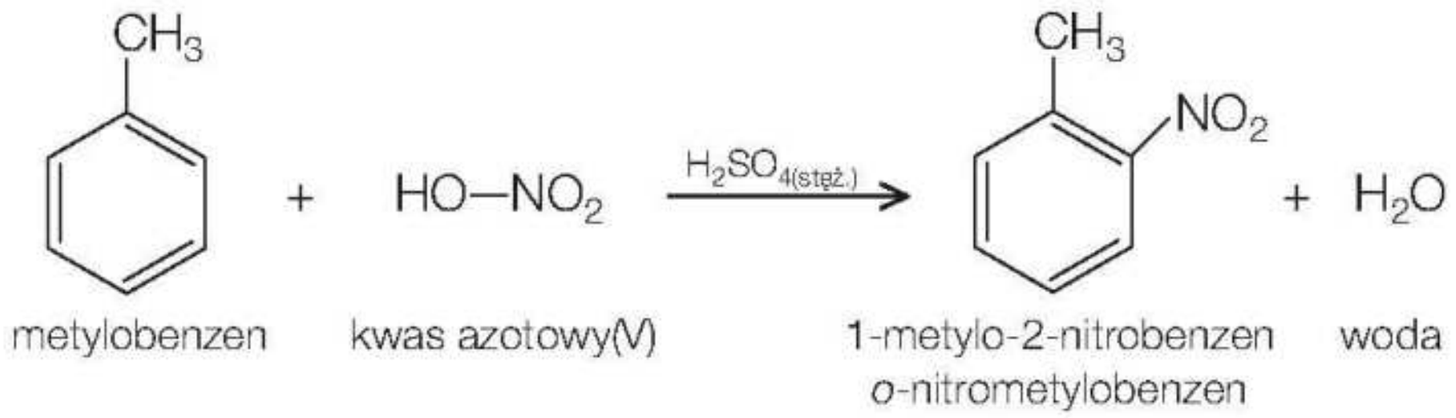
Wzór / symbol chemiczny	Nazwa
$-CHO$	grupa aldehydowa
$-COOH$	grupa karboksylowa
$-SO_3H$	grupa sulfonowa
$-CN$	grupa cyjanowa
$-NO_2$	grupa nitrowa



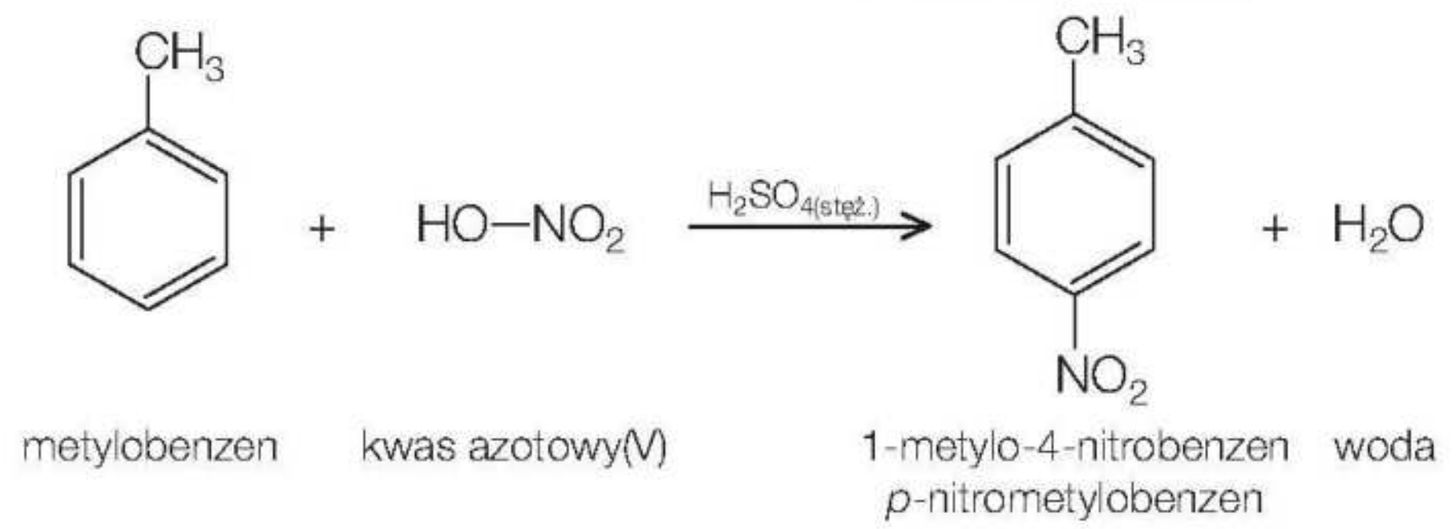
Reakcja nitrowania metylobenzenu

Metylobenzen, podobnie jak benzen i inne węglowodory aromatyczne, **ulega reakcji nitrowania**. Ze względu na obecność w pierścieniu grupy metylowej $-CH_3$ grupa nitrowa $-NO_2$ jest kierowana w położenie *orto* lub *para*:

substytucja elektrofilowa



metylobenzen — kwas azotowy(V) — 1-metylo-2-nitrobenzen *o*-nitrometylobenzen — woda

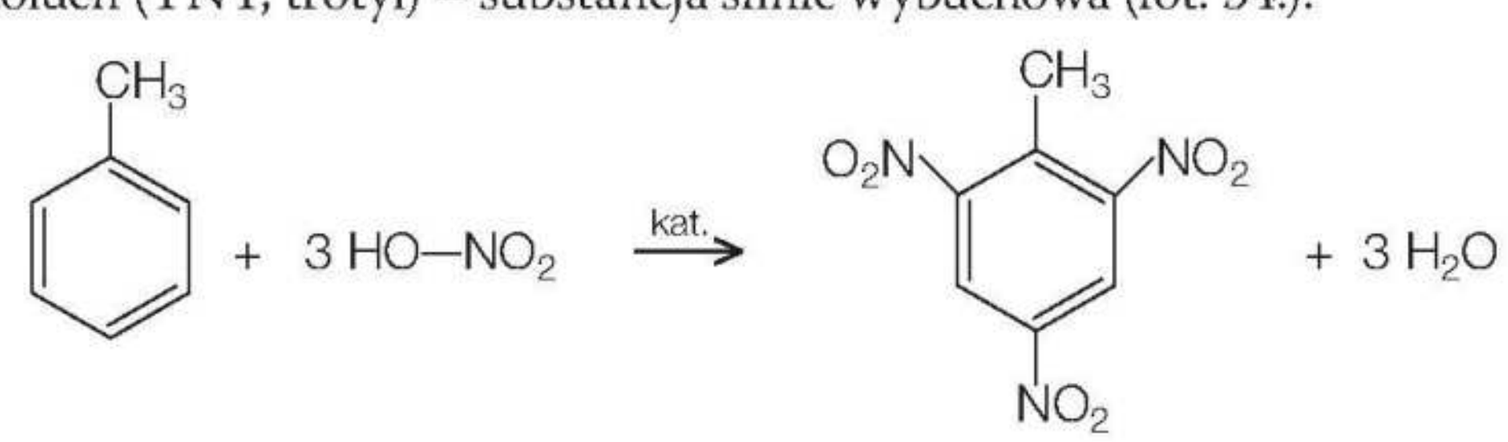


metylobenzen — kwas azotowy(V) — 1-metylo-4-nitrobenzen *p*-nitrometylobenzen — woda



Fot. 34. Trotyl służy dziś jako wzorzec siły wybuchu, np. moc bomb atomowych podaje się w kilotonach lub megatonach trotylu. Bomba Little Boy, zrzucona na Hiroszimę, miała moc wybuchu wynoszącą 15–16 kt TNT.

W wyniku całkowitego nitrowania metylobenzenu powstaje 2,4,6-trinitrotoluen (TNT, trotyl) – substancja silnie wybuchowa (fot. 34.):



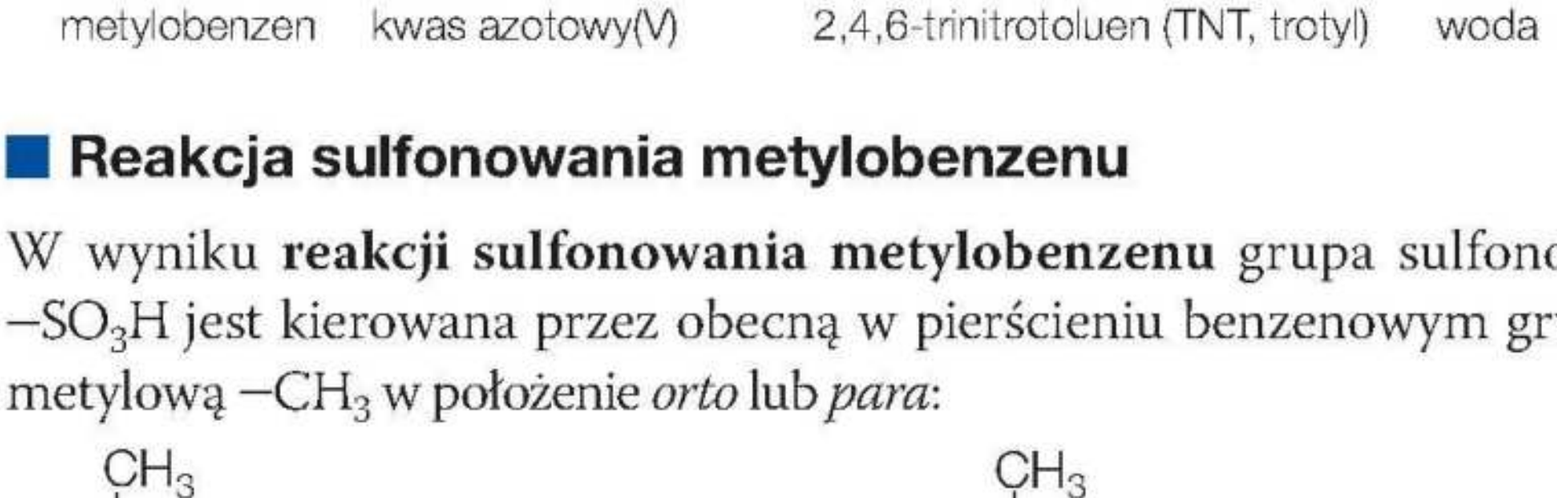
metylobenzen — kwas azotowy(V) — 2,4,6-trinitrotoluen (TNT, trotyl) — woda

Reakcja sulfonowania metylobenzenu

W wyniku **reakcji sulfonowania metylobenzenu** grupa sulfonowa $-SO_3H$ jest kierowana przez obecną w pierścieniu benzenowym grupę metylową $-CH_3$ w położenie *orto* lub *para*:

substytucja elektrofilowa

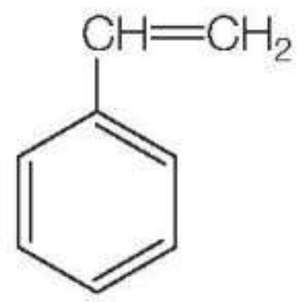
metylobenzen — kwas siarkowy(VI) — kwas *o*-metylobenzenosulfonowy — woda



metylobenzen — kwas siarkowy(VI) — kwas *p*-metylobenzenosulfonowy — woda

Budowa cząsteczki styrenu

Z pierścieniem benzenowym łączy się nie tylko grupa alkilowa, np. $-CH_3$ (jak w metylobenzenie) czy $-C_2H_5$ (w etylobenzenie). Mogą się z nim również łączyć grupy z wiązaniem podwójnym lub potrójnym. Najważniejszym związkiem chemicznym, który zawiera podstawnik z wiązaniem podwójnym, jest **etenylobenzen**, nazywany też winylobenzenem, fenyloetenem, fenyloetylenem lub **styrenem**. Nazwa systematyczna grupy $-CH=CH_2$ to **etenyl**, dlatego styren nazywa się też etenylobenzenem, a jego nazwa zwyczajowa to **winyl**.



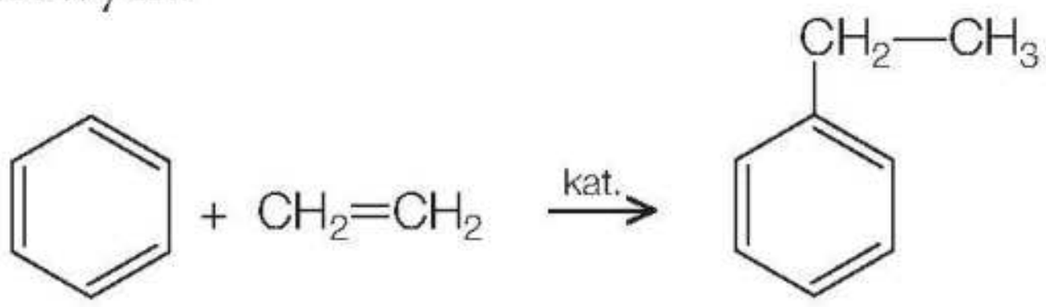
styren

grupa etenylowa (grupa winylowa)
$-CH=CH_2$

Otrzymywanie styrenu

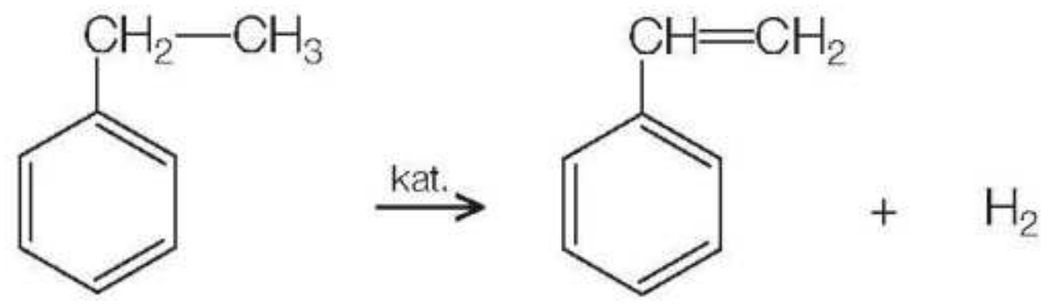
Reakcja otrzymywania styrenu zachodzi w dwóch etapach:

Etap I. Proces alkilowania benzenu z etenem w obecności katalizatorów kwasowych:



benzen eten etylobenzen

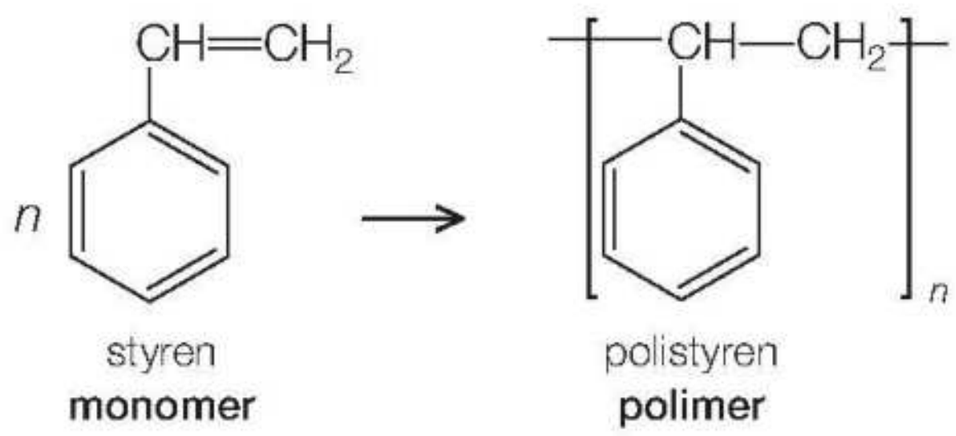
Etap II. Katalityczne odwodornienie otrzymanego etylobenzenu:



etylobenzen styren wodór

Otrzymywanie polistyrenu

Styren produkuje się przemysłowo w dużych ilościach. Służy on głównie jako substrat do produkcji popularnego tworzywa sztucznego – **polistyrenu**. Otrzymuje się go w wyniku reakcji polimeryzacji styrenu:



styren **monomer** polistyren **polimer**

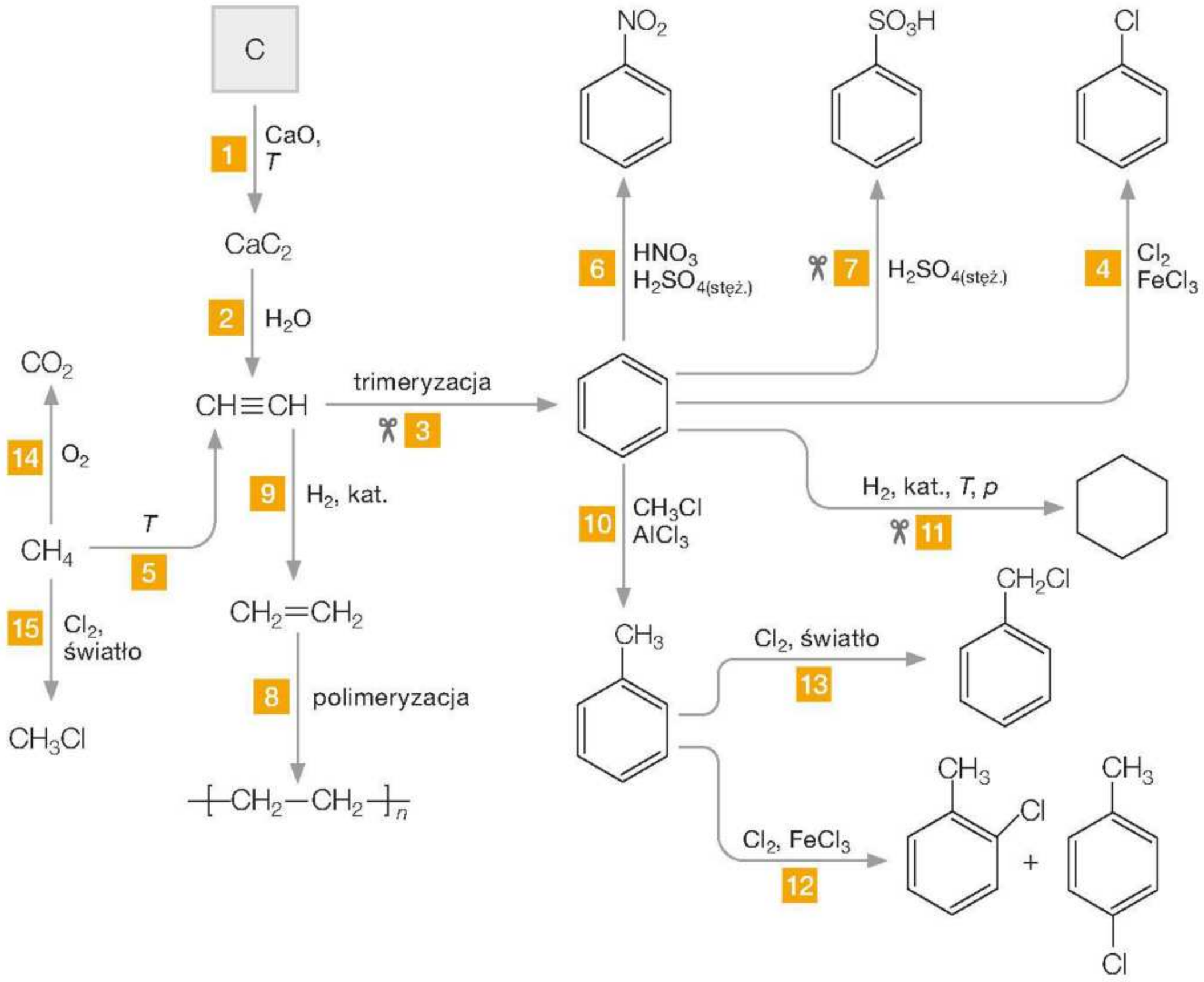


Fot. 35. Czas rozkładu opakowań ze styropianu wynosi około 500 lat, dlatego są one coraz częściej zastępowane opakowaniami biodegradowalnymi.

Właściwości polistyrenu

Polistyren jest odporny na działanie związków nieorganicznych i służy do wyrobu wielu przedmiotów codziennego użytku (fot. 35.). Spieniony polistyren to **styropian** – popularny materiał izolacyjny.

Ciągi przemian chemicznych – węglowodory



Równania reakcji chemicznych:

1 $3\,C + CaO \xrightarrow{T} CaC_2 + CO$

węgiel + tlenek wapnia → węglik wapnia + tlenek węgla(II)

2 $CaC_2 + 2\,H_2O \longrightarrow CH{\equiv}CH + Ca(OH)_2$

węglik wapnia + woda → etyn + wodorotlenek wapnia

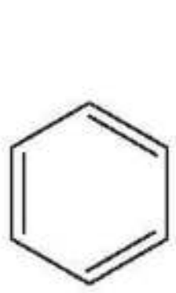
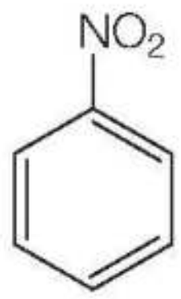
3 $3\,CH{\equiv}CH \xrightarrow{kat.,\ p,\ T}$ benzen

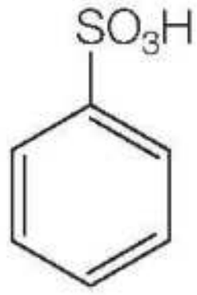
etyn

4 benzen + $Cl_2 \xrightarrow{FeCl_3}$ chlorobenzen + HCl

benzen + chlor → chlorobenzen + chlorowodór

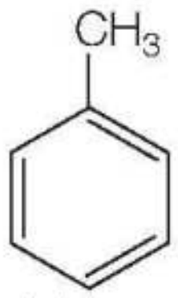
5 $2\,CH_4 \xrightarrow{T} CH{\equiv}CH + 3\,H_2$
metan — etyn — wodór

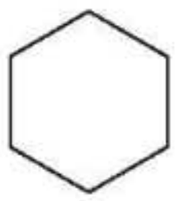
6  + $HNO_3 \xrightarrow{H_2SO_{4(stęż.)}}$  + H_2O
benzen — kwas azotowy(V) — nitrobenzen — woda

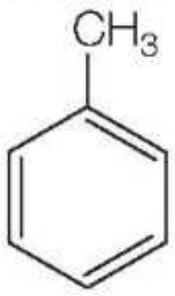
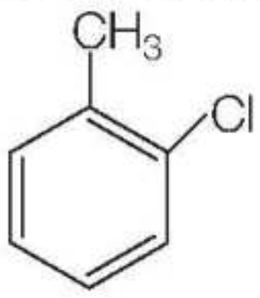
7  + $H_2SO_{4(stęż.)} \longrightarrow$  + H_2O
benzen — kwas siarkowy(VI) — kwas benzenosulfonowy — woda

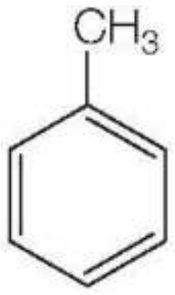
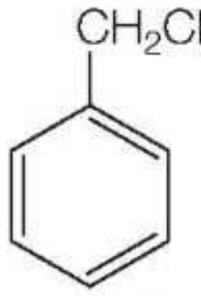
8 $n\,CH_2{=}CH_2 \xrightarrow{kat.,\ p,\ T} {-[}CH_2{-}CH_2{-]_n}$
eten — polietylen

9 $CH{\equiv}CH + H_2 \xrightarrow{kat.} CH_2{=}CH_2$
etyn — wodór — eten

10  + $CH_3Cl \xrightarrow{AlCl_3}$  + HCl
benzen — chlorometan — metylobenzen — chlorowodór

11  + $3\,H_2 \xrightarrow{kat.,\ p,\ T}$ 
benzen — wodór — cykloheksan

12 2  + $2\,Cl_2 \xrightarrow{FeCl_3}$  +  + $2\,HCl$
metylobenzen — chlor — *o*-chlorometylobenzen — *p*-chlorometylobenzen — chlorowodór

13  + $Cl_2 \xrightarrow{światło}$  + HCl
metylobenzen — chlor — (chlorometylo)benzen (chlorofenylometan) — chlorowodór

14 $CH_4 + 2\,O_2 \longrightarrow CO_2 + 2\,H_2O$
metan — tlen — tlenek węgla(IV) — woda

15 $CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{światło} CH_3Cl + HCl$
metan — chlor — chlorometan — chlorowodór



Fot. 36. Płyty styropianowe stosuje się głównie do ocieplania budynków.

Odkrycia, które zmieniły świat – spieniony polistyren

Na jedną płytę izolacyjną (fot. 36.) wyprodukowaną ze styropianu, czyli spienionego polistyrenu, składa się zaledwie 2% (procent objętościowy) tego surowca, pozostałe 98% objętości materiału stanowi powietrze. Jest to możliwe dzięki rozszerzaniu się granulek polistyrenu. Są one napełniane powietrzem lub pentanem, a następnie podgrzewane parą wodną. Pod wpływem rozprężania zawartego w nich gazu rozszerzają się, osiągając nawet 50-krotnie większy rozmiar niż na etapie początkowym. Jednocześnie stają się sprężyste, odporne na ściskanie i zachowują właściwości izolacyjne.

Styropian jest niezwykle trwały i jednocześnie tani, dlatego wykorzystuje się go w budownictwie i chłodnictwie jako materiał termoizolacyjny, a w przemyśle elektronicznym i gastronomicznym – do wytwarzania opakowań.

W warunkach naturalnych styropian się nie rozkłada, a ze względu na wysokie koszty rzadko poddaje się go recyklingowi. Niedawno odkryto, że larwy owadów mogą pomóc w pozbyciu się odpadów polistyrenowych. Bakterie *Enterobacter asburiae* oraz *Bacillus sp.*, żyjące w jelitach pewnego gatunku chrząszczy, przetwarzają polistyren na tlenek węgla(IV) i zdepolimeryzowane związki chemiczne, które są wydalane z organizmów tych owadów.

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Przeanalizuj ciągi przemian chemicznych (patrz s. 116–117) **i wykonaj polecenia** (a–g)**.**

a) Wskaż równania reakcji chemicznych, które zachodzą zgodnie z mechanizmem substytucji elektrofilowej.

b) Wskaż równania reakcji chemicznych, które zachodzą zgodnie z mechanizmem substytucji rodnikowej.

c) Wskaż równania reakcji addycji.

d) Podaj związek chemiczny, który tworzy różne produkty, zależnie od warunków reakcji chemicznej.

e) Wskaż równanie reakcji chemicznej, w wyniku której ze związku aromatycznego powstaje związek nasycony.

f) Wskaż równanie reakcji chemicznej, w wyniku której ze związku nasyconego powstaje związek nienasycony.

g) Wskaż podstawniki I i II rodzaju.

2. Napisz wzory szkieletowe związków chemicznych o podanych nazwach systematycznych.

a) *o*-dibromobenzen

b) 1-chloro-2,3-dimetylobenzen

c) *p*-chlorotoluen

d) 1,3,5-tribromobenzen

3. Napisz równanie i ustal współczynniki stechiometryczne reakcji metylobenzenu z kwasem siarkowym(VI), wiedząc, że produktami tej reakcji chemicznej są: tlenek siarki(IV), woda i aldehyd benzoesowy C_6H_5CHO. Wykaż, że jest to reakcja redoks. Wskaż procesy utleniania i redukcji oraz utleniacz i reduktor.

10. Areny wielopierścieniowe

Węglowodory aromatyczne o **pierścieniach skondensowanych** są nazywane **arenami wielopierścieniowymi**. To związki chemiczne, w których sąsiadujące ze sobą pierścienie benzenowe są połączone dwoma atomami węgla (mają jeden „bok" wspólny). Przykładami tych związków chemicznych są: **naftalen** (rys. 22.), **antracen** i **fenantren**.



Rys. 22. Model cząsteczki naftalenu.

Modele atomów:
węgla wodoru

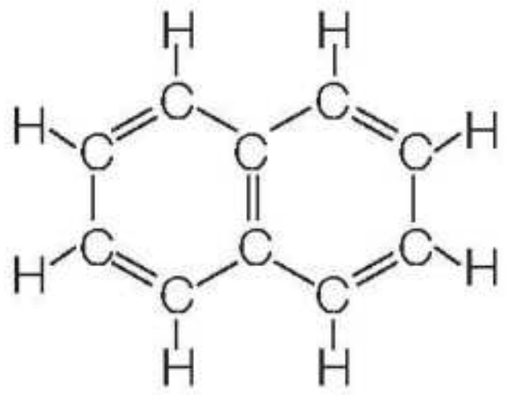
Występowanie arenów wielopierścieniowych

Głównym źródłem arenów wielopierścieniowych są paliwa kopalne: węgiel i ropa naftowa. Naftalen, antracen i fenantren są składnikami smoły węglowej, która jest produktem m.in. pirolizy węgla (patrz s. 135). Areny wielopierścieniowe powstają także w elektrowniach i elektrociepłowniach podczas procesu wytwarzania energii. W środowisku przyrodniczym występują zawsze jako składniki mieszanin. Związki te są trujące i rakotwórcze, dlatego zalicza się je do trwałych zanieczyszczeń organicznych.

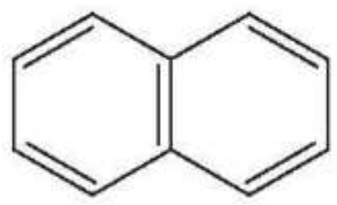
Budowa cząsteczki naftalenu

Cząsteczka **naftalenu** składa się z 10 atomów węgla oraz 8 atomów wodoru i ma wzór sumaryczny $C_{10}H_8$.

Atomy węgla tworzą dwa pierścienie benzenowe, przy czym dwa z tych atomów są wspólne dla obu pierścieni:

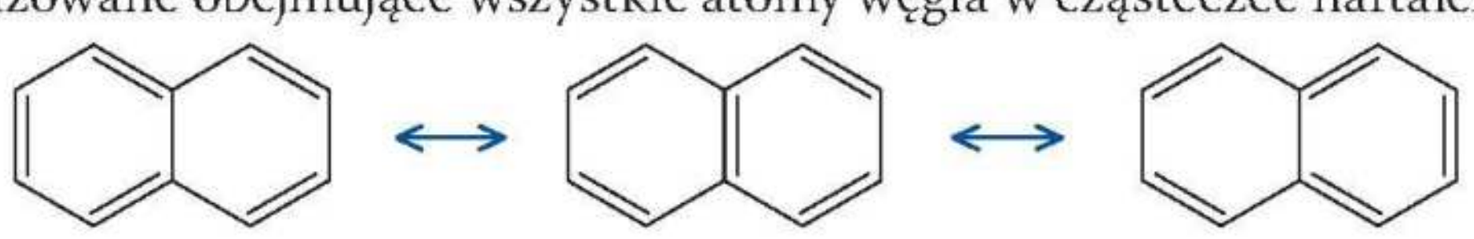


wzór strukturalny naftalenu

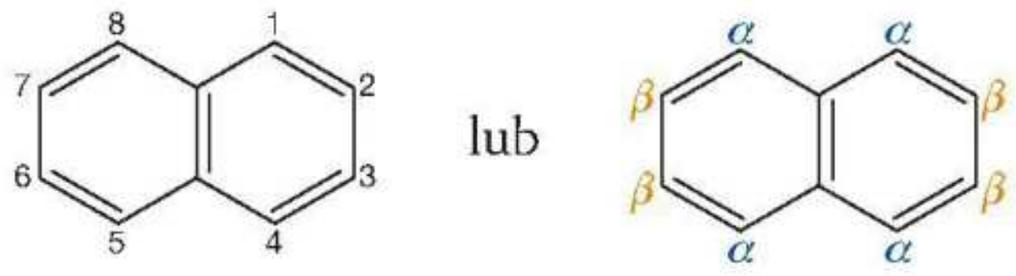


wzór szkieletowy naftalenu

Cząsteczka naftalenu zawiera 10 elektronów, które nie uczestniczą w tworzeniu wiązań pojedynczych C–C i C–H. Elektrony te, podobnie jak w cząsteczce benzenu, są zdelokalizowane i tworzą wiązanie zdelokalizowane obejmujące wszystkie atomy węgla w cząsteczce naftalenu:



Położenie podstawników zaznacza się, numerując atomy węgla w cząsteczce. Można je również określać przez podanie **pozycji** α (położenie 1, 4, 5, 8) lub **pozycji** β (położenie 2, 3, 6, 7):



Reakcje chemiczne naftalenu

Doświadczenie 15. $C_6H_5CH_3$, $C_{10}H_8$ $C_{10}H_8$

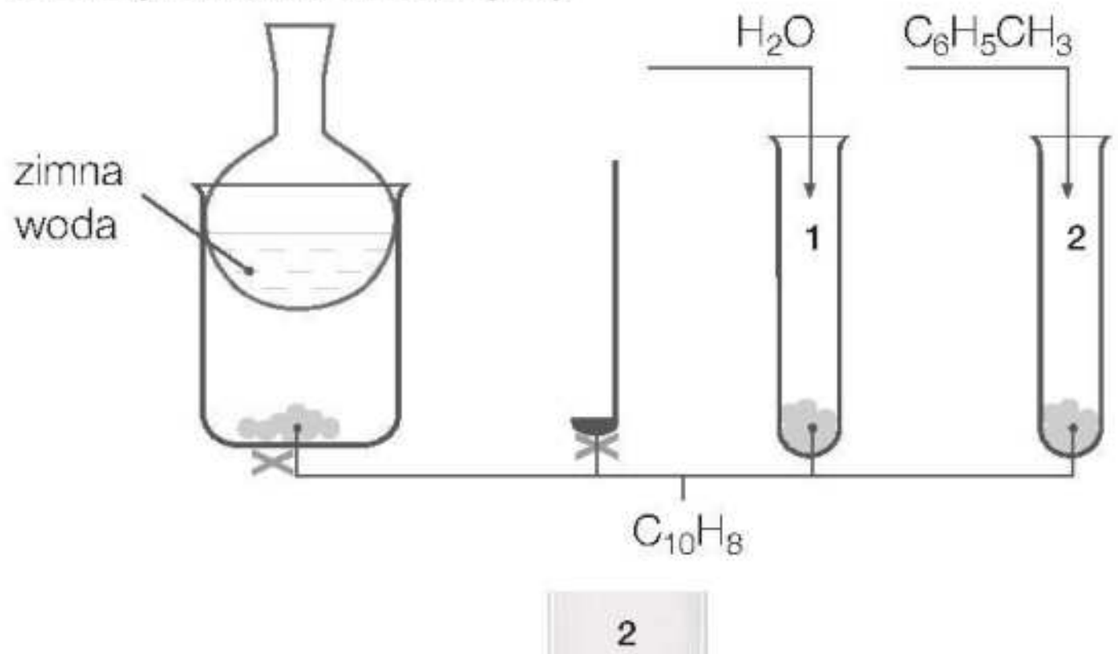
Badanie właściwości naftalenu

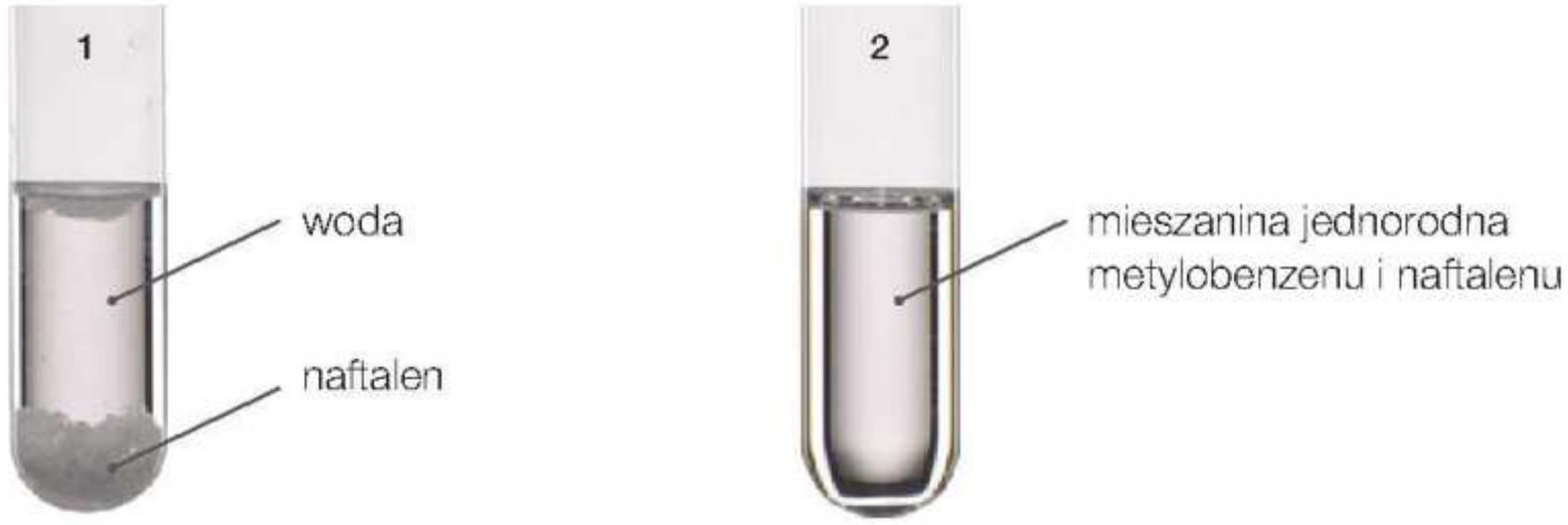
Naftalen jest związkiem trującym. Podczas wykonywania doświadczenia zachowaj ostrożność.

Odczynniki: naftalen, woda, metylobenzen.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: zlewka, kolba okrągłodenna, palnik, łyżka do spalań, probówki, korki.

Instrukcja: Na dno zlewki wsyp naftalen. Zlewkę przykryj kolbą okrągłodenną z zimną wodą i lekko ogrzewaj. Po zakończeniu ogrzewania zdejmij kolbę. Łyżkę do spalań z niewielką ilością naftalenu umieść w płomieniu palnika. Do probówki 1. wsyp naftalen i dodaj wody. Do probówki 2. wsyp naftalen i dodaj ok. 2 cm^3 metylobenzenu (schemat). Probówki zamknij korkami i wstrząśnij.





Fot. 38. Rozpuszczanie naftalenu w: wodzie i toluenie.



Fot. 37. Sublimacja naftalenu.

Obserwacje: Naftalen jest substancją stałą o białej barwie i charakterystycznym zapachu. Na zewnętrznej części dna kolby okrągłodennej pojawiają się białe kryształy (fot. 37.). Substancja spala się kopcącym płomieniem. W probówce 1. substancja osadza się na dnie probówki, a w probówce 2. powstaje przezroczysta ciecz (fot. 38.).

Wniosek: Naftalen krystalizuje w postaci łusek. Łatwo sublimuje (patrz s. 30). Jest palny. Naftalen nie rozpuszcza się w wodzie, ale rozpuszcza się w metylobenzenie, który jest związkiem organicznym. Rozpuszczanie się naftalenu w rozpuszczalnikach organicznych świadczy o jego niepolarnej budowie.

Reakcje substytucji elektrofilowej naftalenu

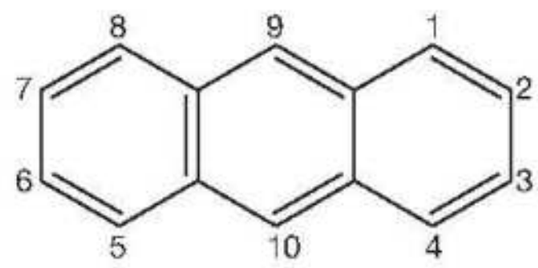
Naftalen, podobnie jak benzen, ulega reakcjom substytucji charakterystycznym dla związków aromatycznych – **nitrowaniu** i **sulfonowaniu**. Powstają wówczas jego pochodne, w których grupa nitrowa $-NO_2$ lub grupa sulfonowa $-SO_3H$ są podstawiane w cząsteczce naftalenu w miejsce atomu wodoru w położeniu 1 (α) lub 2 (β). Naftalen ulega też reakcji bromowania w obecności katalizatora.

Przykłady arenów o trzech pierścieniach benzenowych

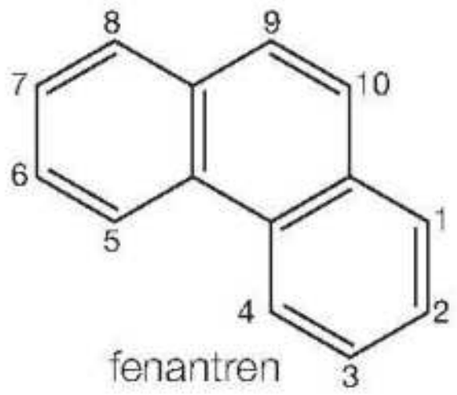
Antracen $C_{14}H_{10}$ jest węglowodorem aromatycznym, którego cząsteczka zawiera ułożone liniowo trzy skondensowane pierścienie benzenowe.

Fenantren $C_{14}H_{10}$ to odmiana izomeryczna antracenu – skondensowane pierścienie są ułożone kątowo na płaszczyźnie.

Antracen i fenantren, podobnie jak inne węglowodory aromatyczne, **łatwo się spalają i ulegają reakcjom nitrowania oraz sulfonowania**.



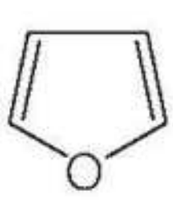
antracen



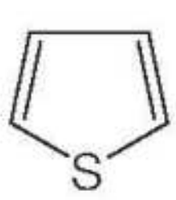
fenantren

Przykłady aromatycznych związków heterocyklicznych

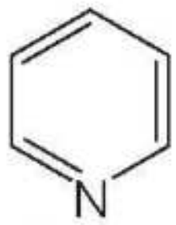
Furan C_4H_4O, **tiofen** C_4H_4S oraz **pirydyna** C_5H_5N należą do **aromatycznych związków heterocyklicznych**. Oprócz atomów węgla zawierają w pierścieniu aromatycznym inny pierwiastek chemiczny – tlen, siarkę lub azot.



furan



tiofen



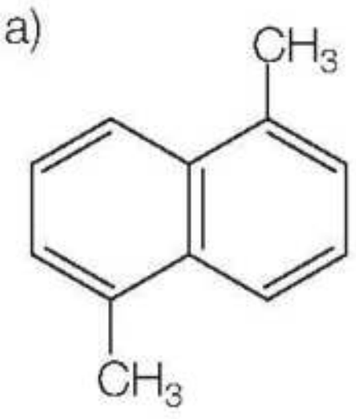
pirydyna

Zadania

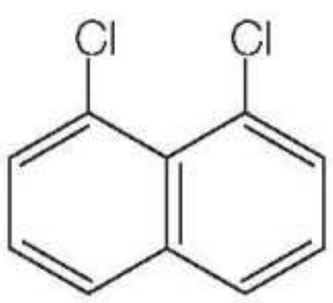
ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Napisz nazwy systematyczne związków chemicznych o podanych wzorach.

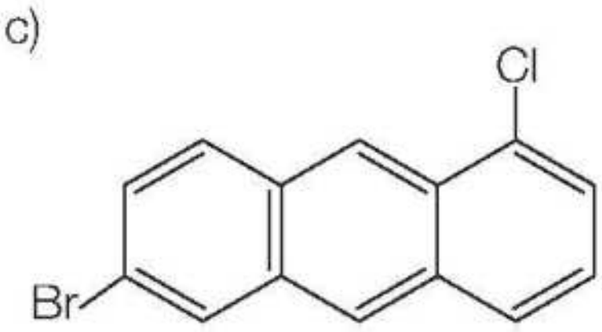
a)



b)



c)



2. Napisz równania reakcji spalania całkowitego i niecałkowitego:
a) naftalenu, b) antracenu.

3. W procesie całkowitego uwodornienia naftalenu powstaje związek chemiczny o nazwie dekalina. **Oblicz, ile gramów tego związku chemicznego powstanie w reakcji uwodornienia 64 g naftalenu.** Wydajność reakcji chemicznej wynosi 85%.

4. Podaj mechanizm reakcji bromowania naftalenu w obecności bromku żelaza(III) jako katalizatora, wiedząc, że jest to reakcja substytucji elektrofilowej.

11. Izomeria węglowodorów

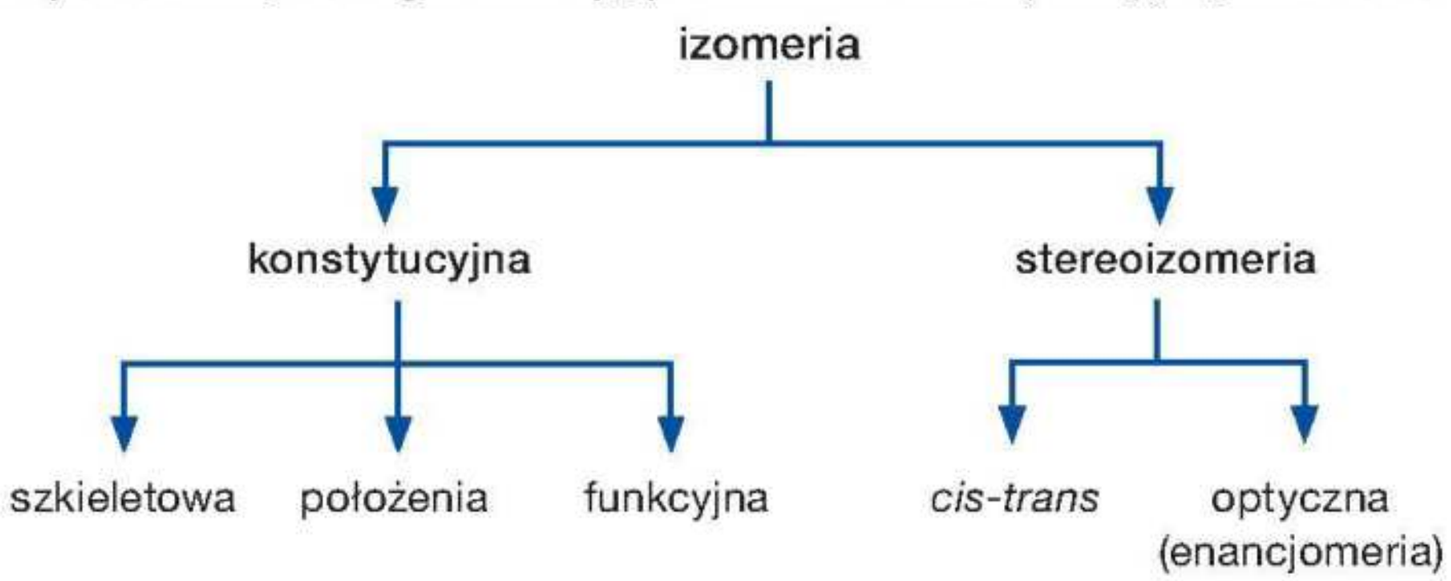
Izomery – cząsteczki związku chemicznego, które zawierają taką samą liczbę i rodzaj atomów w cząsteczce, ale różnią się sposobem połączenia tych atomów.

Izomeria to zjawisko występowania związków chemicznych o takim samym składzie chemicznym (wzorze sumarycznym), lecz różnej budowie cząsteczek (różnych wzorach strukturalnych).

Podział izomerii

Wyróżnia się dwa główne typy izomerii: **konstytucyjną** i **stereoizomerię**:

Izomery konstytucyjne – różnią się kolejnością i sposobem powiązania atomów w cząsteczkach.



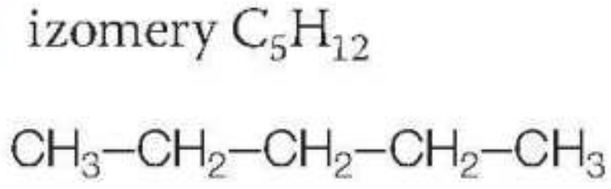
Izomeria optyczna zostanie omówiona w temacie 25., s. 314.

Izomeria szkieletowa

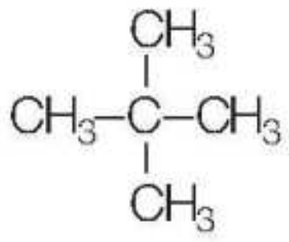
Izomeria szkieletowa – cząsteczki związku chemicznego mają ten sam wzór sumaryczny, lecz różnią się wzorem strukturalnym.

Izomery szkieletowe różnią się budową szkieletu węglowego zarówno w łańcuchu, jak i w pierścieniu, np.:

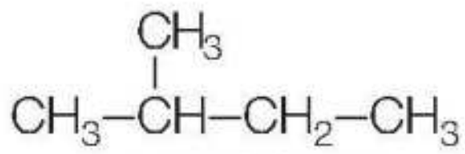
- izomery C_5H_{12}



n-pentan



2,2-dimetylopropan



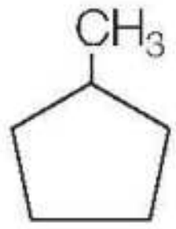
2-metylobutan

Izomeria alkanów jest możliwa dzięki temu, że łańcuchy węglowe mogą być proste (nierozgałęzione) lub rozgałęzione (patrz s. 55):

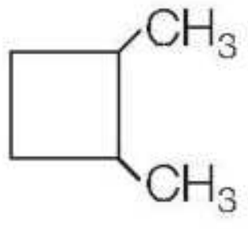
- izomery C_6H_{12}



cykloheksan



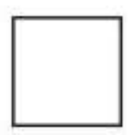
metylocyklopentan



1,2-dimetylocyklobutan

- izomery C_4H_8

but-1-en



cyklobutan

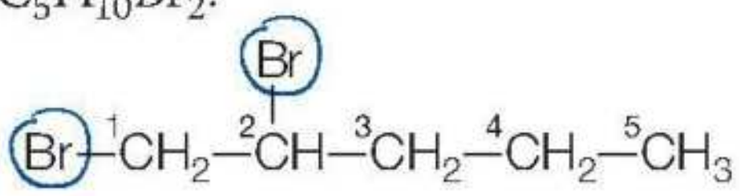
Wraz ze zwiększaniem się liczby atomów węgla w cząsteczkach związków organicznych gwałtownie zwiększa się liczba ich izomerów (tabela 13.).

Tabela 13. Zależność między liczbą atomów węgla w cząsteczkach alkanów a liczbą teoretycznie możliwych izomerów

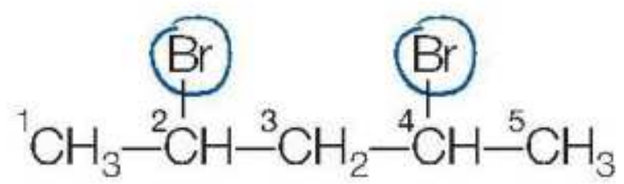
Liczba atomów węgla w cząsteczce alkanu	Liczba możliwych izomerów
1, 2, 3	brak
4	2
8	18
10	75
30	4 111 846 763

Izomeria położenia

Ten rodzaj izomerii uwzględnia różne miejsca połączenia podstawników ze szkieletem węglowym w związkach chemicznych, np. izomery $C_5H_{10}Br_2$:

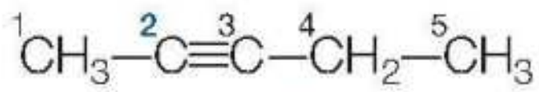


1,2-dibromopentan

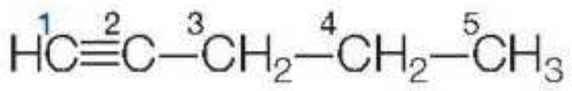


2,4-dibromopentan

Izomeria położenia uwzględnia także różne położenie wiązania wielokrotnego w cząsteczce związku chemicznego, np. w izomerach C_5H_8:



pent-**2**-yn

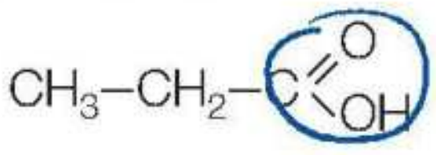


pent-**1**-yn

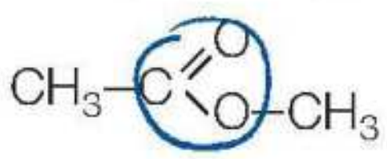
Izomeria położenia – cząsteczki związku chemicznego różnią się położeniem grup funkcyjnych: podstawnika lub wiązania wielokrotnego.

Izomeria funkcyjna

W cząsteczkach związków organicznych, które mają ten sam wzór sumaryczny, może występować różny sposób połączenia atomów. Skutkiem jest występowanie różnych grup funkcyjnych, np. izomery $C_3H_6O_2$:



kwas propanowy



etanian metylu

Izomeria funkcyjna – cząsteczki związków chemicznych o takim samym składzie mają różne grupy funkcyjne.

Izomeria *cis-trans*

Typ izomerii zaliczany do **stereoizomerii**, czyli rodzaju izomerii związanej z trójwymiarową strukturą cząsteczek związków chemicznych. Na określenie **izomerii *cis-trans*** używany jest również (niezalecany) termin izomeria geometryczna.

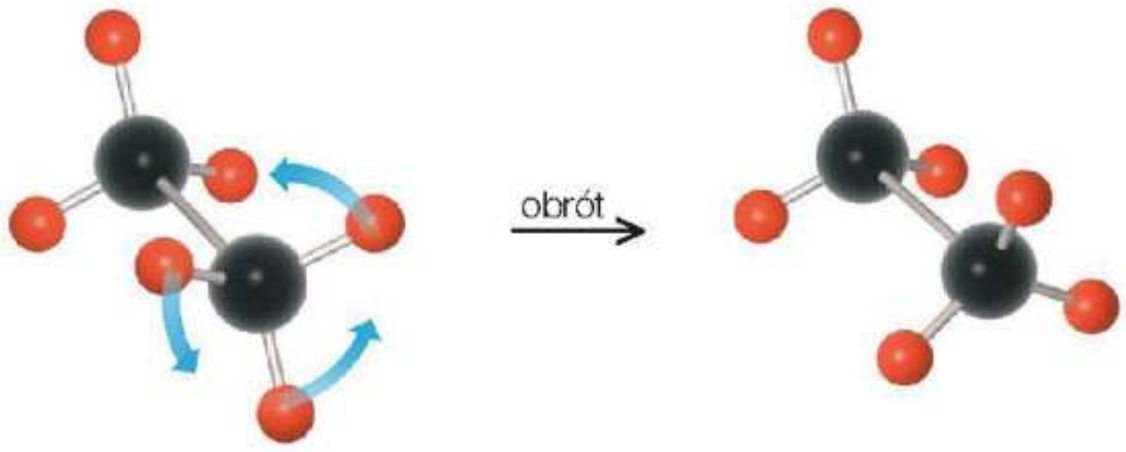
Izomeria *cis-trans* – cząsteczki nienasyconego lub cyklicznego związku chemicznego różnią się położeniem podstawników w przestrzeni.

Stereoizomery mają identyczny wzór chemiczny, a atomy w ich cząsteczkach są połączone w tej samej kolejności, różnią się tylko rozmieszczeniem w przestrzeni. Konfigurację związku chemicznego określa się za pomocą nazw, które zawierają przedrostek ***cis*** (łac. *cis* – z tej strony) lub ***trans*** (łac. *trans* – po drugiej stronie).

Izomery *cis-trans* różnią się ułożeniem podstawników względem płaszczyzny wiązania podwójnego w cząsteczkach związków nienasyconych lub względem płaszczyzny pierścienia w związkach pierścieniowych.

Wokół wiązań pojedynczych w alkanach (hybrydyzacja sp^3) następują swobodne obroty atomów i grup atomów. Na ruchy obrotowe nakładają się ruchy drgające, które rytmicznie wydłużają i skracają wiązania

oraz zmieniają kąty między nimi. Obroty i drgania nie naruszają zasadniczej budowy cząsteczek, jednak ich chwilowe kształty są różne. Te chwilowe kształty cząsteczek, spowodowane obrotami wokół wiązań pojedynczych, są nazywane **konformacjami**. Większość cząsteczek może mieć różne konformacje (rys. 23.).



Rys. 23. Konformacje etanu.

Gdy obroty są utrudnione, poszczególne konformacje mogą istnieć przez dłuższy czas, a więc są przestrzennymi izomerami danego związku chemicznego. Dzieje się tak w przypadku wiązania podwójnego (hybrydyzacja sp^2). Jest ono zatem układem sztywnym. Obrót wokół tego wiązania powoduje rozerwanie wiązania π. Wynika stąd, że taki układ może istnieć w postaci dwóch izomerów. W przypadku związków chemicznych, które mają przy atomach węgla wiązania podwójnego lub pierścienia alifatycznego dwa podstawniki inne niż atom wodoru, stosuje się nazwy izomerów ***cis*** lub ***trans***.


położenie *cis*

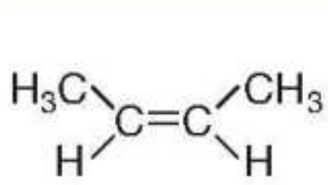
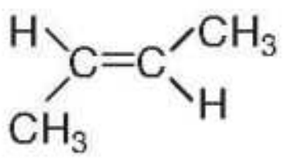
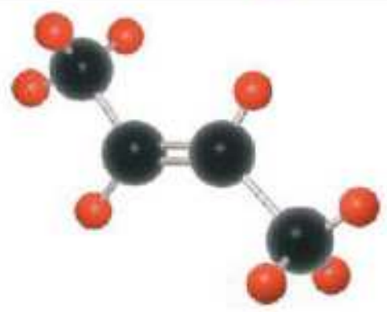
położenie *trans*

konfiguracja *cis*

konfiguracja *trans*

W izomerach *cis* dwa identyczne podstawniki leżą po tej samej stronie płaszczyzny wiązania podwójnego lub płaszczyzny pierścienia alifatycznego, a w izomerach *trans* – po przeciwnych stronach (tabela 14.).

Tabela 14. Izomery *cis* i *trans* but-2-enu

Nazwa izomeru	Wzór półstrukturalny	Model cząsteczki	
		pręcikowo-kulkowy	czaszowy
cis-but-2-en			
trans-but-2-en			

Izomeria *cis-trans* **nie występuje**, gdy **jeden z atomów węgla** wiązania podwójnego jest **połączony z dwoma identycznymi podstawnikami**.


1-chloro-2-metylopropen

związki chemiczne są identycznie, **nie są izomerami *cis-trans***

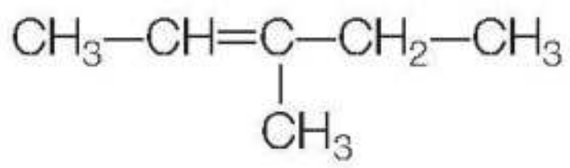
W przypadku związków chemicznych, które przy wiązaniu podwójnym lub w pierścieniu alifatycznym mają trzy lub cztery podstawniki inne niż atom wodoru, zazwyczaj stosuje się system nazewnictwa izomerów ***E*** (niem. *entgegen* – naprzeciwko), ***Z*** (niem. *zusammen* – razem).

Do określenia konfiguracji wykorzystuje się wówczas **reguły pierwszeństwa** podstawników (patrz s. 321).

Nazewnictwo izomerów *cis-trans*

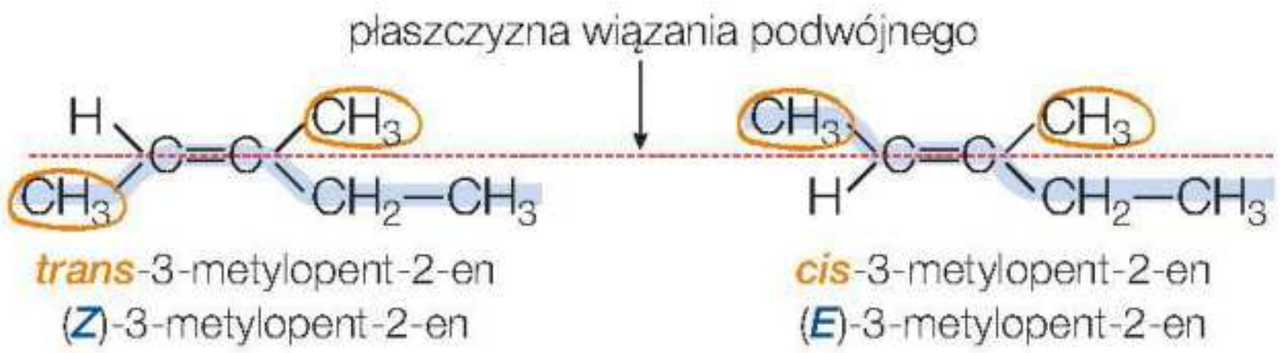
Aby określić nazwy izomerów *cis* i *trans* oraz *Z* i *E* węglowodorów nienasyconych o kilku atomach węgla w cząsteczce, należy:

- wybrać najdłuższy łańcuch węglowy z wiązaniem podwójnym, np.:



3-metylopent-2-en

- dobrać przedrostek na podstawie położenia podstawników decydujących o rodzaju izomeru:



trans-3-metylopent-2-en
(*Z*)-3-metylopent-2-en

cis-3-metylopent-2-en
(*E*)-3-metylopent-2-en

Izomer *cis* ma **dwa identyczne podstawniki** (np. $-CH_3$) **po tej samej stronie** płaszczyzny wiązania podwójnego.

Izomer *trans* ma **dwa identyczne podstawniki** (np. $-CH_3$) **po przeciwnych stronach** płaszczyzny wiązania podwójnego.

Izomery *cis* i *trans* (*Z* i *E*) różnią się właściwościami, gdyż odległości między podstawnikami w ich cząsteczkach są różne. Podstawniki w położeniu *cis* (*Z*) leżą bliżej siebie niż w położeniu *trans* (*E*). Dlatego np. izomery but-2-enu różnią się temperaturą wrzenia, temperaturą topnienia i gęstością (tabela 15.).

Izomer *Z* ma **dwa ważniejsze podstawniki** (np. $-CH_3$ i $-CH_2-CH_3$) **po tej samej stronie** płaszczyzny wiązania podwójnego.

Izomer *E* ma **dwa ważniejsze podstawniki** (np. $-CH_3$ i $-CH_2-CH_3$) **po przeciwnych stronach** płaszczyzny wiązania podwójnego.

Tabela 15. Właściwości izomerów *cis* (*Z*) i *trans* (*E*) but-2-enu

Nazwa izomeru	Temperatura topnienia, °C	Temperatura wrzenia, °C	Gęstość*, $\frac{g}{cm^3}$
cis-but-2-en (*Z*)-but-2-en	–138,9	3,73	0,6165
trans-but-2-en (*E*)-but-2-en	–105,6	0,88	0,5991

* Gęstość mierzona w temp. 20°C pod podwyższonym ciśnieniem.

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. **Przedstaw zjawisko izomerii szkieletowej związków chemicznych:**
   a) 2,2-dimetyloheksanu, b) metylocykloheksanu.
2. Penten i cyklopentan są izomerami. **Napisz ich wzory sumaryczne, półstrukturalne i kreskowe.**
3. **Napisz wzory strukturalne alkenu i cykloalkanu o takim samym wzorze sumarycznym – C_6H_{12}. Podaj nazwy systematyczne tych związków chemicznych oraz określ rodzaj izomerii.**
4. **Przedstaw zjawisko izomerii położenia na przykładzie wybranego alkinu.**

12. Paliwa kopalne i ich przetwarzanie



Fot. 39. Podczas spalania wytwarzana jest energia cieplna, która może zostać przetworzona w energię elektryczną np. w elektrowni węglowej.

Spalanie **paliw kopalnych** (fot. 39.) jest głównym źródłem energii, m.in. energii elektrycznej.

Paliwa kopalne

Do paliw kopalnych zaliczane są **gaz ziemny**, **ropa naftowa**, **torf** i **węgle kopalne**. Ich składnikami są węgiel (pierwiastek chemiczny) i jego związki organiczne. Paliwa kopalne występują we wszystkich stanach skupienia (gazowym, ciekłym i stałym).

Skład gazu ziemnego

Głównym składnikiem gazu ziemnego jest **metan**. W zależności od miejsca wydobycia metan może stanowić od 39% do 99% gazu ziemnego. Pozostałe składniki to alkany (**etan** C_2H_6, **propan** C_3H_8, **butan** C_4H_{10}), azot N_2, tlenek węgla(II) CO, tlenek węgla(IV) CO_2, hel He i siarkowodór H_2S.

Złoża gazu ziemnego występują najczęściej razem ze złożami ropy naftowej, a także w kopalniach węgla kamiennego oraz w skałach nazywanych łupkami. Z tego powodu gaz ziemny nazywa się też gazem kopalnianym lub łupkowym.

Oznaczenia paliw gazowych:



sprężony gaz ziemny (ang. *Compressed Natural Gas*)



gaz płynny (ang. *Liquefied Petroleum Gas*)



płynny gaz ziemny (ang. *Liquefied Natural Gas*)



wodór (ang. *Hydrogen*)

Właściwości gazu ziemnego

Gaz ziemny jest palny i dlatego stosuje się go jako źródło energii, m.in. do ogrzewania mieszkań i napędzania silników samochodowych.

Płomień palącego się gazu ziemnego ma charakterystyczną niebieską barwę i nie kopci. **Jest bezbarwny i bezwonny**, ale ze względów bezpieczeństwa może być poddawany **procesowi nawaniania**. Polega on na dodaniu do gazu ziemnego niewielkiej ilości substancji o charakterystycznym zapachu. Dzięki temu można wyczuć ulatniający się gaz.

Mieszanina metanu z powietrzem jest wybuchowa, gdy metan stanowi w niej 5–15% (procent objętościowy). Z tego powodu należy systematycznie kontrolować szczelność przewodów gazowych.

Gaszenie palącego się gazu ziemnego trzeba rozpocząć od odcięcia jego dopływu. Do gaszenia gazu używa się proszku gaśniczego. Płomienie palącego się gazu mogą osiągać temperaturę nawet 1200°C, a promieniowanie cieplne może być wyczuwalne nawet w odległości 300 m od miejsca pożaru.

Skład ropy naftowej

Ropa naftowa (fot. 40.) jest **mieszaniną jednorodną** wielu tysięcy różnych związków chemicznych, głównie **węglowodorów w stanie gazowym, ciekłym i stałym**, wzajemnie w sobie rozpuszczonych.

Ropa naftowa powstała w wyniku rozkładu szczątków roślinnych i zwierzęcych w warunkach beztlenowych i z udziałem bakterii. Występuje w podziemnych złożach, także pod dnem morskim, lub w porowatych skałach bitumicznych. Bardzo często złoża ropy naftowej występują razem ze złożami gazu ziemnego.



Fot. 40. Składnikami ropy naftowej są węglowodory o cząsteczkach różnej długości.

Właściwości ropy naftowej

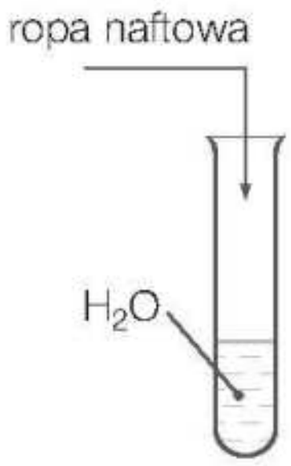
Doświadczenie 16.  ropa naftowa

Badanie właściwości ropy naftowej

Odczynniki: ropa naftowa, woda.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: parownica porcelanowa, probówka, korek.

Instrukcja: Do parownicy wlej niewielką ilość ropy naftowej. Określ jej stan skupienia, barwę i zapach. Następnie zapal ją w parownicy i obserwuj barwę płomienia oraz sposób spalania. Probówkę napełnij wodą do $\frac{1}{3}$ objętości, a następnie wlej podobną objętość ropy naftowej (schemat). Zamknij probówkę korkiem i wstrząsaj nią przez chwilę. Opisz wygląd zawartości probówki.





Fot. 41. Do gaszenia palącej się ropy naftowej używa się piasku lub gaśnic śniegowych wypełnionych skroplonym tlenkiem węgla(IV).



ropa naftowa unosi się na powierzchni wody

Fot. 42. Mieszanina wody z ropą naftową.

Obserwacje: Ropa naftowa jest gęstą, mazistą cieczą, o barwie najczęściej brunatnej i charakterystycznym ostrym zapachu. Spala się żółtym, kopcącym płomieniem (fot. 41.). Po dodaniu wody do probówki z ropą naftową powstaje niejednorodna mieszanina dwóch cieczy (fot. 42.).

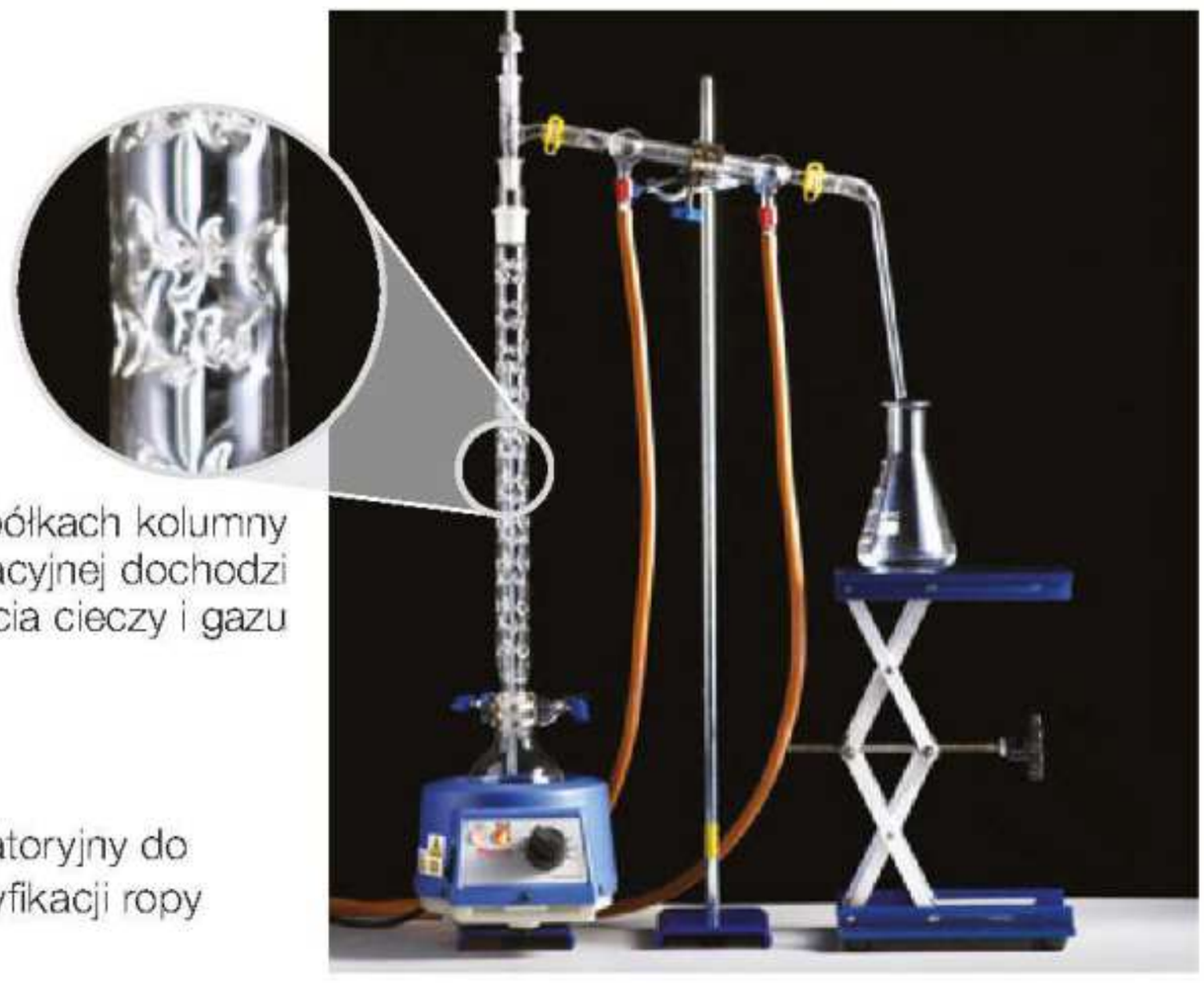
Wniosek: Ropa naftowa jest palną i nierozpuszczalną w wodzie cieczą o gęstości mniejszej od gęstości wody.

Płonącej ropy naftowej nie wolno gasić wodą. Ropa naftowa ma gęstość mniejszą niż woda, dlatego wypływa na powierzchnię wody i pali się dalej.

Przeróbka ropy naftowej

Metodą przeróbki ropy naftowej jest **destylacja**, czyli proces fizyczny polegający na rozdzieleniu mieszaniny na składniki – **frakcje**. Każda z frakcji wrze w innej temperaturze, a to umożliwia ich rozdzielenie i zebranie.

Aby dokładnie rozdzielić ciecz, stosuje się kolumny rektyfikacyjne (kolumny destylacyjne) (fot. 43.). Zachodzi w nich ciągły proces częściowego odparowywania cieczy i częściowego skraplania par, nazywany **destylacją frakcjonowaną** (frakcyjną) lub **rektyfikacją**. Ciecz pod wpływem siły grawitacji przepływa przez kolumnę rektyfikacyjną z góry na dół, natomiast gaz pod wpływem różnicy ciśnień przemieszcza się od dołu do góry.



Fot. 43. Zestaw laboratoryjny do przeprowadzania rektyfikacji ropy naftowej.



Odkrycia, które zmieniły świat – nafta

Efektem intensywnych poszukiwań paliwa wydajniejszego od olejów i ich mieszanin było otrzymanie w pierwszej połowie XIX w. nafty. Polski farmaceuta **Ignacy Łukasiewicz** wraz ze swoim asystentem **Janem Zehem** zastosowali metodę frakcjonowanej destylacji ropy naftowej. Nafta okazała się bezpiecznym paliwem. Jej temperatura samozapłonu była wyższa niż olejów. Ponadto nafta nie kopciła przy spalaniu, gdyż była pozbawiona składników o wysokich temperaturach wrzenia. Wspólnie z blacharzem **Adamem Bratkowskim** Ignacy Łukasiewicz skonstruował lampę naftową (fot. 44.), która okazała się bardziej wydajna od świec i tańsza od lamp olejowych używanych wówczas do oświetlania wnętrz. Lampy naftowe zaczęto powszechnie wykorzystywać od lat 1860–1865. Dzięki swojemu wynalazkowi Łukasiewicz stał się pionierem polskiego przemysłu naftowego.

Fot. 44. W lipcu 1853 r. we Lwowie po raz pierwszy użyto lampy naftowej do oświetlenia sali operacyjnej.

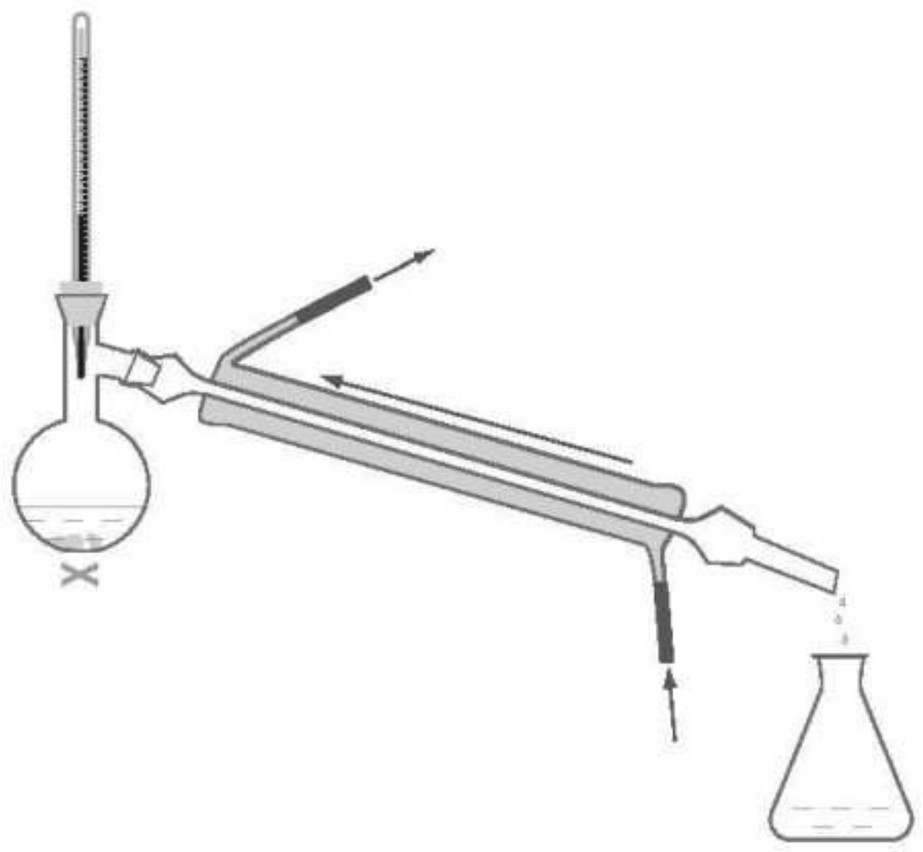
Metodą destylacji frakcjonowanej rozdziela się mieszaniny cieczy zarówno w laboratoriach, jak i w przemyśle. W przemysłowej kolumnie rektyfikacyjnej kolejne etapy odparowywania i skraplania zachodzą na różnych jej wysokościach, czyli na tzw. **półkach**. Im więcej półek ma kolumna, tym skuteczniejsze jest rozdzielanie ciekłej mieszaniny na składniki.

Doświadczenie 17.  ropa naftowa

Destylacja frakcjonowana ropy naftowej

! Doświadczenie należy przeprowadzać pod wyciągiem, z dala od źródeł ognia (palnika, zapałek itp.).

Odczynniki: ropa naftowa.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: kolba okrągłodenna, chłodnica, termometr, zlewki, kamyczki wrzenne, elektryczny płaszcz grzejny, gumowe wężyki, statyw, łapa metalowa.
Instrukcja: Do kolby okrągłodennej wrzuć kilka kamyczków wrzennych i wlej niewielką ilość ropy naftowej (ok. $\frac{1}{3}$ pojemności). Zmontuj zestaw do destylacji (schemat). Ogrzewaj kolbę z ropą naftową, kontrolując zmiany temperatury za pomocą termometru. W tym doświadczeniu do ogrzewania kolby nie używaj otwartego płomienia (np. palnika). Skraplającą się w chłodnicy ciecz zbieraj do odbieralników. Przy temperaturze ok. 150°C, 200°C i 300°C zmień odbieralnik. Podczas odbierania cięższych frakcji (mniej lotnych, z wyższą temperaturą wrzenia) należy zamknąć dopływ wody do chłodnicy.



Obserwacje: Ogrzewana w kolbie ropa naftowa wrze. Temperatura par co jakiś czas przestaje rosnąć – ustala się, a pary frakcji wrzącej w tej temperaturze skraplają się i są zbierane w odbieralniku jako bezbarwna ciecz. Następnie temperatura rośnie i proces się powtarza. Skroplone pary zbiera się do kolejnego odbieralnika.
Wniosek: Ropa naftowa jest jednorodną mieszaniną substancji różniących się temperaturą wrzenia. Składniki mieszaniny w miarę wzrostu temperatury kolejno odparowują. Najpierw skraplają się składniki o najniższej temperaturze wrzenia.

Krok po kroku

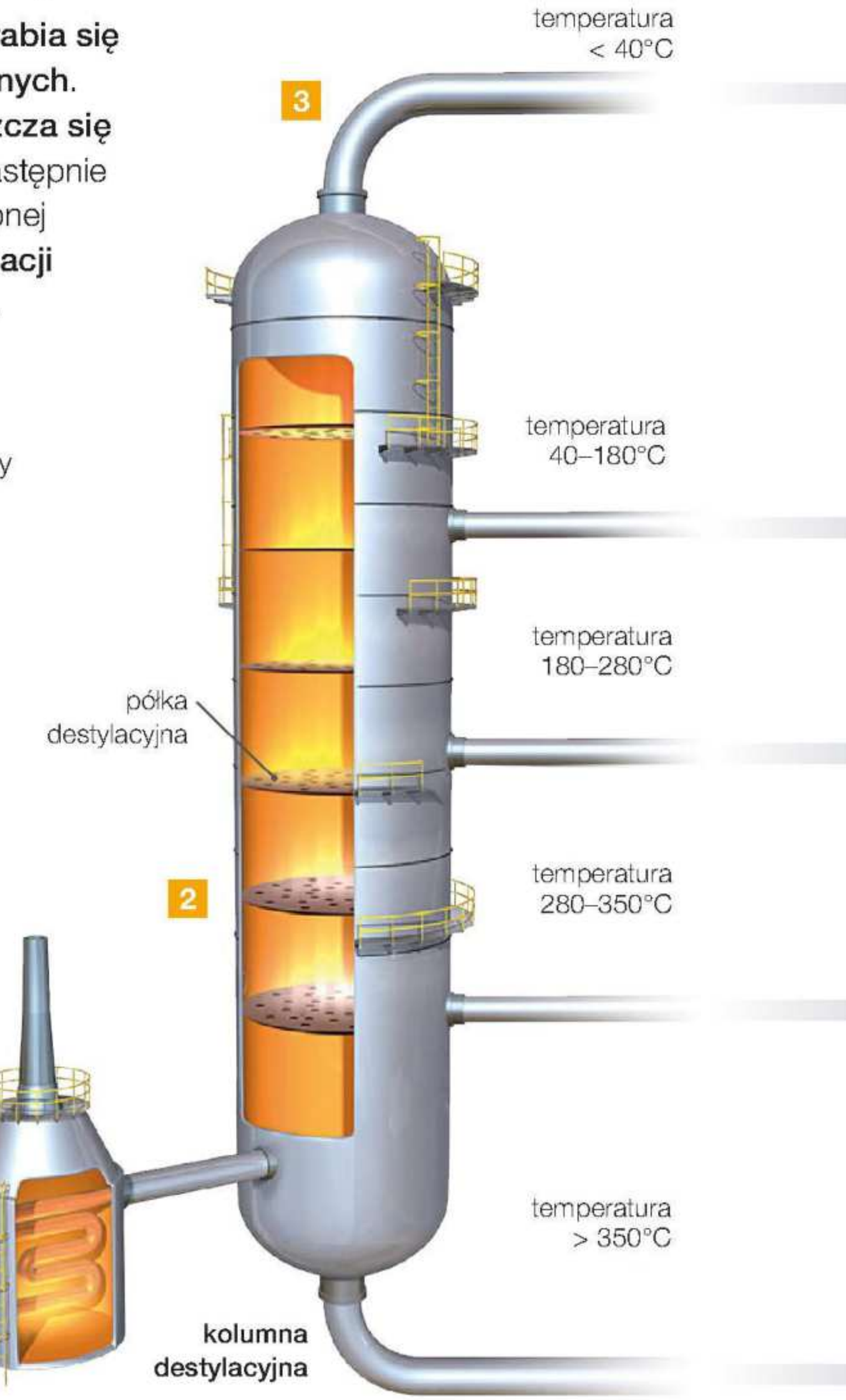
Destylacja ropy naftowej

Na skalę przemysłową ropę naftową **przerabia się w rafineriach i zakładach petrochemicznych**. Wydobytą **ropę naftową** wstępnie **oczyszcza się** w procesach sedymentacji i filtracji, aby następnie usunąć z niej siarkę. Pozostałość po wstępnej przeróbce **poddaje się procesowi destylacji frakcjonowanej** w kolumnie destylacyjnej.

1 Wstępnie oczyszczona **ropa naftowa jest ogrzewana do temperatury ok. 400°C**. Jej pary przemieszczają się w górę kolumny destylacyjnej, gdzie są schładzane i **skraplają się** na półkach destylacyjnych.

2 **W środkowej i dolnej części kolumny** temperatura stopniowo wzrasta – **im niższa półka, tym większe są masy cząsteczkowe**, wyższe temperatury wrzenia, a tym samym **mniejsza jest lotność** odbieranych tam składników ropy naftowej.

3 **W górnej części** kolumny odbierane są gazowe składniki ropy naftowej **o małych masach cząsteczkowych** i niskich temperaturach wrzenia, **czyli największej lotności**.



Jak odbywa się rozdzielanie na frakcje na półkach destylacyjnych?

Pary ropy naftowej przemieszczają się w górę kolumny destylacyjnej. **Odparowują** węglowodory o temperaturze wrzenia **niższej** od temperatury panującej na danej półce. Na półkach destylacyjnych **skraplają** się pary węglowodorów, których temperatura wrzenia jest **wyższa** od temperatury panującej na danej półce, np. C_6H_{14} wchodzący w skład benzyny wrze w temp. 68,7°C, więc skropli się na półce o temp. niższej od 68,7°C.

Produkty destylacji	Liczba atomów węgla w cząsteczkach węglowodorów
gaz rafineryjny	1–4
benzyny	5–12
nafty	9–16
oleje napędowe	15–18
mazut	> 17

gaz rafineryjny
(głównie propan i butan)



paliwo w butlach turystycznych i do silników z zapłonem iskrowym

benzyny
(lekkie i ciężkie)





paliwo do silników samochodowych z zapłonem iskrowym, rozpuszczalniki

nafty





paliwo do silników odrzutowych i turbośmigłowych, rozpuszczalniki

oleje napędowe





paliwo do silników z zapłonem samoczynnym (silników Diesla)

mazut



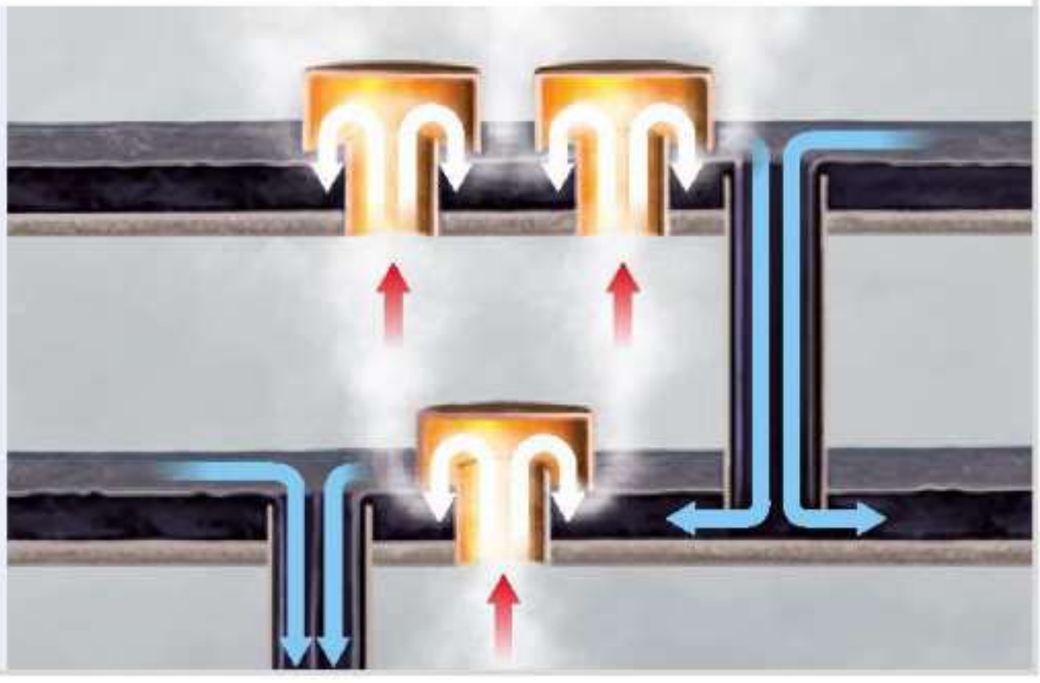


parafina wykorzystywana do produkcji świec

pary składników o niskich temperaturach wrzenia unoszą się w górę kolumny

skraplają się pary tych składników, których temperatura wrzenia jest wyższa od temperatury panującej na półce

ciekłe (skroplone) produkty destylacji ściekają na półki destylacyjne, na których panuje wyższa temperatura



Skład benzyny

Benzyna – mieszanina węglowodorów zawierających od 5 do 12 atomów węgla w cząsteczce.

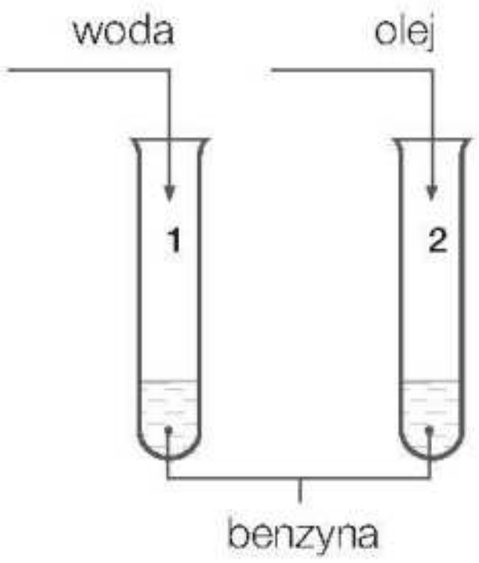
Benzyna jest mieszaniną węglowodorów zawierających **od 5 do 12 atomów węgla w cząsteczce**. Są to przede wszystkim alkany. Skład benzyny otrzymanej w rafineriach zależy od warunków, w jakich prowadzi się proces destylacji, oraz od miejsca pochodzenia ropy naftowej.

Właściwości benzyny

Doświadczenie 18. benzyna

Badanie właściwości benzyny

Odczynniki: benzyna, woda, olej roślinny.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, bagietka, parownica porcelanowa.
Instrukcja: Do parownicy wlej kilka kropel benzyny. Określ jej stan skupienia, barwę i zapach. Następnie zapal ją w parownicy i obserwuj barwę płomienia oraz sposób spalania. Do probówek 1. i 2. wlej po ok. 1 cm^3 benzyny. Następnie do probówki 1. wlej podobną objętość wody, a do probówki 2. podobną objętość oleju (schemat). Wymieszaj zawartości probówek.





Fot. 45. Spalanie benzyny.



Fot. 46. Mieszanina benzyny z wodą (probówka 1.) i olejem (probówka 2.).

Płonącej benzyny nie wolno gasić wodą. Podobnie jak ropa naftowa, ma gęstość mniejszą od gęstości wody, dlatego wypływa na powierzchnię wody i pali się dalej.

Obserwacje: Benzyna jest bezbarwną cieczą o charakterystycznym zapachu. Po zapaleniu spala się żółtym, kopcącym płomieniem (fot. 45.). Po dodaniu wody do probówki 1. z benzyną powstaje niejednorodna mieszanina dwóch cieczy (fot. 46.). W probówce 2. olej roślinny tworzy z benzyną mieszaninę jednorodną (fot. 46.).
Wniosek: Benzyna nie rozpuszcza się w wodzie i ma gęstość mniejszą od gęstości wody. Jest cieczą łatwopalną, rozpuszcza tłuszcze. Benzyna to mieszanina węglowodorów o budowie niepolarnej, jest więc dobrym rozpuszczalnikiem związków chemicznych o budowie niepolarnej, np. tłuszczów.

Kraking

Ilość benzyny otrzymywanej w procesie destylacji ropy naftowej (średnio z 1 t ropy naftowej otrzymuje się 400 kg benzyny) nie wystarcza na zaspokojenie stale zwiększających się oczekiwań rynku.

Zapotrzebowanie na pozostałe produkty destylacji ropy naftowej nie jest aż takie duże, dlatego w celu zwiększenia produkcji benzyny przetwarza się również frakcje zawierające węglowodory o długich łańcuchach węglowych (powyżej 12 atomów węgla w cząsteczce) – nafty, oleje, mazut.

Jest to **kraking** (ang. *cracking* – pękanie) – reakcja rozkładu alkanów o długich łańcuchach węglowych (dużych cząsteczkach). W jej wyniku powstaje mieszanina alkanów i alkenów o krótszych łańcuchach węglowych.

Kraking – reakcja rozkładu alkanów o długich łańcuchach węglowych (dużych cząsteczkach). W jej wyniku powstaje mieszanina alkanów i alkenów o krótszych łańcuchach węglowych.

Kraking prowadzi się w warunkach obniżonego lub podwyższonego ciśnienia, w temperaturze ok. 500°C. Zachodzi w obecności **katalizatorów**, czyli substancji, które po dodaniu do substratów zwykle ułatwiają przebieg reakcji chemicznej i zwiększają jej szybkość.

Przykłady katalizatorów
- **metale:** Pt, Ni, Pd, Ag
- **tlenki:** NiO, ZnO, Cr_2O_3, MnO_2, SiO_2, V_2O_5
- **kwasy:** H_3PO_4, H_2SO_4

Benzyna otrzymywana w wyniku krakingu **jest mieszaniną węglowodorów o łańcuchach prostych**. Przykładem krakingu jest rozpad cząsteczek alkanu, który zawiera 18 atomów węgla w łańcuchu głównym:

$$n\ C_{18}H_{38} \xrightarrow{\text{kat., } p, T} C_8H_{16} + C_8H_{18} + C_9H_{18} + C_9H_{20} + C_{10}H_{20} + \dots$$

oktadekan → okten, oktan, nonen, nonan, deken

Benzyny składające się z węglowodorów o nierozgałęzionych łańcuchach w silnikach o zapłonie iskrowym ulegają **spalaniu stukowemu**. Taki rodzaj spalania jest **wybuchowy – szybki i nierównomierny**. Powoduje nieregularną pracę silnika, tzw. stukanie, i jego szybsze zużycie.

Odporność benzyny na spalanie stukowe w silnikach o zapłonie iskrowym określa **liczba oktanowa** (**LO**).

Liczba oktanowa – LO benzyny

Aby ustalić liczbę oktanową benzyny, **porównuje się proces spalania danego paliwa z procesem spalania mieszaniny dwóch węglowodorów wzorcowych**:

- izooktanu o łańcuchu rozgałęzionym,
- heptanu o łańcuchu prostym (patrz rys. 24., s. 134).

Najlepiej spośród nich spala się izooktan, a najgorzej heptan.

Im większa liczba oktanowa, tym większa odporność na spalanie stukowe.

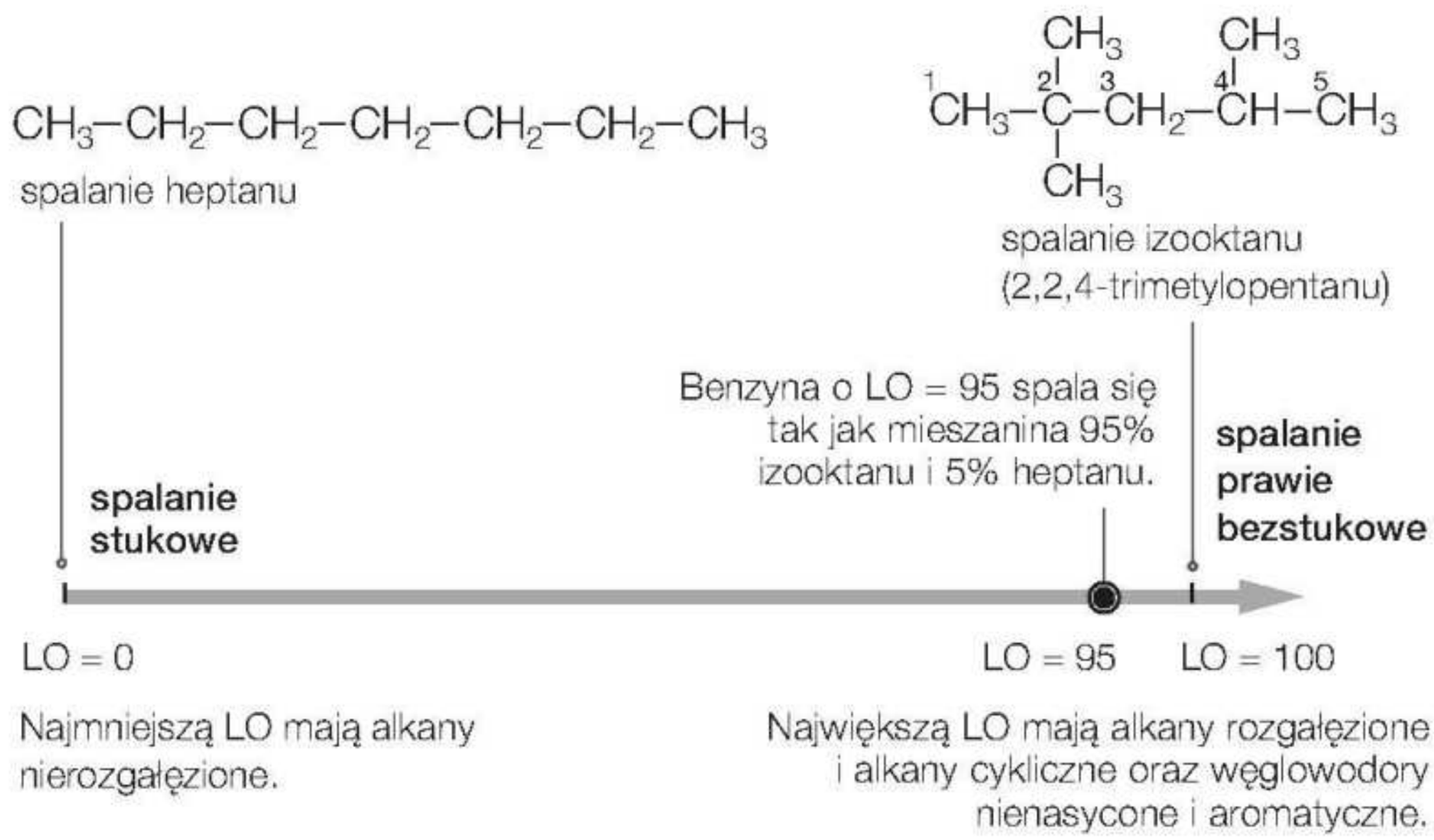
Liczba oktanowa – miara odporności benzyny na spalanie stukowe.

Graficzne oznaczenia rodzaju paliwa:

benzyna,

olej napędowy,

paliwo gazowe.



Rys. 24. Jeśli benzyna spala się tak jak czysty izooktan, przyjmuje się, że ma LO = 100, a jeśli spala się tak jak heptan, przyjmuje się, że ma LO = 0.

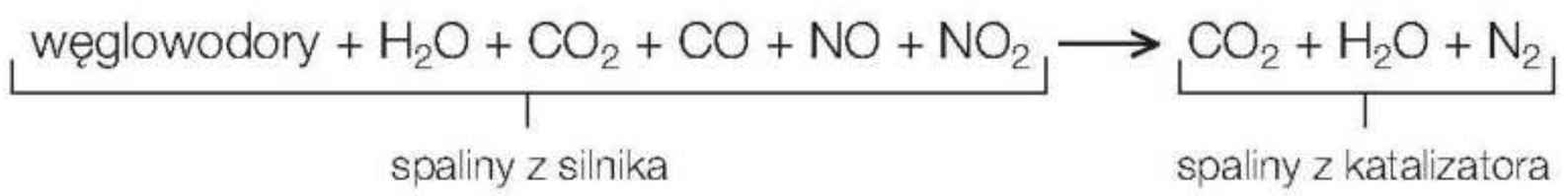
Środki przeciwstukowe

Środki przeciwstukowe – substancje zwiększające liczbę oktanową benzyny, np. etanol.

Dodanie do benzyny środka przeciwstukowego, nazywanego potocznie antydetonatorem, jest jednym ze sposobów podwyższenia liczby oktanowej. Jednym z pierwszych antydetonatorów była jodyna, czyli 3-procentowy roztwór jodu w etanolu. Przez wiele lat jako antydetonatory stosowano związki ołowiu. Wycofano je jednak z użycia ze względu na ich dużą toksyczność i negatywne oddziaływanie na środowisko przyrodnicze.

Obecnie jako środki przeciwstukowe wykorzystuje się m.in. alkohole (np. etanol CH_3CH_2OH). Popularne są też związki chemiczne, które są zaliczane do eterów. Podwyższają one LO benzyny, ale nie wpływają na jej inne właściwości. W benzynach bezołowiowych znajduje się do kilku procent środków przeciwstukowych. Takie paliwo nie spala się jednak całkowicie, więc powstające spaliny zawierają wiele związków chemicznych. Dlatego w samochodach montuje się reaktory katalityczne, nazywane potocznie katalizatorami.

Zachodzą w nich reakcje utleniania i redukcji zawartych w spalinach związków chemicznych, które są szkodliwe dla środowiska przyrodniczego, np. szkodliwy tlenek azotu(II) redukuje się do obojętnego gazu – azotu:



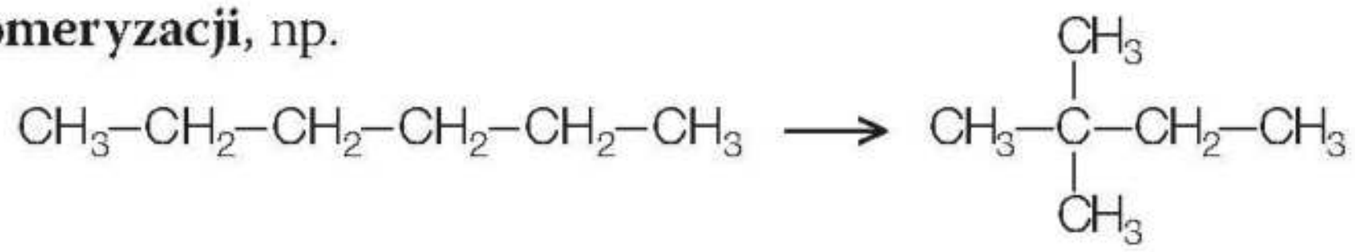
Reforming

Innym sposobem na podwyższenie LO benzyny jest **reforming**. Jest to proces, podczas którego zachodzą **reakcje przekształcenia węglowodorów o łańcuchach prostych w węglowodory o łańcuchach rozgałęzionych lub pierścieniowych**.

Reforming prowadzi się w podwyższonej temperaturze, pod wysokim ciśnieniem i w obecności katalizatorów. Obejmuje on m.in. procesy:

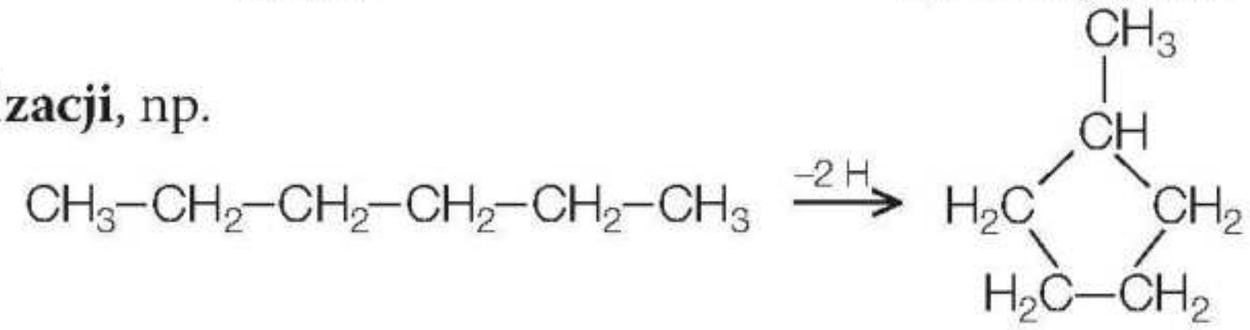
Reforming – reakcje przekształcenia węglowodorów o łańcuchach prostych w węglowodory o łańcuchach rozgałęzionych lub pierścieniowych.

- **izomeryzacji**, np.



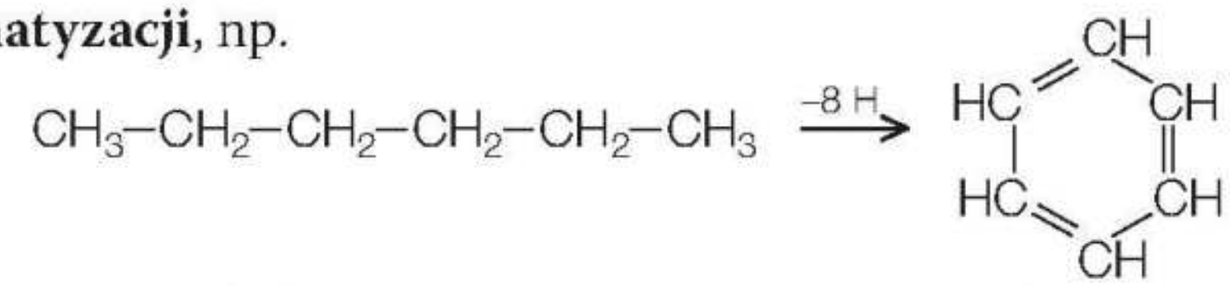
heksan — 2,2-dimetylobutan

- **cyklizacji**, np.



heksan — metylocyklopentan

- **aromatyzacji**, np.



heksan — benzen

Produkty mogą mieć ten sam skład lub różnić się wzorem sumarycznym.

Piroliza węgla

Gaz ziemny i ropa naftowa nie są jedynymi naturalnymi surowcami energetycznymi (paliwami kopalnymi). Zalicza się do nich także **węgle kopalne**, zwłaszcza węgiel kamienny i produkty jego przeróbki.

Proces przeróbki węgla kamiennego, nazywany pirolizą (pirogenizacją, suchą destylacją lub koksowaniem węgla), **polega na ogrzewaniu węgla kamiennego w temperaturze ok. 1000°C bez dostępu powietrza**. Węgiel kamienny przerabia się w zakładach przemysłu koksowniczego – **koksowniach**.

Węgiel kamienny zawiera domieszki różnych związków chemicznych powstających w wyniku rozkładu szczątków roślinnych. Produkty pirolizy węgla kamiennego są więc mieszaninami wielu związków chemicznych i cennymi surowcami w przemyśle chemicznym.

Piroliza węgla – proces przeróbki węgla, polegający na jego ogrzewaniu w wysokiej temperaturze bez dostępu powietrza.

Doświadczenie 19. N

Sucha destylacja węgla

! Doświadczenie należy przeprowadzać pod wyciągiem.

Odczynniki: węgiel brunatny lub drzewny (zamiast węgla kamiennego, którego piroliza zachodzi w bardzo wysokiej temperaturze).
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka z trudno topliwego szkła, korek z rurką kapilarną (zwężoną na jednym końcu), statyw, łapa metalowa, palnik gazowy.
Instrukcja: Do probówki wrzuć niewielki kawałek węgla i zamknij jej wylot korkiem z rurką kapilarną (schemat). Umieść probówkę w statywie i ostrożnie ogrzewaj ją w płomieniu palnika gazowego. Po chwili zapal gaz wydzielający się z probówki.
Opisz wygląd płomienia wydzielającego się gazu oraz zawartości probówki.





Fot. 47. Piroliza węgla.

Obserwacje: W wyniku ogrzewania próbki węgla z probówki wydziela się dym, a na jej ściankach widoczne są kropelki cieczy. Na dnie probówki powstaje czarny osad. Gaz powstający podczas ogrzewania węgla spala się żółtym płomieniem (fot. 47.). Otrzymana ciecz ma intensywny zapach amoniaku.
Wniosek: W wyniku rozkładu termicznego próbki węgla powstają substancje o trzech stanach skupienia: gazowym, ciekłym i stałym.

Produkty pirolizy węgla kamiennego

W wyniku pirolizy węgla kamiennego otrzymuje się m.in.: **koks** (fot. 48.), **gaz koksowniczy**, nazywany też gazem świetlnym, **wodę pogazową** i **smołę węglową**. Główne produkty pirolizy węgla są mieszaninami wielu związków chemicznych i cennymi surowcami w przemyśle chemicznym (patrz tabela 16., s. 137).

Fot. 48. Produkty pirolizy węgla kamiennego: a) koks, b) woda pogazowa, c) smoła węglowa.

Tabela 16. Główne produkty pirolizy węgla kamiennego

Produkt pirolizy	Składniki	Zastosowania
koks	zawiera 96–97% węgla pierwiastkowego	▸ paliwo ▸ reduktor w procesach hutniczych ▸ produkcja karbidu ▸ produkcja gazu syntezowego (mieszaniny CO i H_2) przetwarzanego na benzynę
gaz koksowniczy (gaz świetlny)	mieszanina głównie H_2 i CO oraz CH_4 i N_2	▸ gaz opałowy ▸ surowiec do syntez chemicznych
woda pogazowa	mieszanina H_2O, NH_3 i soli amonu	surowiec do produkcji: ▸ nawozów sztucznych ▸ amoniaku i siarczanu(VI) amonu
smoła węglowa	mieszanina kilkuset związków organicznych	surowiec do produkcji: ▸ tworzyw sztucznych ▸ rozpuszczalników ▸ barwników ▸ substancji zapachowych ▸ środków ochrony roślin ▸ leków ▸ materiałów wybuchowych

■ Wpływ wydobycia paliw kopalnych na środowisko przyrodnicze

Węgiel brunatny pozyskuje się metodą odkrywkową (fot. 49.). Węgiel kamienny też można pozyskiwać w ten sam sposób, ale jego wydobycie odbywa się przede wszystkim w kopalniach głębinowych. Wydobycie i transport ropy naftowej, podobnie jak węgla kamiennego i brunatnego, są związane z ogromnym zanieczyszczeniem środowiska przyrodniczego (awarie na platformach wydobywczych i tankowcach).

Procesy powstawania nowych złóż węgla, gazu ziemnego i ropy naftowej wciąż zachodzą w skorupie ziemskiej. Odbywa się to jednak w tempie o wiele wolniejszym niż zużywanie przez ludzi istniejących złóż, dlatego obawy, że **zasoby paliw kopalnych się wyczerpią**, są uzasadnione. Zgodnie z tym kryterium wszystkie źródła energii można podzielić na: wyczerpywalne (nieodnawialne) i niewyczerpywalne (odnawialne).



Fot. 49. Wydobywanie węgla brunatnego metodą odkrywkową powoduje degradację środowiska przyrodniczego.

źródła energii

wyczerpywalne
- paliwa kopalne, np.:
  - węgle kopalne
  - ropa naftowa
  - gaz ziemny
- przemiany promieniotwórcze pierwiastków chemicznych

niewyczerpywalne
- Słońce
- woda
- wiatr
- ciepło wnętrza Ziemi
- biopaliwa

Wpływ użycia paliw kopalnych na środowisko przyrodnicze

Spalanie paliw kopalnych to najprostsza i najczęściej stosowana metoda produkcji energii, w tym energii elektrycznej. Ma jednak niekorzystny wpływ na środowisko przyrodnicze.

Produkty powstające w procesie spalania paliw kopalnych zalicza się do gazów cieplarnianych. Oprócz CO_2 i pary wodnej należą do nich m.in.: CH_4, O_3 i N_2O. Sprzyjają one zatrzymywaniu ciepła przez Ziemię, ale ich stężenie w atmosferze nie jest stałe. Brak tych gazów spowodowałby duże wahania temperatury – średnie dobowe wartości temperatury byłyby ujemne, a całą powierzchnię Ziemi pokryłby lód. Natomiast zwiększanie się stężenia gazów cieplarnianych przyczynia się do wzrostu średniej temperatury atmosfery przy powierzchni Ziemi. Zjawisko to, nazywane **globalnym ociepleniem**, prowadzi m.in. do zaniku pokrywy lodowej w górach i okolicach podbiegunowych. W wyniku tego stale podnosi się poziom mórz i oceanów.

Globalne ocieplenie powoduje też wiele innych negatywnych zjawisk, np.:

- powiększanie się obszarów pustyń,
- problemy z dostępem do wody pitnej,
- wymieranie raf koralowych wskutek wzrostu temperatury i zmiany składu (zakwaszenia) wód oceanicznych.

W trakcie spalania węgla zanieczyszczonego siarką oprócz tlenku węgla(IV) powstają też tlenki siarki. Spalanie paliw ciekłych w pojazdach mechanicznych powoduje, że do atmosfery emitowane są tlenki azotu i węglowodory. **Powstające tlenki siarki(IV) i azotu(IV) reagują z parą wodną** zawartą w atmosferze i **wracają na Ziemię w postaci kwaśnych opadów** (roztworów wodnych kwasów siarkowych i azotowych), zanieczyszczających gleby, wody gruntowe i podziemne. Tlenek siarki(IV) i cząstki sadzy, na których mogą się kondensować krople wody, są przyczyną tworzenia się **smogu klasycznego**. Wskutek reakcji chemicznych zachodzących między tlenkami azotu i węglowodorami – produktami spalania m.in. benzyny i ropy naftowej – powstaje **smog fotochemiczny**.

Zanieczyszczenie atmosfery to niejedyny negatywny skutek pozyskiwania energii z paliw kopalnych. Ropa naftowa przedostająca się do morza (np. w wyniku awarii tankowców) unosi się na powierzchni wody i odcina dostęp tlenu oraz światła organizmom morskim, co prowadzi do ich śmierci. Wsiąka też w piasek, przez co przyczynia się do śmierci organizmów żyjących na brzegach mórz i oceanów. Jest także niebezpieczna dla ssaków morskich i ptaków (fot. 50.), które połykają ją, gdy starają się oczyścić futro albo zlepione pióra.



Fot. 50. Pióra ptaków wodnych oblepione ropą naftową trudno oczyścić. Wykorzystuje się do tego różnego rodzaju środki czystości.

Odnawialne źródła energii

Alternatywnymi źródłami energii dla paliw kopalnych są odnawialne źródła energii, m.in. elektrownie wiatrowe (fot. 51.), elektrownie słoneczne (fotoogniwa i kolektory słoneczne) oraz elektrownie jądrowe. Jednak każde źródło energii ma wady i zalety, np. turbiny wiatrowe zmieniają krajobraz i mogą przyczynić się do śmierci ptaków. Ponadto są one produkowane z nieekologicznych materiałów i po wycofaniu ich z użytku powstaje problem ich utylizacji.

Podobny problem dotyczy także odpadów powstających w elektrowniach jądrowych.



Fot. 51. Elektrownie wiatrowe (a) i słoneczne (b) dobrze sprawdzają się jako alternatywne źródło energii.

Zielona chemia

W celu zmniejszenia wpływu niewłaściwego planowania i prowadzenia procesów chemicznych, a więc aby zapobiegać degradacji środowiska, Paul Anastas wprowadził w 1991 r. koncepcję **zielonej chemii** (ang. *green chemistry*).

Zielona chemia zakłada **projektowanie i przeprowadzanie procesów chemicznych** w taki sposób, **aby ograniczyć**:

- **użycie** substancji szkodliwych dla środowiska przyrodniczego (powietrza, gleby i wody),
- **powstawanie i emisję** substancji szkodliwych do środowiska przyrodniczego.

W przypadku paliw kopalnych stosowanie zasad zielonej chemii polega na:

- wydajnym wykorzystywaniu energii w procesach chemicznych, np. przez stosowanie katalizatorów w celu obniżenia temperatury i zwiększenia efektywności tych procesów,
- przeprowadzaniu procesów chemicznych w warunkach naturalnych otoczenia (temperatury i ciśnienia),
- wykorzystaniu surowców pochodzących ze źródeł naturalnych,
- wstępnym oczyszczaniu paliw kopalnych z siarki, tzw. odsiarczaniu,
- stosowaniu filtrów pochłaniających emitowane zanieczyszczenia.

Przestrzeganie tych zasad tylko w niewielkim stopniu ogranicza szkodliwość używania paliw kopalnych.

Mapa pojęć – węglowodory

budowa

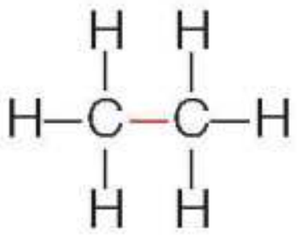
łańcuchowe

nasycone

alkany

C_nH_{2n+2}

etan

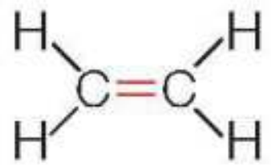


nienasycone

alkeny

C_nH_{2n}

eten



alkiny

C_nH_{2n-2}

etyn



pierścieniowe

nasycone

nienasycone

aromatyczne

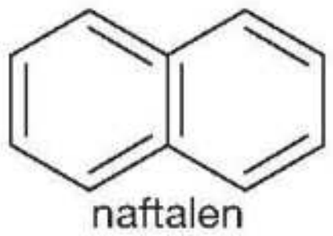
benzen



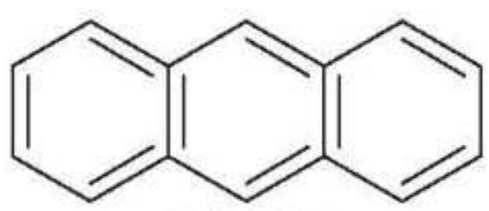
homologi benzenu

wielopierścieniowe

naftalen



antracen

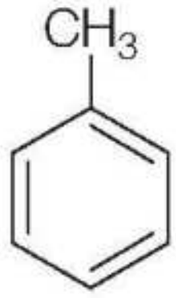


fenantren

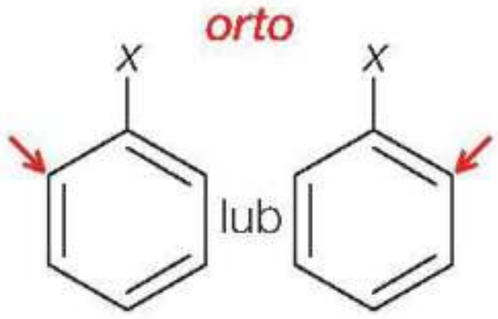


wpływ kierujący podstawników

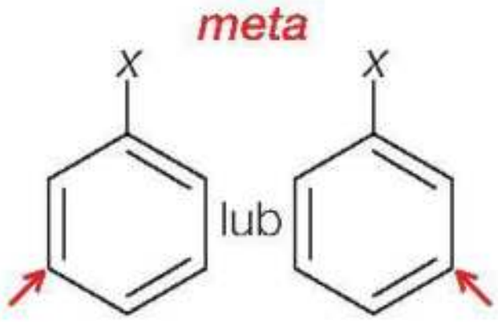
toluen



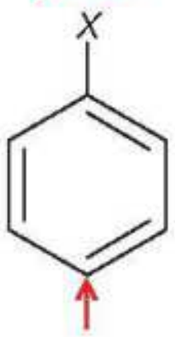
orto



meta



para



reakcje chemiczne

reakcje spalania

spalanie całkowite

$C_6H_5CH_3 + 9\ O_2 \longrightarrow 7\ CO_2 + 4\ H_2O$

metylobenzen – tlen – tlenek węgla(IV) – woda

spalanie niecałkowite

$2\ C_4H_{10} + 5\ O_2 \longrightarrow 8\ C + 10\ H_2O$

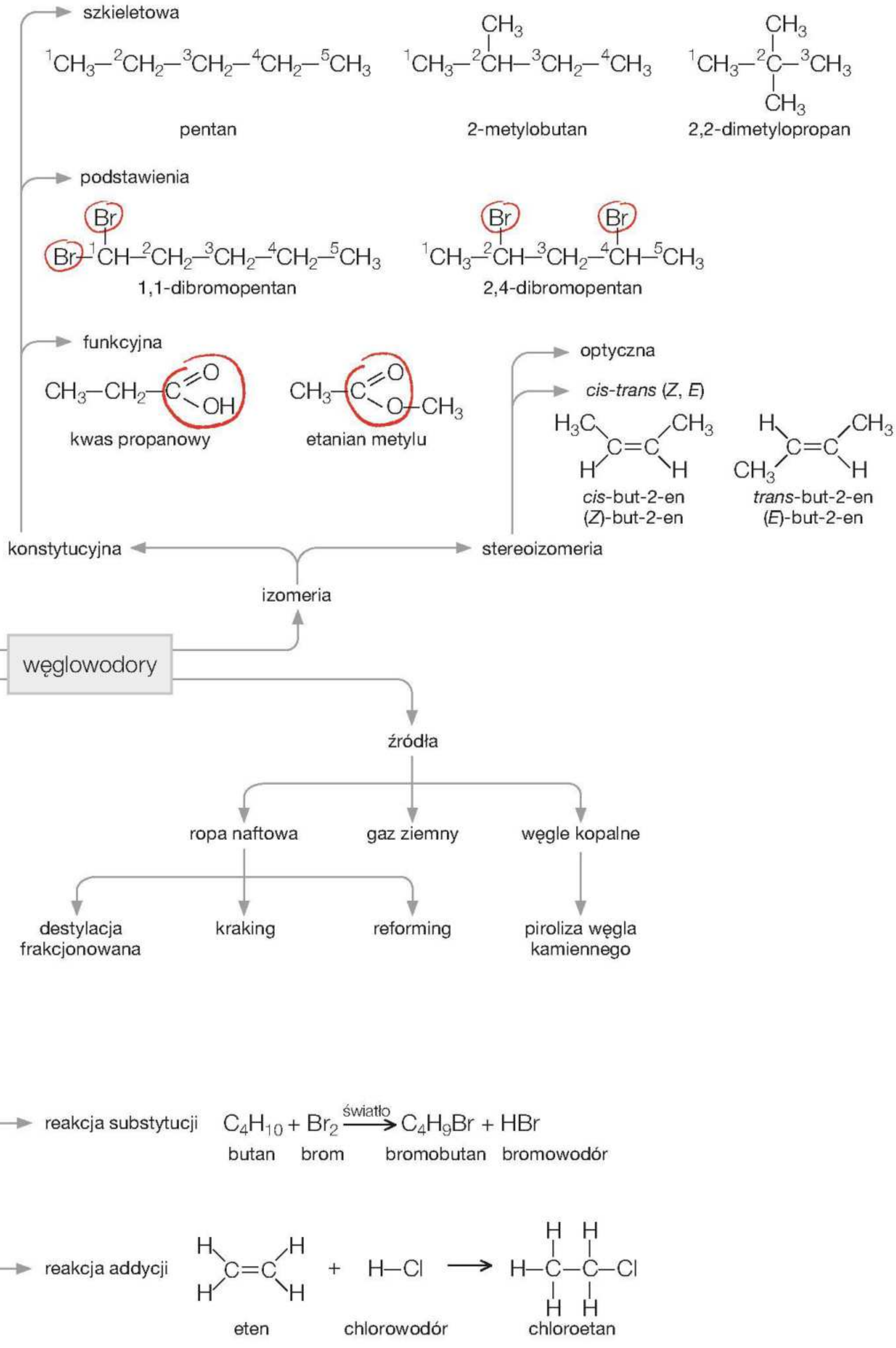
butan – tlen – węgiel – woda

$2\ C_4H_{10} + 9\ O_2 \longrightarrow 8\ CO + 10\ H_2O$

butan – tlen – tlenek węgla(II) – woda

Wyjaśnienia symboli:

n – liczba atomów węgla w cząsteczce węglowodoru.


szkieletowa
pentan
2-metylobutan
2,2-dimetylopropan
podstawienia
1,1-dibromopentan
2,4-dibromopentan
funkcyjna
kwas propanowy
etanian metylu
optyczna
cis-trans (Z, E)
cis-but-2-en
(Z)-but-2-en
trans-but-2-en
(E)-but-2-en
konstytucyjna
stereoizomeria
izomeria
węglowodory
źródła
ropa naftowa
gaz ziemny
węgle kopalne
destylacja frakcjonowana
kraking
reforming
piroliza węgla kamiennego
reakcja substytucji
butan
brom
bromobutan
bromowodór
reakcja addycji
eten
chlorowodór
chloroetan

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

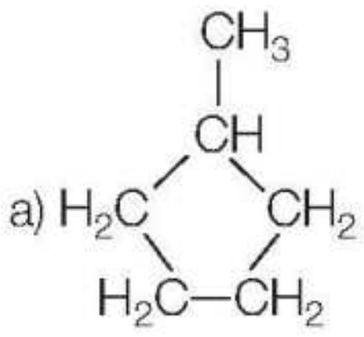
1. Podaj nazwę procesu wykorzystywanego do przeróbki ropy naftowej. Wskaż, która właściwość składników ropy naftowej jest podstawą tego procesu.

a) różne stany skupienia
b) różne temperatury wrzenia
c) różne gęstości
d) różna rozpuszczalność

2. Wybierz i zaznacz jedno określenie spośród podanych w każdym nawiasie.

a) Benzynę uzyskujemy podczas (destylacji / filtracji / sedymentacji) ropy naftowej.
b) Węglowodory o rozgałęzionym łańcuchu spalają się (bardziej / mniej) stukowo od węglowodorów o łańcuchu prostym.
c) Paliwo o liczbie oktanowej 75 spala się (bardziej / mniej) równomiernie od paliwa o liczbie oktanowej 95.

3. Ustal, który z przedstawionych za pomocą wzorów półstrukturalnych węglowodorów ma wysoką, a który niską liczbę oktanową. Odpowiedzi uzasadnij.

a)


b) $CH_3–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_3$

4. Kraking wykorzystuje się w przemyśle do produkcji paliw.

a) **Uzupełnij uproszczone równanie reakcji chemicznej zachodzącej podczas krakingu oktadekanu. Podaj nazwy produktów tej reakcji.**

$$C_{18}H_{38} \xrightarrow{\text{kat., } p, T} C_8H_{18} + 2\,C_3H_6 + 2\,\ldots$$

b) **Oblicz procent masowy oktadekanu, który ulega przemianie w ciekły alkan, jeśli wydajność procesu wynosi 80%.**

5. Reforming to proces otrzymywania paliw o dużej liczbie oktanowej. **Napisz równania reakcji 1–4 przedstawionych na schemacie.**

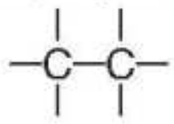
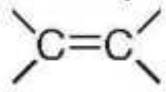


6. W elektrowni węglowej spalono 15 t węgla kamiennego, który zawierał 88% (procent masowy) węgla pierwiastkowego. **Oblicz masę powstałego w tej reakcji tlenku węgla(IV).**

Podsumowanie

Charakterystyka węglowodorów

Węglowodory dzieli się ze względu na budowę cząsteczki, czyli sposób połączenia atomów węgla, lub ze względu na rodzaj wiązań między atomami węgla.

Wzór sumaryczny związku chemicznego	alkan, np. C_2H_6	alken, np. C_2H_4	alkin, np. C_2H_2	aren, np. C_6H_6
Wzór ogólny szeregu homologicznego	C_nH_{2n+2}	C_nH_{2n}	C_nH_{2n-2}	C_nH_{2n-6}
Rodzaj wiązania między atomami węgla w cząsteczce	pojedyncze 	jedno wiązanie podwójne 	jedno wiązanie potrójne $-C\equiv C-$	wiązanie zdelokalizowane
Typ hybrydyzacji orbitali atomowych	sp^3	sp^2	sp	sp^2
Charakterystyczny typ reakcji chemicznej	substytucja rodnikowa	addycja, polimeryzacja	addycja, polimeryzacja	substytucja elektrofilowa

Reakcje spalania

Reakcją wspólną dla wszystkich węglowodorów jest reakcja spalania.

Rodzaj spalania	Produkty spalania
spalanie całkowite	CO_2 i H_2O
spalanie niecałkowite	CO i H_2O
	C i H_2O

Reakcje charakterystyczne – węglowodory nasycone

Węglowodory nasycone ulegają reakcjom substytucji rodnikowej.

Substancja	Schemat reakcji chemicznej	Nazwa produktu
Br_2 w obecności światła	$C_nH_{2n+2} \xrightarrow{Br_2,\ światło} C_nH_{2n+1}Br + HBr$	bromoalkan + bromowodór
Cl_2 w obecności światła	$C_nH_{2n+2} \xrightarrow{Cl_2,\ światło} C_nH_{2n+1}Cl + HCl$	chloroalkan + chlorowodór

Reakcje charakterystyczne – węglowodory nienasycone

Dla **węglowodorów nienasyconych** charakterystyczne są reakcje addycji do wiązania wielokrotnego.

Substancja	Schemat reakcji chemicznej	Nazwa produktu
H_2 w obecności katalizatora	$C_nH_{2n} \xrightarrow{H_2,\ światło} C_nH_{2n+2}$	alkan
Br_2	$C_nH_{2n} \xrightarrow{Br_2,\ światło} C_nH_{2n}Br_2$	dibromoalkan
HBr	$C_nH_{2n} \xrightarrow{HBr,\ światło} C_nH_{2n+1}Br$	bromoalkan

Alkiny ulegają reakcjom addycji, tak jak alkeny.

Reakcje charakterystyczne – węglowodory aromatyczne

Reakcją charakterystyczną dla **węglowodorów aromatycznych** jest reakcja substytucji elektrofilowej do pierścienia. W pewnych warunkach węglowodory aromatyczne ulegają również **reakcji addycji**.

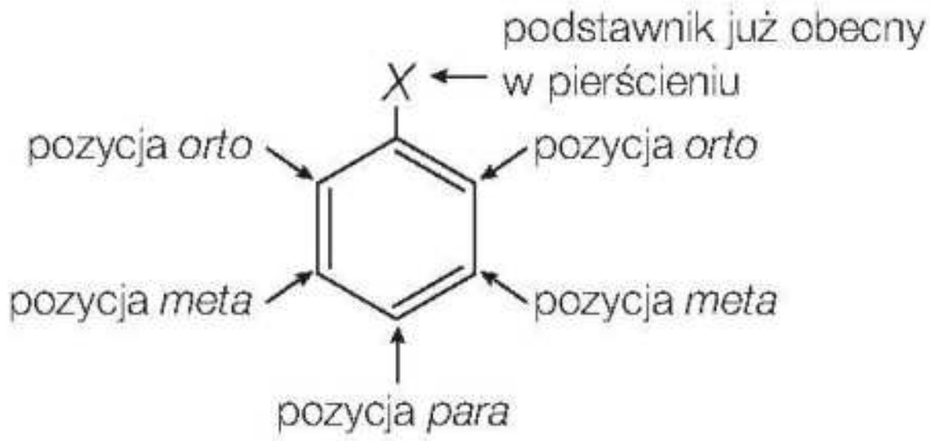
Nazwa reakcji chemicznej	Odczynnik	Schemat reakcji chemicznej	Nazwa produktu
nitrowanie	**mieszanina nitrująca** – stężone roztwory HNO_3 i H_2SO_4	$C_6H_6 \longrightarrow C_6H_5NO_2$	nitrobenzen
chlorowanie lub bromowanie	Cl_2 w obecności katalizatora $FeCl_3$	$C_6H_6 \longrightarrow C_6H_5Cl$	chlorobenzen
	Cl_2 w obecności światła	$C_6H_6 \longrightarrow C_6H_6Cl_6$	1,2,3,4,5,6-heksachlorocykloheksan
sulfonowanie	stężony roztwór H_2SO_4	$C_6H_6 \longrightarrow C_6H_5SO_3H$	kwas benzenosulfonowy

Wpływ kierujący podstawników

Podstawniki I rodzaju – obecne w pierścieniu benzenowym – kierują nowy podstawnik w położenie *orto* lub *para* oraz (z wyjątkiem fluorowców) zwiększają reaktywność chemiczną związku aromatycznego.

Podstawniki II rodzaju – obecne w pierścieniu benzenowym – kierują nowy podstawnik w położenie *meta* oraz zmniejszają reaktywność chemiczną związku aromatycznego.

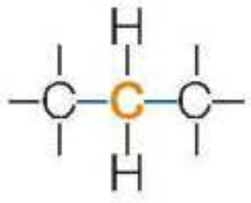
Podstawniki (*X*)	
I rodzaju	$-NH_2$, $-OH$, $-R$, $-Ar$, atomy fluorowców
II rodzaju	$-NO_2$, $-SO_3H$, $-COOH$, $-CHO$, $-CN$

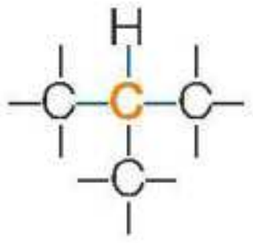


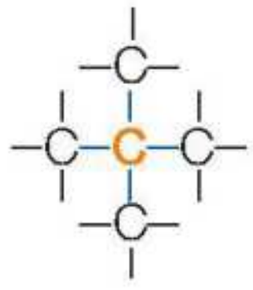
Rzędowość atomu węgla

Rzędowość atomu węgla jest to liczba wiązań chemicznych, które tworzy on z innymi atomami węgla w związku organicznym:


pierwszorzędowy atom węgla

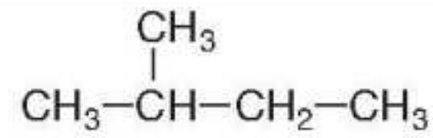
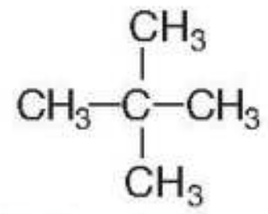
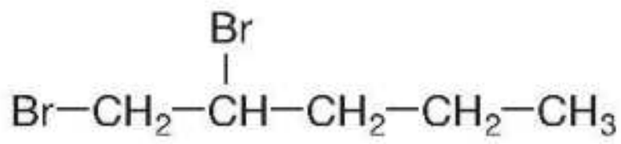
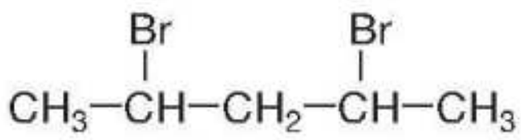
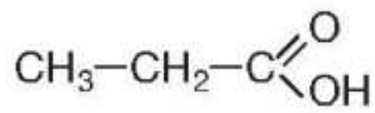
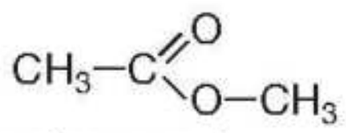
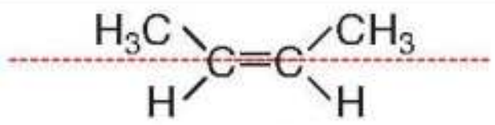
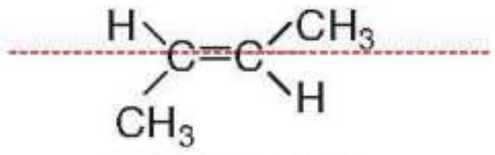

drugorzędowy atom węgla


trzeciorzędowy atom węgla


czwartorzędowy atom węgla

Izomeria

Izomeria to zjawisko występowania związków chemicznych o takim samym wzorze sumarycznym, lecz różnej budowie cząsteczek.

Rodzaj izomerii	Charakterystyka	Przykład
szkieletowa	Cząsteczki związku chemicznego mają ten sam wzór sumaryczny, lecz różnią się wzorem strukturalnym.	 2-metylobutan  2,2-dimetylopropan
położenia	Cząsteczki związku chemicznego różnią się położeniem podstawnika lub wiązania wielokrotnego.	 1,2-dibromopentan  2,4-dibromopentan
funkcyjna	Cząsteczki związków chemicznych o takim samym składzie mają różne grupy funkcyjne.	 kwas propanowy  etanian metylu
cis-trans *Z*, *E*	Cząsteczki nienasyconego lub cyklicznego związku chemicznego różnią się położeniem podstawników w przestrzeni.	 płaszczyzna wiązania podwójnego *cis*-but-2-en (*Z*)-but-2-en  płaszczyzna wiązania podwójnego *trans*-but-2-en (*E*)-but-2-en

Źródła węglowodorów

Naturalnymi źródłami węglowodorów są surowce energetyczne, przede wszystkim: gaz ziemny, ropa naftowa i węgle kopalne.

źródła energii (paliwa kopalne)

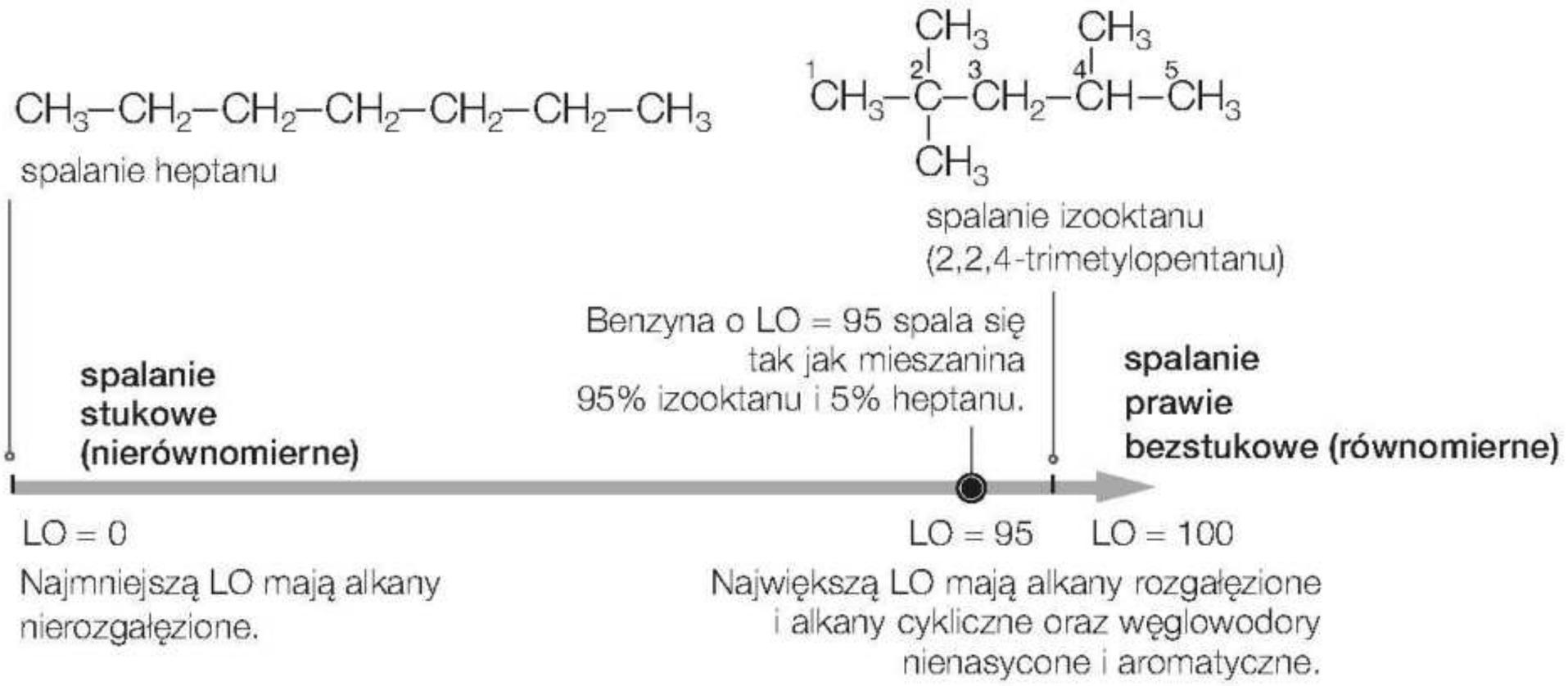
węgle kopalne
produkty pirolizy
- gaz koksowniczy
- woda pogazowa
- smoła węglowa
- koks

gaz ziemny

ropa naftowa
produkty destylacji frakcyjnej
- gaz rafineryjny
- benzyny
- nafty
- oleje napędowe
- mazut

Liczba oktanowa

Liczba oktanowa (LO) określa odporność benzyny na spalanie stukowe. Im większa liczba oktanowa, tym większa odporność na spalanie stukowe.



Właściwości ropy naftowej

Ropa naftowa jest mieszaniną jednorodną wielu tysięcy różnych związków chemicznych, głównie węglowodorów w stanie gazowym, ciekłym i stałym, wzajemnie w sobie rozpuszczonych.

Ropa naftowa	
właściwości fizyczne	**właściwości chemiczne**
▸ oleista ciecz ▸ różne barwy – od żółtej do czarnej ▸ nierozpuszczalna w wodzie ▸ gęstość $d = 0{,}82–0{,}95 \frac{g}{cm^3}$	▸ charakterystyczny zapach ▸ palna; płomień żółtej barwy, kopcący

Kraking

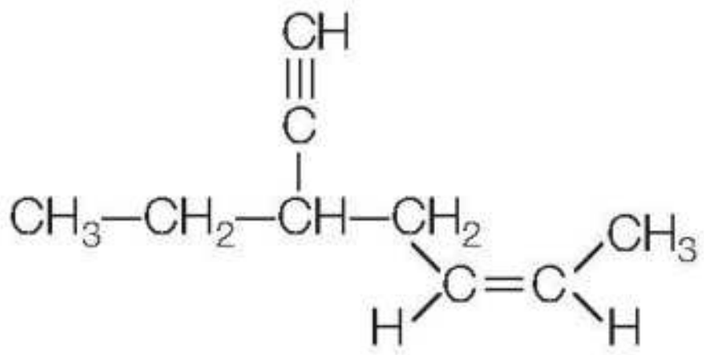
Kraking jest to reakcja rozkładu alkanów o dużych cząsteczkach (długich łańcuchach węglowych). W jego wyniku powstaje mieszanina alkanów i alkenów o mniejszych cząsteczkach (krótszych łańcuchach węglowych).

Reforming

Reforming, czyli izomeryzacja, jest to reakcja przekształcenia węglowodorów o łańcuchach prostych w węglowodory o łańcuchach rozgałęzionych lub pierścieniowych (cyklicznych).

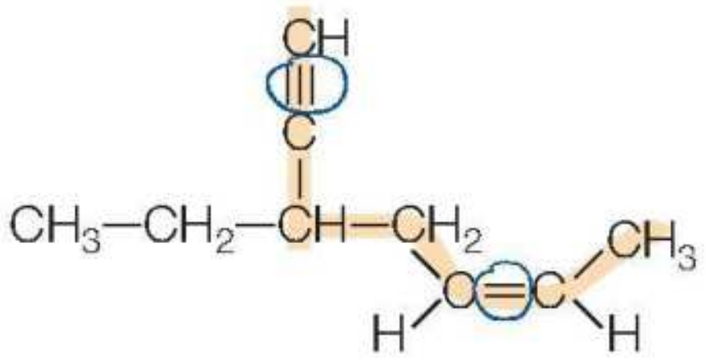
Sposób na zadania

Jak ustalić nazwę systematyczną węglowodoru o podanym wzorze półstrukturalnym? Jak ustalić, jaki to izomer geometryczny?



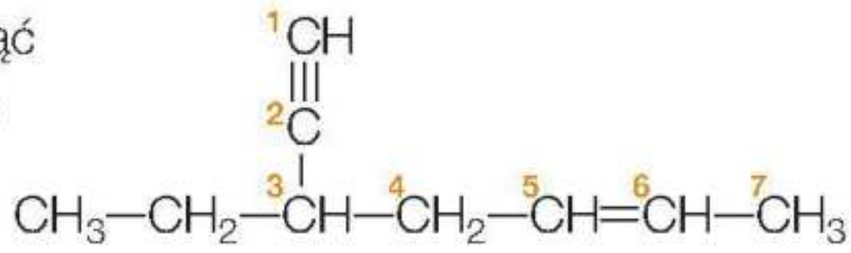
1 Wyznacz najdłuższy łańcuch węglowy.

Znajdź najdłuższy łańcuch węglowy. W cząsteczce węglowodoru o podanym wzorze półstrukturalnym zawiera on 7 atomów węgla i dwa wiązania wielokrotne.



2 Ponumeruj atomy węgla łańcucha głównego.

Ponumeruj atomy w najdłuższym łańcuchu węglowym zgodnie z zaleceniami IUPAC. Numerowanie należy zacząć od tego końca łańcucha, który znajduje się bliżej jednego z wiązań wielokrotnych. To ich położenie ma wpływ na numerację, a nie położenie podstawnika etylowego.



W cząsteczce węglowodoru numerację rozpocznij zatem od atomu węgla połączonego wiązaniem potrójnym.

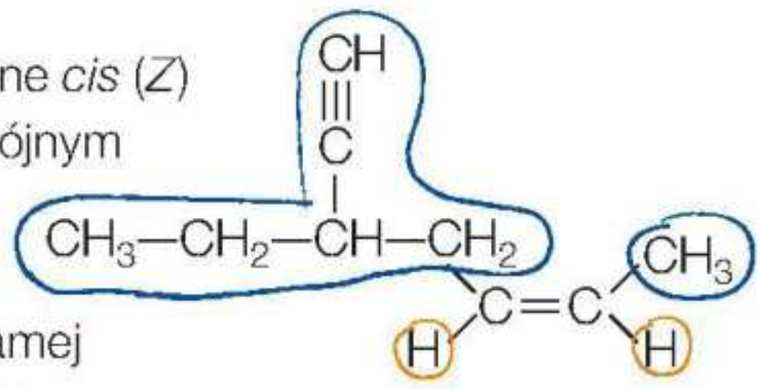
! Zwróć uwagę na to, że jeżeli w cząsteczce węglowodoru oprócz wiązania potrójnego znajduje także wiązanie podwójne, a oba wiązania znajdują się w identycznej odległości od końców łańcucha, to pierwszeństwo przy ustalaniu numeracji atomów węgla ma wiązanie podwójne.

3 Podaj nazwę węglowodoru.

Łańcuch główny tworzy 7 atomów węgla. Nazwa alkanu o takim łańcuchu węglowym to heptan. Jednak w cząsteczce węglowodoru występują dwa wiązania wielokrotne: wiązanie podwójne przy 5. atomie węgla i wiązanie potrójne przy 1. Dlatego w nazwie należy podać odpowiednie przyrostki (-en, -yn) zestawione z odpowiednimi lokantami – stąd hept-5-en-1-yn. W nazwie węglowodoru należy uwzględnić także informację o podstawniku i jego położeniu, ponieważ przy 3. atomie węgla znajduje się grupa etylowa. Nazwa węglowodoru to 3-etylohept-5-en-1-yn.

3 Określ rodzaj izomeru geometrycznego.

Cząsteczka węglowodoru może tworzyć izomery geometryczne *cis* (*Z*) i *trans* (*E*), jeśli każdy atom węgla połączony wiązaniem podwójnym związany jest z dwoma różnymi atomami lub grupami atomów (tu: atom wodoru i grupa węglowodorowa). Różne grupy węglowodorowe leżą po tej samej stronie płaszczyzny wiązania podwójnego, a takie ułożenie jest charakterystyczne dla izomerów *Z* (*cis*). Nazwa węglowodoru to: (*Z*)-3-etylohept-5-en-1-yn lub *cis*-3-etylohept-5-en-1-yn.



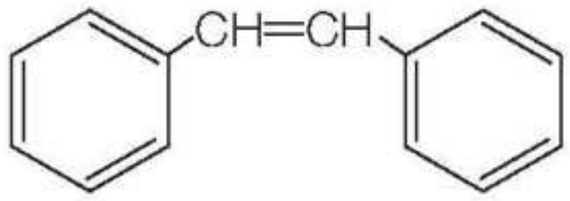
Trening – rozwiąż zadania: 1., s. 148.

Trening – rozwiąż zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

Informacja do zadań 1.–4.

Stylben to nienasycony węglowodór aromatyczny o wzorze sumarycznym $C_{14}H_{12}$. Występuje w postaci dwóch odmian izomerycznych. Tworzy bezbarwne lub żółte kryształy. Jest obecny w resweratrolu – przeciwutleniaczu występującym w owocach oraz lekach antynowotworowych. Podczas naświetlania stylben ulega reakcji fotoizomeryzacji. Poniżej przedstawiono jego wzór.



stylben

Zadanie 1.

Podaj nazwę systematyczną stylbenu.

Zadanie 2.

W cząsteczce stylbenu **wszystkie** atomy węgla mają ten sam typ hybrydyzacji. **Podaj właściwy rodzaj hybrydyzacji orbitali atomowych węgla w stylbenie, wybierając spośród wymienionych poniżej.**

a) *sp*
b) sp^2
c) sp^3

Zadanie 3.

Narysuj wzory półstrukturalne izomerów stylbenu tak, aby jednoznacznie wskazywały na występujący w nich rodzaj izomerii. Podaj nazwę tego rodzaju izomerii.

Zadanie 4.

Wskaż zdania zawierające prawdziwe informacje dotyczące właściwości stylbenu.

1. Jest węglowodorem aromatycznym, więc reaguje z mieszaniną nitrującą.
2. Reaguje z chlorem dopiero w obecności światła.
3. W reakcji z roztworem chlorku żelaza(III) tworzy kompleksy o charakterystycznym zabarwieniu.
4. Łatwo ulega reakcji polimeryzacji, tworząc polimer – polistilben.

Informacja do zadań 5. i 6.

Słonecznik zawiera węglowodór o wzorze sumarycznym $C_{13}H_6$ i uproszczonym wzorze strukturalnym:

$$H_2C{=}CH{-}C{\equiv}C{-}C{\equiv}C{-}C{\equiv}C{-}C{\equiv}C{-}C{\equiv}C{-}CH_3$$

Zadanie 5.

Podaj liczbę wiązań typu σ oraz liczbę wiązań typu π w cząsteczce węglowodoru występującego w słoneczniku.

Zadanie 6.

Mieszaninę etenu i etynu o objętości 80 cm^3 (odmierzoną w warunkach normalnych) poddano chlorowaniu. W wyniku tego procesu otrzymano produkty, które nie odbarwiają wody bromowej. **Napisz równania odpowiednich reakcji chemicznych. Następnie oblicz skład procentowy mieszaniny (w procentach objętościowych), wiedząc, że do reakcji chemicznej użyto 100 cm^3 chloru odmierzonego w warunkach normalnych.**



Jednofunkcyjne pochodne węglowodorów

W tym dziale zwróć uwagę na umiejętności

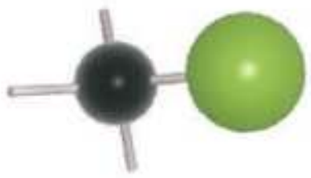
Korzystanie z informacji

- klasyfikowanie związku chemicznego do jednofunkcyjnych pochodnych węglowodorów na podstawie wzoru sumarycznego, półstrukturalnego, grupowego, opisu budowy cząsteczek lub właściwości fizykochemicznych
- klasyfikowanie reakcji związków organicznych ze względu na typ procesu i mechanizm reakcji
- określanie właściwości jednofunkcyjnych pochodnych węglowodorów na podstawie budowy cząsteczki

Doświadczenia chemiczne – projektowanie i opisywanie

- reakcje spalania alkoholi
- badanie zachowania alkoholi wobec HCl i HBr oraz Na
- reakcja eliminacji wody z cząsteczek alkoholu
- badanie zachowania alkoholi pierwszo-, drugo- i trzeciorzędowych wobec utleniaczy
- porównanie właściwości fizycznych i chemicznych alkoholi mono- i polihydroksylowych
- badanie zachowania fenoli wobec sodu, wodorotlenku sodu oraz bromu
- badanie zachowania aldehydów wobec odczynnika Tollensa i odczynnika Trommera
- badanie redukujących właściwości kwasu metanowego
- badanie mocy kwasów karboksylowych
- reakcja estryfikacji
- badanie wpływu środowiska na przebieg reakcji hydrolizy estrów
- badanie procesu utwardzania i zmydlania tłuszczów
- badanie zachowania aminy wobec wody bromowej

13. Fluorowcopochodne węglowodorów



Rys. 25. Model fragmentu cząsteczki pochodnej węglowodoru. Atom wodoru został tu zastąpiony atomem fluorowca.

Modele atomów:
węgla chloru

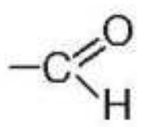
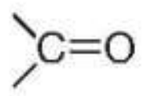
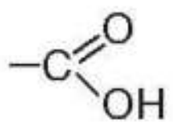
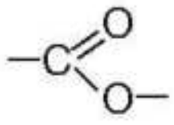
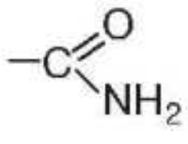
Związki organiczne to w większości **pochodne węglowodorów**. W ich cząsteczkach atom (lub atomy) wodoru został zastąpiony atomem (rys. 25.) innego pierwiastka chemicznego lub grupą atomów innych pierwiastków chemicznych.

Rodzaje pochodnych węglowodorów

Cząsteczki pochodnych węglowodorów zbudowane są z:
- **grupy węglowodorowej** (np. alkilowej lub arylowej),
- **grupy funkcyjnej** – atomu lub grupy atomów (tabela 17.).

Grupa funkcyjna – atom lub grupa atomów, które nadają związkom organicznym specyficzne właściwości.

Tabela 17. Wzory i nazwy grup funkcyjnych oraz nazwy jednofunkcyjnych pochodnych węglowodorów

Grupa funkcyjna		Nazwa jednofunkcyjnej pochodnej węglowodoru
wzór	nazwa	
—Cl, —Br, —F, —I	fluorowce	fluorowcopochodne węglowodorów
—OH (połączona z grupą alkilową)	hydroksylowa	alkohole
—OH (połączona z grupą arylową)	hydroksylowa	fenole
	aldehydowa	aldehydy
	karbonylowa*	ketony
	karboksylowa	kwasy karboksylowe
	estrowa	estry
$-NH_2$	aminowa	aminy
$-NO_2$	nitrowa	związki nitrowe
	amidowa	amidy kwasowe

* Grupa karbonylowa wchodzi w skład innych grup funkcyjnych, np.: aldehydowej, amidowej, karboksylowej.

Występowanie fluorowcopochodnych węglowodorów

Fluorowcopochodne węglowodorów występują w środowisku przyrodniczym w niewielkich ilościach, głównie w morskich organizmach zwierzęcych i roślinnych, np. brunatnicach (fot. 52.).

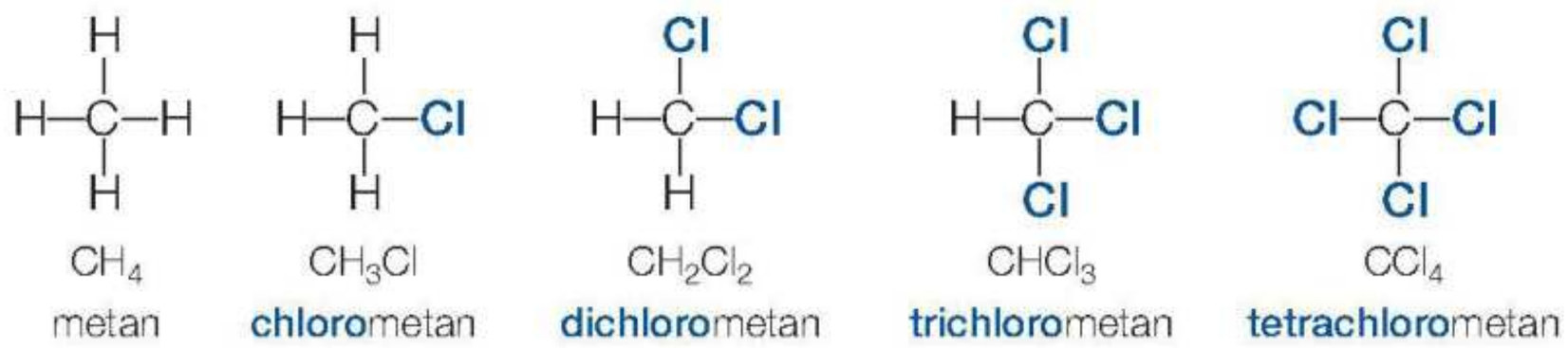
1,1,1-trichloroetan $C_2H_3Cl_3$ i 1,2-dibromoetan $C_2H_4Br_2$ trafiają do atmosfery w wyniku wybuchów wulkanów i pożarów lasów.



Fot. 52. Brunatnice wytwarzają m.in. chlorometan CH_3Cl.

Budowa cząsteczek fluorowcopochodnych węglowodorów

Najprostszymi grupami funkcyjnymi są atomy fluorowców, czyli pierwiastków chemicznych 17. grupy układu okresowego: –F, –Cl, –Br i –I. Wchodzą one w skład cząsteczek **fluorowcopochodnych węglowodorów**, w których zamiast jednego lub kilku atomów wodoru znajdują się jednowartościowe atomy fluorowców (rys. 26.). Fluorowcopochodne węglowodorów są też nazywane **halogenkami**.



Rys. 26. Wzory strukturalne i sumaryczne cząsteczki metanu oraz jej chloropochodnych.

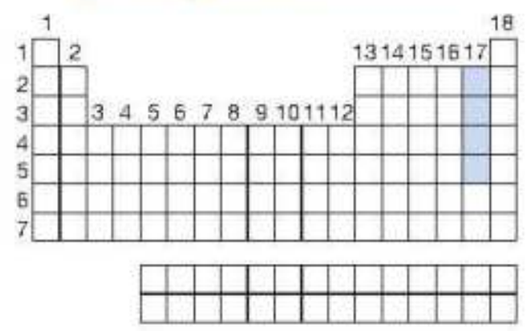
Wzór ogólny fluorowcopochodnych węglowodorów:

$$R{-}X$$

◀ Wzór ogólny fluorowcopochodnych węglowodorów

gdzie:
–R – grupa węglowodorowa (np. alkilowa lub arylowa),
–*X* – atom fluorowca (F, Cl, Br, I), czyli grupa funkcyjna.

Przykłady fluorowców:



Izomeria konstytucyjna fluorowcopochodnych węglowodorów

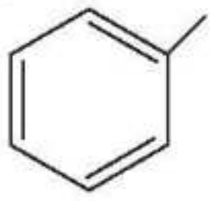
Fluorowcopochodne węglowodorów mogą występować w postaci **izomerów konstytucyjnych**, które różnią się położeniem atomu fluorowca w łańcuchu głównym lub pierścieniu aromatycznym (w tym przypadku z wyjątkiem monopochodnych). Najczęściej spotykane są fluorowcopochodne, które zawierają w cząsteczce atomy chloru i bromu.



Nazewnictwo fluorowcopochodnych węglowodorów

Nazwy systematyczne fluorowcopochodnych węglowodorów tworzy się zgodnie z zasadami nazewnictwa węglowodorów, przy czym **zaznacza się obecność fluorowca**, używając odpowiedniego przedrostka, np. **fluoro-**, **chloro-**, oraz lokantu wskazującego na jego położenie w cząsteczce, a jeśli występuje więcej niż jeden podstawnik, wymienia się je w kolejności alfabetycznej.

grupa fenylowa
C_6H_5-



Halogenki alkilowe to fluorowcopochodne węglowodorów alifatycznych, np.:

$\overset{2}{C}H_2=\overset{1}{C}H-Cl$ — chloroeten

$\overset{3}{C}H_3-\overset{2}{C}H_2-\overset{1}{C}H_2-Br$ — 1-bromopropan

CF_2Cl_2 — dichlorodifluorometan

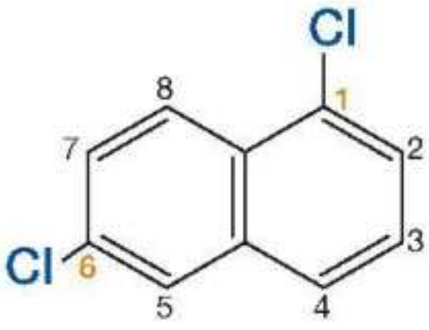
Halogenki arylowe to fluorowcopochodne węglowodorów aromatycznych, np.:



(bromometylo)benzen
bromofenylometan



4-chlorotoluen



1,6-dichloronaftalen

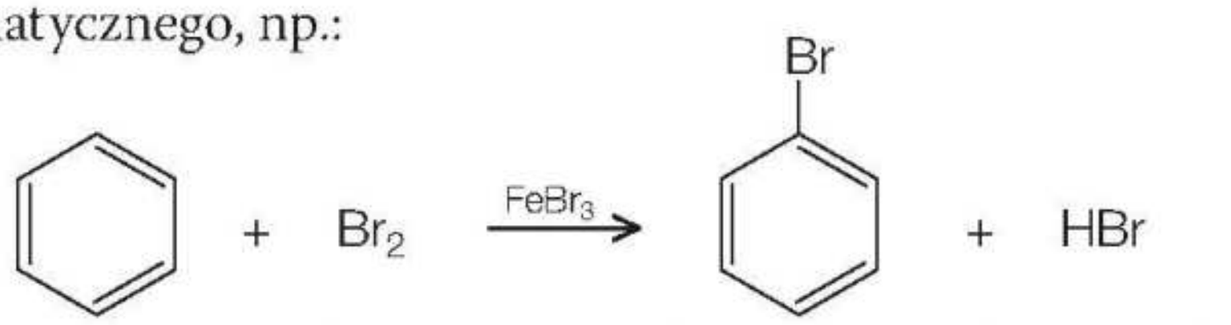
Otrzymywanie fluorowcopochodnych węglowodorów

Fluorowcopochodne węglowodorów otrzymuje się w reakcjach:

- **substytucji atomu wodoru** atomami fluorowca, np. chloru lub bromu, w cząsteczce węglowodoru
  – nasyconego, np.:

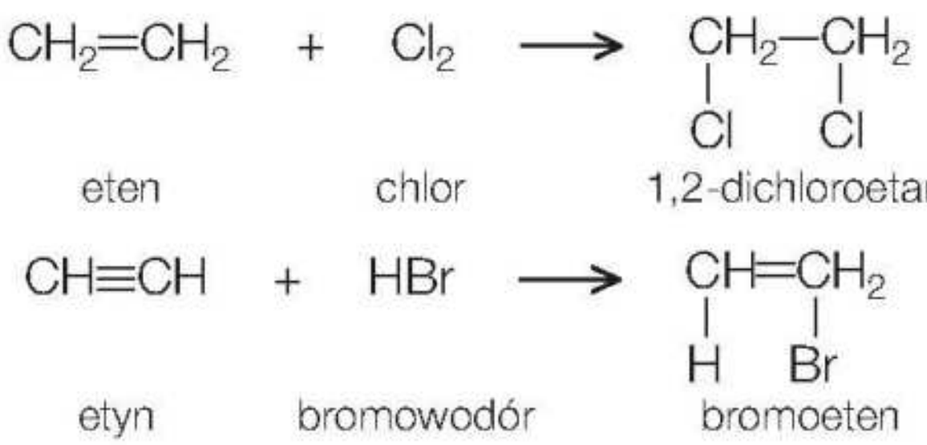
$$\underset{\text{metan}}{CH_4} + \underset{\text{chlor}}{Cl_2} \xrightarrow{\text{światło}} \underset{\text{chlorometan}}{CH_3Cl} + \underset{\text{chlorowodór}}{HCl}$$

  – aromatycznego, np.:



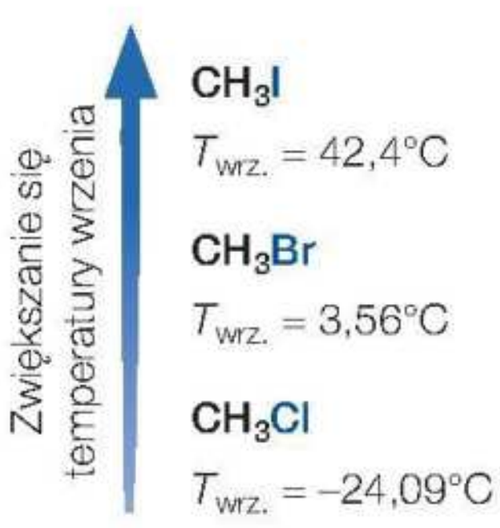
benzen — brom — bromobenzen — bromowodór

- **addycji** fluorowca lub fluorowcowodoru **do cząsteczek węglowodorów nienasyconych**, np.:



- **substytucji** fluorowcem **grupy hydroksylowej** $-OH$ **w cząsteczce alkoholu**, np.:

$$\underset{\text{etanol}}{CH_3CH_2OH} + \underset{\text{chlorowodór}}{HCl} \longrightarrow \underset{\text{chloroetan}}{CH_3CH_2Cl} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$



Rys. 27. Zmiana temperatury wrzenia pochodnych metanu wraz ze zwiększaniem się masy atomowej fluorowca w cząsteczce.

Właściwości fizyczne fluorowcopochodnych węglowodorów

Zwiększenie masy atomowej fluorowca w cząsteczkach fluorowcopochodnych węglowodorów powoduje podwyższenie ich temperatury

wrzenia (tabela 18.) w porównaniu z temperaturą wrzenia węglowodoru, którego są pochodną (patrz rys. 27., s. 152).

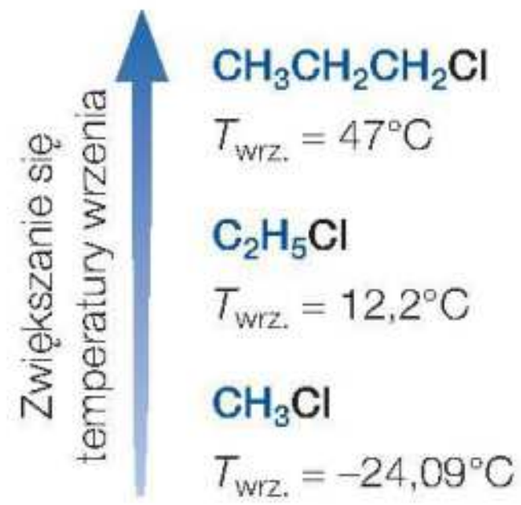
Tabela 18. Temperatury wrzenia fluorowcopochodnych etanu

Wzór sumaryczny związku chemicznego	Masa cząsteczkowa, u	Temperatura wrzenia*, °C
C_2H_6	30	–89
C_2H_5F	48	–38
C_2H_5Cl	64,5	12
C_2H_5Br	109	38
C_2H_5I	156	72

* Temperatury wrzenia wyznaczone dla p = 1013 hPa.

Wzrost temperatury wrzenia zależy także od długości łańcucha węglowodorowego w cząsteczkach fluorowcopochodnych węglowodorów (rys. 28.).

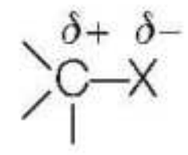
Fluorowcopochodne węglowodorów to najczęściej niepalne ciecze nierozpuszczalne w wodzie. Wyjątkami są: fluorometan CH_3F, chlorometan CH_3Cl, bromometan CH_3Br, fluoroetan C_2H_5F i chloroetan C_2H_5Cl, które w temperaturze 25°C są gazami. Chlorki alkilowe rozpuszczają się w niepolarnych rozpuszczalnikach organicznych. Dobrze rozpuszczają także inne związki organiczne, dlatego stosuje się je jako rozpuszczalniki.



Rys. 28. Zmiana temperatury wrzenia chloroalkanów.

Reaktywność fluorowcopochodnych węglowodorów

Z powodu dużej elektroujemności atomów fluorowców wiązania między atomami węgla a atomami fluorowców są na ogół spolaryzowane (rys. 29.). Oznacza to, że **wspólna para elektronowa** tworząca wiązanie jest **przesunięta w kierunku atomu fluorowca**. To z kolei powoduje, że cząsteczki niektórych fluorowcopochodnych węglowodorów są polarne i wykazują momenty dipolowe różne od zera. Wpływa to na ich **zwiększoną reaktywność chemiczną**.



Rys. 29. Spolaryzowane wiązanie powoduje, że halogenki alkilowe mają właściwości elektrofilowe.

Fluorowcopochodne węglowodorów reagują z wieloma substancjami. Głównie są to reakcje **substytucji atomu fluorowca** i **eliminacji cząsteczki fluorowcowodoru**.

Reakcje substytucji atomu wodoru atomami fluorowca w cząsteczce alkanu

substytucja rodnikowa

Bezpośrednie wprowadzenie atomu chloru lub bromu do cząsteczki alkanu następuje w **reakcji substytucji rodnikowej**. Ważną rolę w przebiegu reakcji chemicznej z chlorem lub bromem odgrywa rzędowość atomu węgla, przy którym zachodzi podstawienie. Im wyższą rzędowość ma atom węgla, tym łatwiej zachodzi reakcja chemiczna. W reakcji chlorowania propanu w obecności światła powstaje ok. 45% 1-chloropropanu i 55% 2-chloropropanu. Patrz s. 154.

schemat reakcji chlorowania C_3H_8

$$\underset{\text{propan}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_3} \xrightarrow{Cl_2,\ \text{światło},\ T = 25°C} \underset{\substack{\text{1-chloropropan}\\ 45\%}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2Cl} + \underset{\substack{\text{2-chloropropan}\\ 55\%}}{CH_3{-}CHCl{-}CH_3}$$

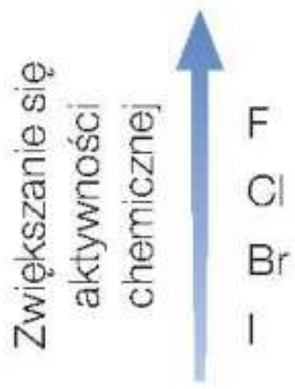
W reakcji chemicznej, w której chlor zastąpiono bromem, powstaje 3% 1-bromopropanu i 97% 2-bromopropanu:

schemat reakcji bromowania C_3H_8

$$\underset{\text{propan}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_3} \xrightarrow{Br_2,\ \text{światło},\ T = 25°C} \underset{\substack{\text{1-bromopropan}\\ 3\%}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2Br} + \underset{\substack{\text{2-bromopropan}\\ 97\%}}{CH_3{-}CHBr{-}CH_3}$$

Wpływ rzędowości atomu węgla, przy którym następuje podstawienie, na przebieg reakcji chemicznej jest najbardziej widoczny w przypadku bromowania.

Chlor i brom reagują z alkanami łatwo, **fluor** – wybuchowo, a **jod** wykazuje prawie zupełną bierność chemiczną (rys. 30.). Jest to związane z różną aktywnością chemiczną fluorowców.



Rys. 30. Zmiany aktywności chemicznej fluorowców.

Reakcje substytucji nukleofilowej fluorowcopochodnych węglowodorów

Fluorowcopochodne węglowodorów ulegają **reakcjom substytucji** atomu fluorowca innym atomem lub grupą atomów.

- W reakcji chemicznej fluorowcopochodnej z mocną zasadą w środowisku wodnym powstają alkohole, np.:

$$\underset{\text{chloroetan}}{CH_3{-}CH_2{-}Cl} + \underset{\text{wodorotlenek potasu}}{KOH} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{etanol}}{CH_3{-}CH_2{-}OH} + \underset{\text{chlorek potasu}}{KCl}$$

- Produktami reakcji fluorowcopochodnych z amoniakiem są aminy. Reakcja zachodzi w dwóch etapach:

Etap I.

$$\underset{\text{1-chloropropan}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2Cl} + \underset{\text{amoniak}}{NH_3} \longrightarrow \underset{\textit{produkt pośredni}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2NH_3^+Cl^-}$$

Etap II.

$$\underset{\textit{produkt pośredni}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2NH_3^+Cl^-} + \underset{\text{wodorotlenek sodu}}{NaOH} \longrightarrow \underset{\text{propano-1-amina}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2NH_2} + \underset{\text{chlorek sodu}}{NaCl} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

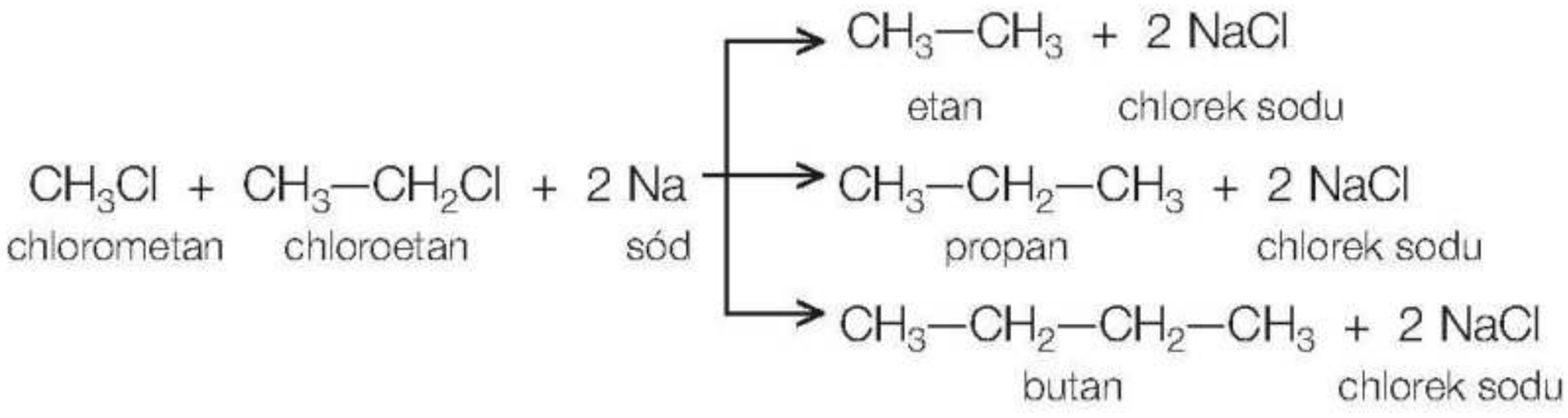
Reakcja Wurtza – reakcja fluorowcopochodnych węglowodorów z sodem.

Fluorowcopochodne węglowodorów reagują z sodem. Produktem tej reakcji chemicznej są alkany. Jest to **reakcja Wurtza**, np.:

$$\underset{\substack{\text{chlorometan}\\ \text{sód}}}{2\,CH_3Cl + 2\,Na} \longrightarrow \underset{\substack{\text{etan}\\ \text{chlorek sodu}}}{CH_3{-}CH_3 + 2\,NaCl}$$

$$\underset{\substack{\text{chloroetan}\\ \text{sód}}}{2\,CH_3{-}CH_2Cl + 2\,Na} \longrightarrow \underset{\substack{\text{butan}\\ \text{chlorek sodu}}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3 + 2\,NaCl}$$

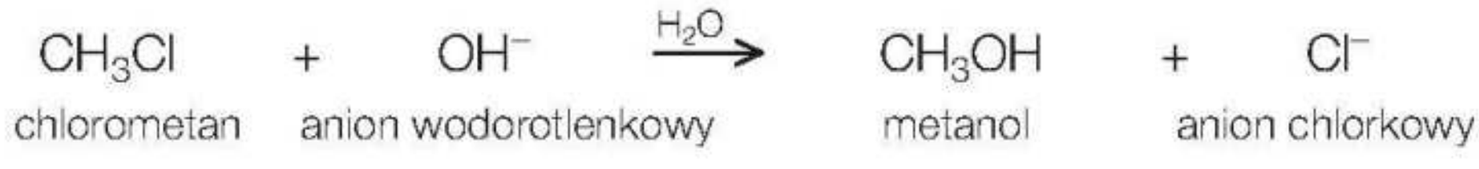
W przypadku reakcji chemicznej sodu z dwiema fluorowcopochodnymi o różnych grupach alkilowych otrzymuje się mieszaninę alkanów, np.:



Reakcje chemiczne zachodzące z wymianą atomów chloru, bromu lub jodu na inne podstawniki to przykłady **reakcji substytucji nukleofilowej**. **Odczynnikami nukleofilowymi** (nukleofilami) w tych reakcjach są cząsteczki związków chemicznych zawierające atomy z wolną parę elektronową lub aniony, np.: H_2O, NH_3, OH^-, CN^-, Br^-, Cl^-. W powstawaniu wiązań węgiel—nukleofil uczestniczy wolna para elektronowa nukleofila.

Przykłady odczynników nukleofilowych: H_2O, NH_3, OH^-, CN^-, Br^-, Cl^-.

Reakcja substytucji nukleofilowej przebiega łatwo, gdy atom fluorowca jest połączony z atomem węgla o hybrydyzacji sp^3. Przykładem reakcji substytucji nukleofilowej jest reakcja chlorometanu z anionem wodorotlenkowym w środowisku wodnym:



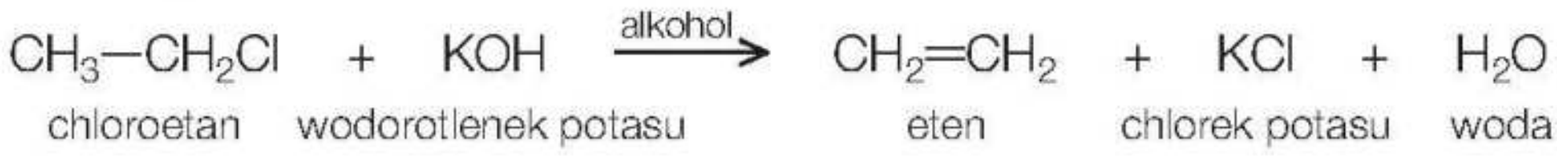
substytucja nukleofilowa

Reakcje eliminacji fluorowcopochodnych węglowodorów

Reakcja eliminacji polega na rozerwaniu dwóch wiązań znajdujących się przy sąsiednich atomach węgla, wskutek czego prostsza cząsteczka odrywa się od cząsteczki substratu i powstaje wiązanie wielokrotne.

Reakcja eliminacji – polega na odszczepieniu atomów lub grup atomów od cząsteczek związków organicznych.

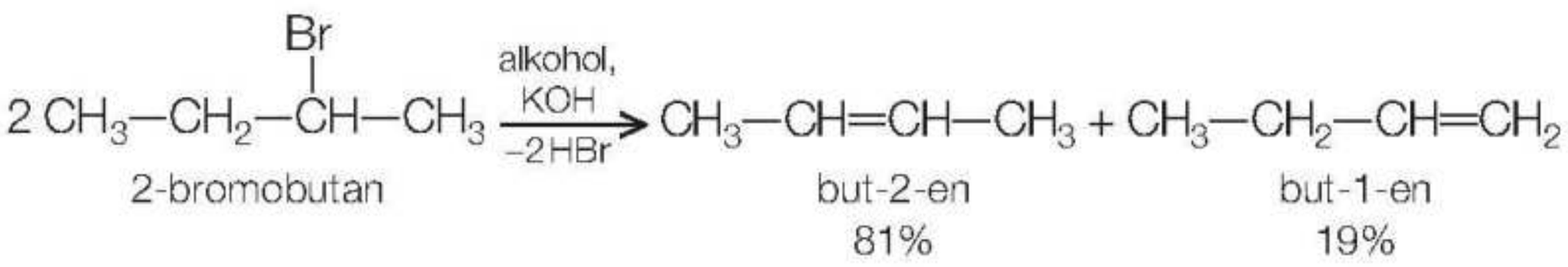
Reakcja eliminacji jest jedną z metod otrzymywania związków nienasyconych. Substratami w tej reakcji chemicznej są halogenki alkanów, np. chloroetan:



otrzymywanie alkenów

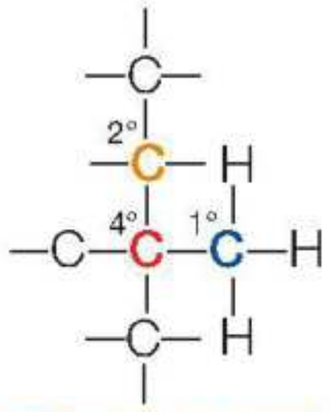
W przypadku halogenków alkanów o dłuższym łańcuchu węglowym reakcja eliminacji zachodzi podobnie, ale mogą powstawać mieszaniny alkenów, które różnią się położeniem wiązań podwójnych w cząsteczce.

Na przykład w reakcji eliminacji bromowodoru z 2-bromobutanu powstaje ok. 81% but-2-enu i 19% but-1-enu:



schemat reakcji eliminacji

Reaktywność fluorowcopochodnych alkanów w reakcji eliminacji zależy od rzędowości atomu węgla połączonego z fluorowcem. Główny produkt reakcji eliminacji cząsteczki (np. H_2O lub HCl) powstaje w wyniku oderwania atomu wodoru od atomu węgla o wyższej rzędowości, czyli tego, który był połączony z mniejszą liczbą atomów wodoru. Na przykład produktem reakcji eliminacji HCl z cząsteczki 2-chloro-3-metylobutanu jest 2-metylobut-2-en:



$$CH_3-\underset{\underset{Cl}{|}}{CH}-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3 + KOH \xrightarrow{\text{alkohol}} CH_3-CH=\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}-CH_3 + KCl + H_2O$$

2-chloro-3-metylobutan; wodorotlenek potasu; 2-metylobut-2-en; chlorek potasu; woda

substytucja nukleofilowa

Reakcja fluorowcopochodnych alkanów, np. bromoetanu, z anionami wodorotlenkowymi OH^- może przebiegać jako reakcja eliminacji lub podstawienia nukleofilowego. **Końcowy produkt tej reakcji chemicznej zależy od miejsca ataku nukleofila. Jeżeli jon OH^- zbliży się do atomu węgla związanego z bromem**, to następuje podstawienie jonu OH^- do atomu węgla:

otrzymywanie alkoholi

$$CH_3-CH_2Br + OH^- \longrightarrow CH_3-CH_2OH + Br^-$$

bromoetan; anion wodorotlenkowy; etanol; anion bromkowy

eliminacja

Natomiast jeśli jon OH^- **zderzy się z atomem wodoru z cząsteczki bromoetanu**, wówczas pełni funkcję zasady i wiąże kation H^+ w cząsteczkę wody:

powstawanie $\overset{\ominus}{C}H_2-CH_2Br$

$$CH_3-CH_2Br + OH^- \longrightarrow \overset{\ominus}{C}H_2-CH_2Br + H_2O$$

bromoetan; anion wodorotlenkowy; karboanion *produkt pośredni*; woda

Po odszczepieniu kationu wodoru od cząsteczki bromoetanu powstaje produkt pośredni – **karboanion**. W następnym etapie reakcji chemicznej odszczepia się od niego jon Br^-. Wówczas pomiędzy atomami węgla tworzy się wiązanie podwójne. Produktem końcowym reakcji eliminacji jest eten:

otrzymywanie alkenów

$$\overset{\ominus}{C}H_2-CH_2Br \longrightarrow CH_2=CH_2 + Br^-$$

karboanion *produkt pośredni*; eten; anion bromkowy

Eliminacja atomów fluorowców z fluorowcopochodnych węglowodorów zachodzi łatwo, gdy atom fluorowca jest połączony z atomem węgla o hybrydyzacji sp^3.

Otrzymywanie związków magnezoorganicznych

Fluorowcopochodne węglowodorów mogą reagować z metalicznym magnezem. Produktem tych reakcji chemicznych są związki magnezoorganiczne, nazywane **związkami Grignarda** [czyt. griniara]. Ich wzór ogólny ma postać:

Związki Grignarda – związki magnezoorganiczne otrzymywane w reakcji fluorowcopochodnej węglowodoru z wiórkami magnezu metalicznego.

$$\mathbf{RMg}X$$

◀ Wzór ogólny związków Grignarda

gdzie:
—R – grupa węglowodorowa (np. alkilowa lub arylowa),
—*X* – atom fluorowca.

Przykłady związków magnezoorganicznych:

CH_3MgBr	C_6H_5MgCl
bromek metylomagnezu	chlorek fenylomagnezu

Substratami w reakcji otrzymywania związków magnezoorganicznych są fluorowcopochodne węglowodorów alifatycznych lub aromatycznych, np.

$$\underset{\text{chloroetan}}{CH_3{-}CH_2Cl} + \underset{\text{magnez}}{Mg} \longrightarrow \underset{\text{chlorek etylomagnezu}}{CH_3{-}CH_2MgCl}$$

W reakcji otrzymywania związków magnezoorganicznych stosuje się rozpuszczalnik bezwodny (np. eter dietylowy), ponieważ woda powoduje natychmiastowy rozkład produktów:

$$\underset{\text{chlorek etylomagnezu}}{CH_3{-}CH_2MgCl} + \underset{\text{woda}}{H_2O} \longrightarrow \underset{\text{etan}}{CH_3{-}CH_3} + \underset{\text{chlorek wodorotlenek magnezu}}{MgCl(OH)}$$

W reakcji rozkładu związek magnezoorganiczny zachowuje się jak sól kwasu o bardzo małej mocy, który jest wypierany przez kwas o większej mocy – w tym przypadku jest nim woda.

Związki Grignarda to ważne źródło karboanionów w syntezie organicznej. Są bardzo reaktywne chemicznie. W wyniku reakcji z licznymi związkami nieorganicznymi, np. H_2O, CO_2, tworzą związki organiczne.

Fluorowcopochodne węglowodorów aromatycznych

Fluorowcopochodne węglowodorów aromatycznych są mniej reaktywne chemicznie niż ich alkilowe odpowiedniki.

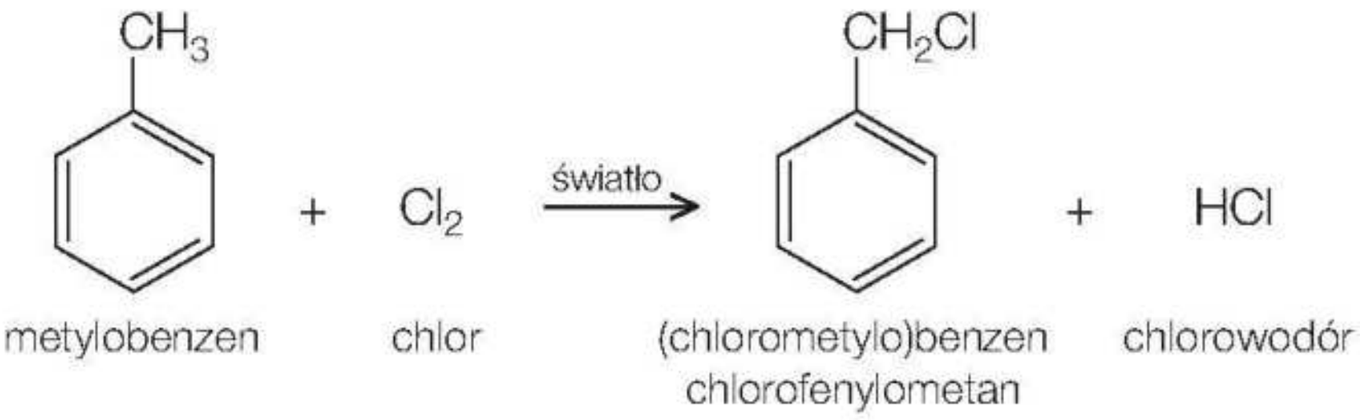
Obecność atomu fluorowca w pierścieniu benzenowym powoduje, że podstawienie drugiego podstawnika do pierścienia zachodzi w położeniach *orto* i *para*.

Fluorowce obecne w pierścieniu benzenowym w reakcji substytucji **kierują nowy podstawnik** w pierścieniu benzenowym **w pozycje *orto* i *para***.

W zależności od warunków prowadzenia reakcji chemicznej substytucja atomu fluorowca (najczęściej chloru lub bromu) w metylobenzenie (toluenie) zachodzi:

- w łańcuchu bocznym (grupie metylowej) pod wpływem światła, np.:

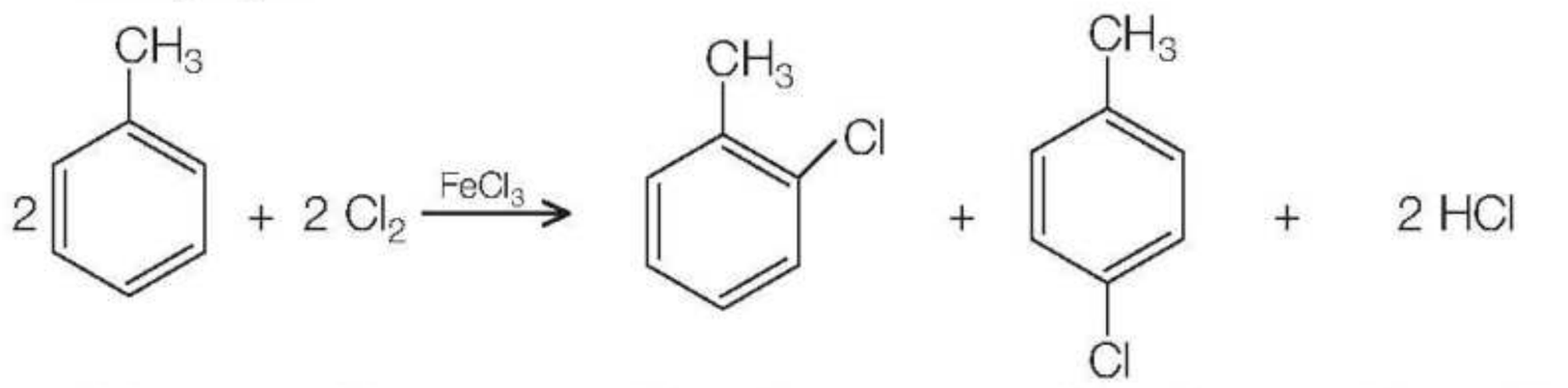
substytucja rodnikowa



metylobenzen chlor (chlorometylo)benzen chlorofenylometan chlorowodór

- w pierścieniu aromatycznym w obecności katalizatora $FeCl_3$ lub $AlCl_3$, np.:

substytucja elektrofilowa

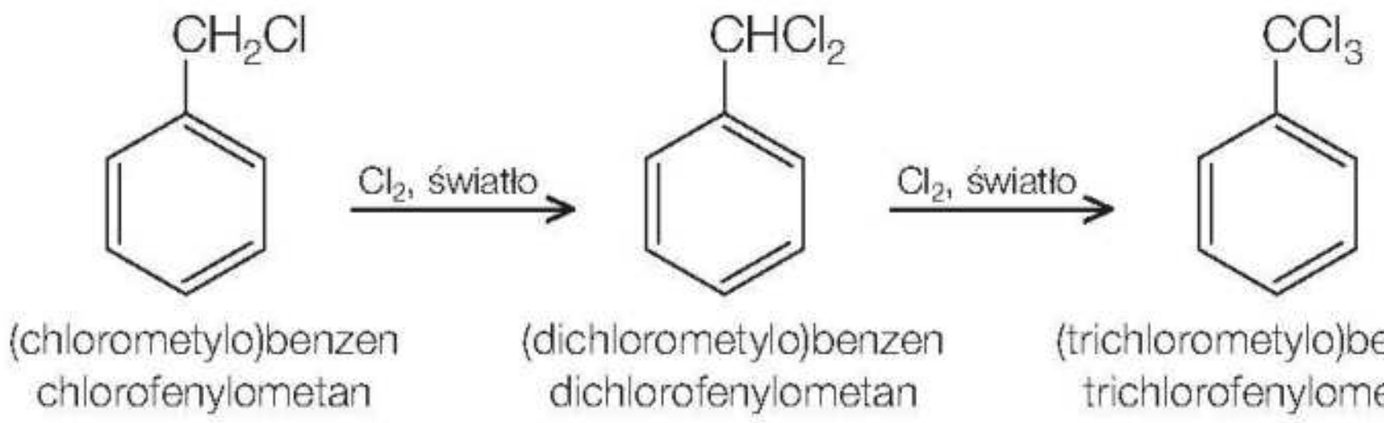


metylobenzen chlor 2-chlorotoluen 4-chlorotoluen chlorowodór

Reakcja podstawienia atomu chloru **w grupie metylowej** metylobenzenu zachodzi według mechanizmu rodnikowego (patrz s. 50). Przebiega w obecności światła, które inicjuje powstawanie rodników $Cl^{\bullet}$:

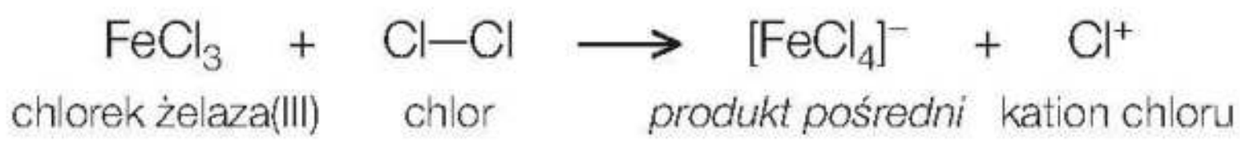


Powstający (chlorometylo)benzen (chlorofenylometan) może dalej reagować z rodnikami $Cl^{\bullet}$, obecnymi w środowisku reakcji chemicznej. Następuje wtedy podstawienie kolejnych atomów wodoru w łańcuchu bocznym cząsteczki metylobenzenu:

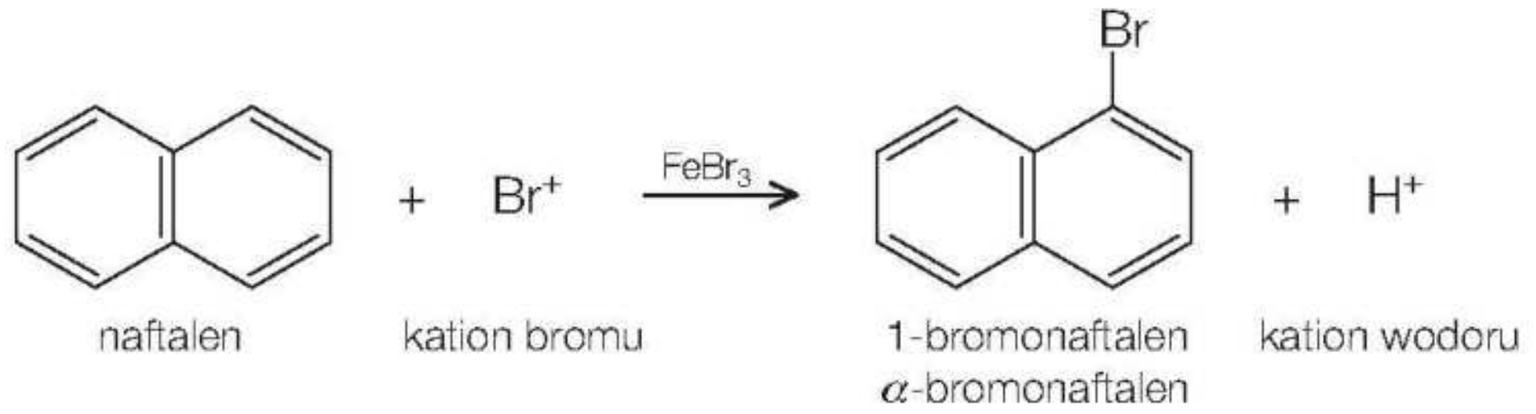


(chlorometylo)benzen chlorofenylometan (dichlorometylo)benzen dichlorofenylometan (trichlorometylo)benzen trichlorofenylometan

Substytucja atomów fluorowca **w pierścieniu aromatycznym** metylobenzenu (toluenu), podobnie jak w przypadku benzenu (patrz s. 103), zachodzi według mechanizmu substytucji elektrofilowej w obecności katalizatora, np. $FeCl_3$, $AlCl_3$ lub $FeBr_3$. Katalizator ułatwia powstanie czynnika elektrofilowego, którym jest kation fluorowca, np.:



W cząsteczce naftalenu reakcja substytucji przebiega łatwiej w kierunku powstania pochodnej α, choć fluorowiec może zostać podstawiony w obu położeniach (α lub β). Fluorowcowanie naftalenu, podobnie jak innych węglowodorów aromatycznych, zachodzi w obecności katalizatora:

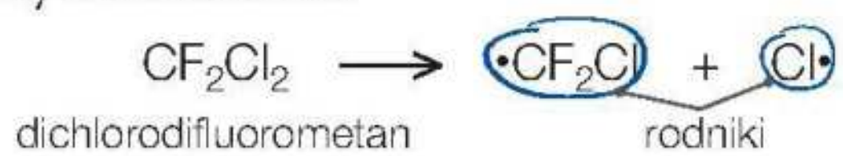


Wpływ freonów na warstwę ozonową

Ozon znajdujący się przy powierzchni Ziemi niekorzystnie wpływa na środowisko przyrodnicze. Natomiast wyżej, 15–30 km nad powierzchnią Ziemi, **ozon tworzy** tzw. **warstwę ozonową** (**ozonosferę**), która jest naturalnym filtrem chroniącym ludzi i zwierzęta przed szkodliwym promieniowaniem nadfioletowym (UV). Stężenie ozonu wyraża się w jednostkach Dobsona (DU). Obszar, na którym ilość ozonu w górnych warstwach atmosfery jest mniejsza niż 220 DU, jest nazywany **dziurą ozonową**. Zmniejszenie ilości ozonu w ozonosferze jest spowodowane m.in. emisją freonów. Są to pochodne węglowodorów nasyconych, których cząsteczki zawierają atomy chloru i fluoru.

Freony, np. dichlorodifluorometan CCl_2F_2 (rys. 31.), od lat 50. XX w. wykorzystywano jako popularny środek chłodniczy, np. w lodówkach, a także gaz nośny w aerozolach. Były bardzo popularne ze względu na swoje właściwości – są to nietoksyczne i niepalne związki chemiczne, które w temperaturze pokojowej są gazami. Odkrycie destrukcyjnego wpływu freonów na warstwę ozonową atmosfery spowodowało, że zakazano ich stosowania. Chociaż cząsteczki freonów mogą pozostawać w atmosferze ponad 100 lat, to zaprzestanie ich emisji od lat 90. XX w. przyczyniło się do zmniejszenia dziury ozonowej.

Cząsteczki freonów są mało reaktywne, ale w górnych warstwach atmosfery rozpadają się pod wpływem światła słonecznego, w wyniku czego powstają reaktywne rodniki:



Obecne w atmosferze rodniki reagują z cząsteczkami ozonu, w wyniku czego zaburzają jego naturalny cykl powstawania i rozpadu:

$$Cl\bullet + O_3 \longrightarrow OCl\bullet + O_2$$
$$OCl\bullet + O_3 \longrightarrow 2\,O_2 + Cl\bullet$$
$$2\,OCl\bullet \longrightarrow Cl_2 + O_2$$
$$2\,Cl\bullet \longrightarrow Cl_2$$
$$Cl_2 + O_3 \longrightarrow OCl\bullet + Cl\bullet + O_2$$

W wyniku takich reakcji chemicznych zmniejsza się stężenie ozonu w atmosferze ziemskiej, co wpływa niekorzystnie na organizmy.



Oznaczenie produktów w aerozolu, **które nie zawierają freonów**, czyli substancji niszczących powłokę ozonową. Bywa zastępowane przez napisy:

- *Ozon Friendly* – nieszkodliwy dla ozonu,
- *Ozon Freundlich* – nieszkodliwy dla ozonu,
- *CFC free* (ang. chloro-fluoro-carbon) – bez chlorofluorowęglowodorów.



Rys. 31. Model cząsteczki dichlorodifluorometanu.

Modele atomów:
węgla, chloru, fluoru

Rodniki – atomy lub cząsteczki zawierające niesparowany elektron.

Polimeryzacja chloroetenu

Polimeryzacja fluorowcopochodnych węglowodorów jest to bardzo ważny proces. Największe znaczenie w przemyśle mają produkty polimeryzacji chloroetenu i tetrafluoroetenu.

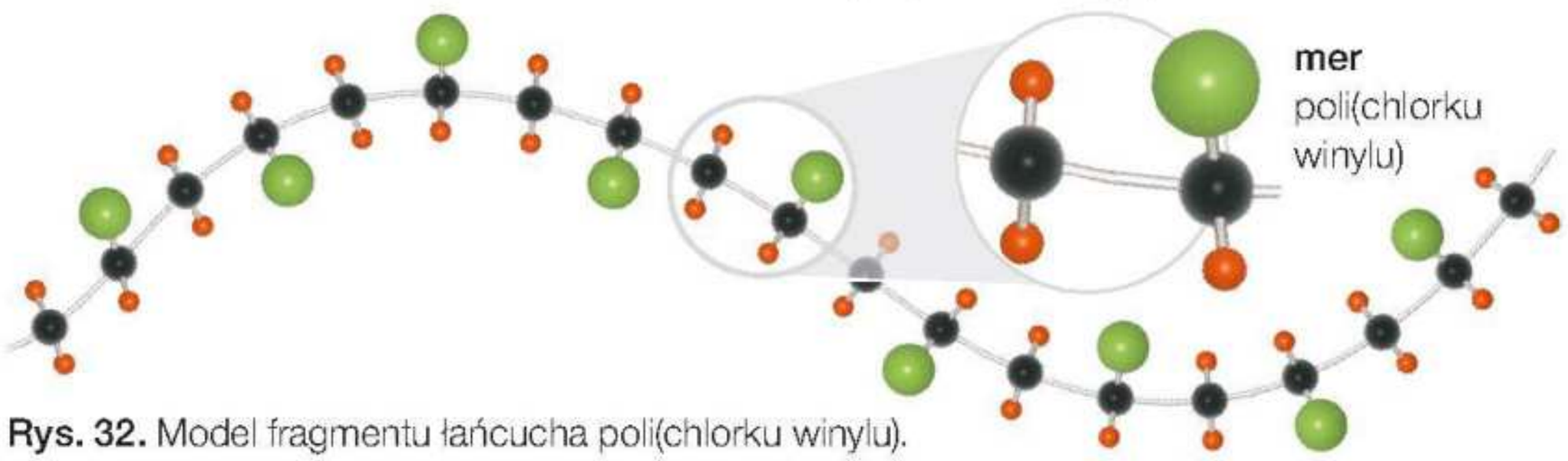
grupa winylowa
$CH_2{=}CH{-}$

Chloroeten $CH_2{=}CH{-}Cl$, nazywany **chlorkiem winylu** ze względu na obecność w cząsteczce **grupy winylowej** $CH_2{=}CH{-}$, jest produktem reakcji addycji chloru do cząsteczek etynu:

$$\underset{\text{etyn}}{CH{\equiv}CH} + \underset{\text{chlorowodór}}{HCl} \longrightarrow \underset{\text{chloroeten (chlorek winylu)}}{CH_2{=}CHCl}$$

Chlorek winylu jest surowcem do otrzymywania poli(chlorku winylu), nazywanego także poli(chlorkiem etenylu) (rys. 32.):

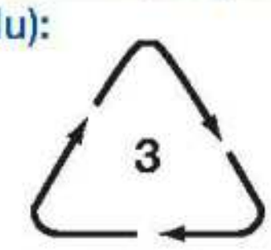
$$\underset{\text{chloroeten}}{n\ CH_2{=}CHCl} \longrightarrow \underset{\text{poli(chlorek winylu)}}{{-}\left[CH_2{-}\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}}\right]_n{-}}$$



Rys. 32. Model fragmentu łańcucha poli(chlorku winylu).

Modele atomów:
węgla, wodoru, chloru

Oznaczenie poli(chlorku winylu):



Poli(chlorek winylu) to tworzywo syntetyczne oznaczane skrótem **PVC**. W Polsce dopuszcza się stosowanie skrótu **PCW** pochodzącego od polskiej nazwy polimeru. PVC jest odporny na działanie kwasów i tłuszczów, a nieodporny na działanie zasad i rozpuszczalników organicznych. Ze względu na właściwości PVC stosuje się go do produkcji rur, materiałów izolacyjnych i budowlanych oraz opakowań.

Podczas spalania odpadów z PVC wydziela się toksyczny chlorowodór oraz bardzo toksyczne fluorowcopochodne nazywane dioksynami.

Polimeryzacja tetrafluoroetenu

Innym substratem do produkcji tworzyw sztucznych jest **tetrafluoroeten** $CF_2{=}CF_2$. W wyniku jego polimeryzacji otrzymuje się **politetrafluoroeten**, nazywany także **teflonem**:

Skrót politetrafluoroetenu (teflonu): PTFE

$$\underset{\text{tetrafluoroeten}}{n\ CF_2{=}CF_2} \longrightarrow \underset{\text{politetrafluoroeten}}{{-}\left[CF_2{-}CF_2\right]_n{-}}$$



Fot. 53. Powierzchnia teflonowa zapobiega przywieraniu potraw do naczyń np. podczas pieczenia.

Politetrafluoroeten oznacza się skrótem **PTFE**. Jest to polimer odporny chemicznie i termicznie, niepalny oraz nierozpuszczalny w żadnym z rozpuszczalników.

Podczas spalania odpadów z PTFE wydziela się niebezpieczny i toksyczny fluorowodór HF.

Teflon® stosuje się do produkcji m.in. elementów konstrukcyjnych, materiałów uszczelniających oraz powłok ochronnych, np. naczyń kuchennych (fot. 53.).

Krok po kroku

Formowanie tworzyw sztucznych metodą wtryskiwania

To bardzo prosta metoda przetwarzania tworzyw sztucznych wykorzystująca to, że pod wpływem ogrzewania stają się one plastyczne. Wielokrotnie można przetwarzać **termoplasty** – tworzywa sztuczne, które w podwyższonej temperaturze miękną i topią się (chociaż każdy kolejny cykl ogrzewania i chłodzenia pogarsza ich właściwości). Tworzywa sztuczne, które raz ukształtowane nie mogą być ponownie topione, to **duroplasty**. Pod wpływem wysokiej temperatury ulegają one rozkładowi.



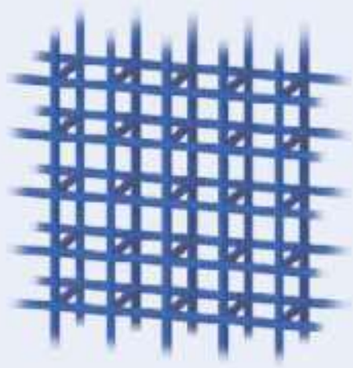
1. Do dozownika wtryskarki wkłada się tworzywo sztuczne w postaci granulatu. W niektórych wtryskarkach umieszcza się tutaj także barwnik.
2. Tłok przepycha granulat do ogrzewanej komory.
3. Ogrzany granulat mięknie i kiedy staje się plastyczny, tłok wciska go do formy.
4. Produkt zastyga w formie.

Z czego wynikają różnice we właściwościach termoplastów i duroplastów?

Różnice we właściwościach termoplastów i duroplastów są skutkiem ich odmiennej budowy wewnętrznej.



model struktury termoplastów
łańcuchy polimeru **nie są ze sobą połączone**, co umożliwia ich wielokrotne przetwarzanie



model struktury duroplastów
łańcuchy polimeru **są ze sobą połączone** – uniemożliwia to wielokrotne ich przetwarzanie z wykorzystaniem wysokiej temperatury

Termoplasty	polietylen (**PE**), polipropylen (**PP**), polistyren (**PS**), poli(chlorek winylu) (**PVC**), poli(tereftalan etylenu) (**PET**), poli(metakrylan metylu) (**PMMA**), politetrafluoroetylen (**PTFE**), poliwęglany (**PC**), poliamidy (**PA**)
Duroplasty	poliuretany (**PU**) oraz pianki poliuretanowe (**PUR**), silikony, poliestry nienasycone (tzw. żywice poliestrowe)

Zastosowania

Fluorowcopochodne węglowodorów

Najwięcej zastosowań ma chlorometan, który jest ważnym półproduktem reakcji otrzymywania silikonowych polimerów, wykorzystywanych m.in. w przemyśle elektronicznym, motoryzacyjnym i w medycynie.

Przemysł chemiczny

Heksachloroetan stosuje się do produkcji **granatów dymnych** wykorzystywanych np. podczas manewrów wojskowych.



Przemysł gastronomiczny

Teflon®, czyli politetrafluoroetylen, jest powszechnie używany do pokrywania powierzchni patelni oraz garnków. Taka powłoka zapobiega przywieraniu potraw.

Przemysł rolniczy

1,4-dichlorobenzen to składnik **preparatów chroniących uprawy** przed pleśnią oraz szkodnikami.

Chemia w medycynie

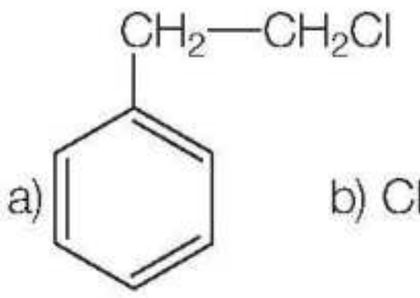
Chloroetan ze względu na swoją temperaturę wrzenia (12,3°C) jest stosowany jako łagodny środek znieczulający miejscowo, ponieważ przy tej temperaturze nie ma dużego ryzyka odmrożeń. Z kolei tribromometan jest wykorzystywany w **leczeniu astmy** – jego wstrzyknięcie łagodzi nagły atak.



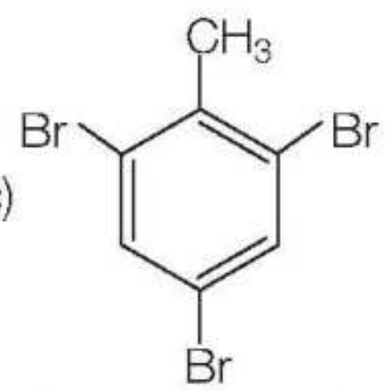
Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Podaj nazwy systematyczne podanych związków chemicznych.

a) 

b) $CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_2Br$

c) 

d) $CH_3{-}CH_2{-}\underset{\displaystyle Cl}{\overset{\displaystyle Cl}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}{-}CH_2{-}CH{=}CH_2$

2. Napisz wzory półstrukturalne związków chemicznych o podanych nazwach systematycznych.

a) 1-chloroprop-1-en
b) 2,3-dibromobut-1-en
c) 2-bromo-3-chloropent-1-en
d) 1,2-dichlorocyklopentan

3. Wybierz poprawne dokończenie zdania.

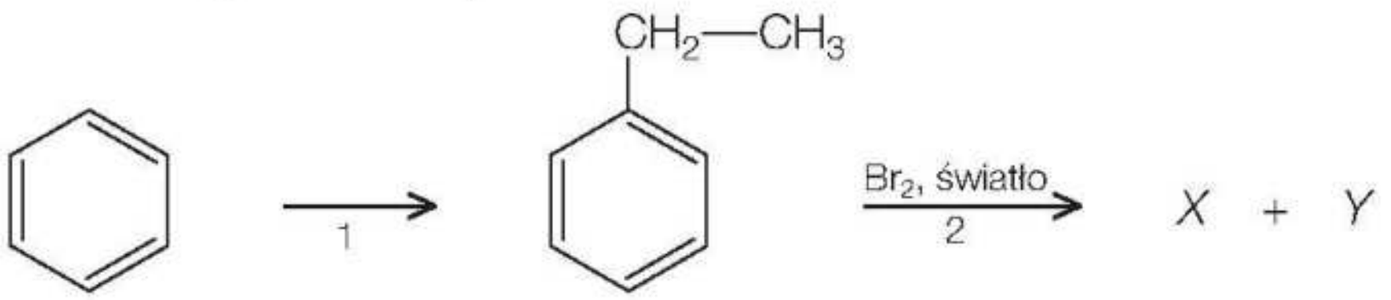
W reakcji chlorowania etenu
a) atom chloru się utlenia, a atom węgla redukuje.
b) atom wodoru się utlenia, a atom węgla redukuje.
c) atom węgla się utlenia, a atom chloru redukuje.
d) żaden z pierwiastków chemicznych nie zmienia swojego stopnia utlenienia, ponieważ nie jest to reakcja utleniania-redukcji.

4. Ustal wzór rzeczywisty chloropochodnej węglowodoru, wiedząc, że jej masa cząsteczkowa wynosi 237 u i zawiera ona 89,9% chloru oraz 10,1% węgla.

5. Napisz równania reakcji chemicznych (1–3) **przedstawionych na schemacie.** Zastosuj wzory półstrukturalne.

$$\text{propan} \xrightarrow{1} \text{1-bromopropan} \xrightarrow{2} \text{propen} \xrightarrow{3} \text{2-chloropropan}$$

6. Napisz równania reakcji chemicznych (1–2) **przedstawionych na schemacie oraz wzory substancji oznaczonych literami *X* i *Y*.**



7. Podaj wzór półstrukturalny fluorowcopochodnej, z której można otrzymać but-1-en. Napisz równanie zachodzącej reakcji chemicznej.

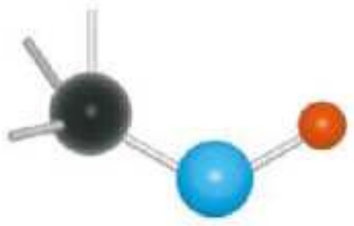
8. Określ, czy reakcja chlorowania metanu jest reakcją redoks. Jeśli tak, wskaż utleniacz.

$$CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{\text{światło}} CH_3Cl + HCl$$

9. Metylobenzen poddano chlorowaniu w obecności światła. Powstało 11 g (chlorometylo)benzenu (chlorofenylometanu). **Oblicz, ile gramów metylobenzenu uległo chlorowaniu, jeżeli wydajność tej reakcji chemicznej wynosiła 90%.**

10. Heksan poddano reakcji substytucji rodnikowej w obecności nadmiaru chloru. W wyniku tego procesu otrzymano mieszaninę dichloropochodnych heksanu, wśród których znajdowały się m.in. związki chemiczne A i B, będące względem siebie izomerami położenia podstawnika. O związkach chemicznych A i B wiadomo, że obydwa występują w postaci 3 stereoizomerów, ale tylko związek chemiczny A poddany reakcji z metalicznym cynkiem może utworzyć cykloalkan.
Napisz wzory półstrukturalne związków chemicznych A i B.

14. Alkohole monohydroksylowe



Rys. 33. Model grupy hydroksylowej, która jest grupą funkcyjną alkoholi.

Modele atomów:
węgla, tlenu, wodoru

Pochodne węglowodorów, w których atom (lub atomy) wodoru (połączony z atomem węgla o hybrydyzacji orbitali atomowych typu sp^3) został zastąpiony grupą funkcyjną —OH, to **alkohole** (rys. 33.).

Alkohole – związki chemiczne zawierające grupę funkcyjną —OH (grupę hydroksylową) połączoną z węglem o hybrydyzacji orbitali sp^3.

Rodzaje alkoholi

Alkohole dzieli się ze względu na:

- **liczbę grup hydroksylowych** —OH w cząsteczce alkoholu

alkohole

monohydroksylowe (jednowodorotlenowe), zawierające jedną grupę —OH, np.
CH_3OH
metanol

polihydroksylowe (wielowodorotlenowe), zawierające przynajmniej dwie grupy —OH, np.
$CH_2(OH)—CH_2(OH)$
etano-1,2-diol

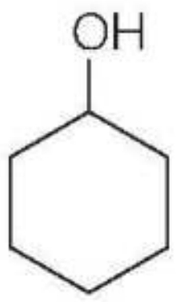
- **rodzaj grupy węglowodorowej** w cząsteczce alkoholu

alkohole

nasycone, w których grupa —OH jest połączona z grupą węglowodorową pochodzącą od alkanu, np.
CH_3OH
metanol

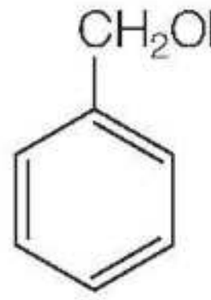
nienasycone, w których grupa —OH jest połączona z grupą węglowodorową pochodzącą od alkenu lub alkinu, np.
$CH_2=CH—CH_2—OH$
prop-2-en-1-ol

cykliczne, w których grupa —OH jest połączona z atomem węgla w pierścieniu niearomatycznym, np.



cykloheksanol

aromatyczne, w których grupa —OH jest połączona z łańcuchem węglowym łączącym się z pierścieniem aromatycznym, np.



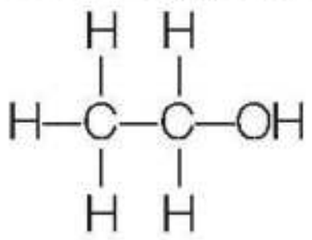
fenylometanol (alkohol benzylowy)

W alkoholach aromatycznych **grupa —OH nie jest połączona bezpośrednio** z atomem węgla pierścienia aromatycznego.

- **rzędowość atomu węgla związanego z grupą —OH**

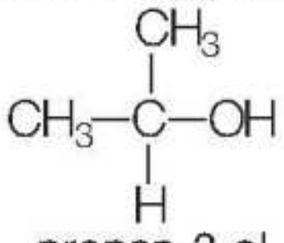
alkohole

pierwszorzędowe (1°, I-rzędowe), w których grupa —OH jest związana z pierwszorzędowym atomem węgla, np.



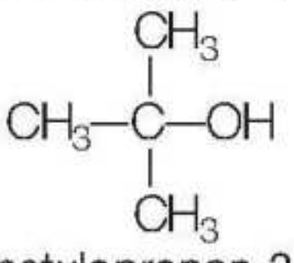
etanol

drugorzędowe (2°, II-rzędowe), w których grupa —OH jest związana z drugorzędowym atomem węgla, np.



propan-2-ol

trzeciorzędowe (3°, III-rzędowe), w których grupa —OH jest związana z trzeciorzędowym atomem węgla, np.



2-metylopropan-2-ol

Nie istnieją alkohole czwartorzędowe, ponieważ atom węgla tworzy tylko cztery wiązania.

Występowanie alkoholi monohydroksylowych

W środowisku przyrodniczym alkohole najczęściej są składnikami olejków eterycznych, wosków i tłuszczów. Znajdują się zarówno w organizmach roślinnych, jak i zwierzęcych.

Cytronelol $C_{10}H_{20}O$ to alkohol, który występuje w olejkach eterycznych wielu roślin, m.in. niektórych gatunków róży, melisy, trawy cytrynowej, w liściach cytryny, geranium i pomarańczy. Alkoholem jest też mentol $C_{10}H_{20}O$ – główny składnik olejku miętowego. Do alkoholi zalicza się także cholesterol $C_{27}H_{46}O$, który w dużych ilościach znajduje się w niektórych owocach, np. w awokado (fot. 54.), oraz w tłuszczach zwierzęcych i mięsie. Pszczoły, kiedy sygnalizują znalezienie pokarmu, wydzielają geraniol $C_{10}H_{18}O$. Z kolei bombikol $C_{16}H_{30}O$ to alkohol nienasycony będący feromonem samicy jedwabnika morwowego. Heksadekan-1-ol $C_6H_{12}O$ jest składnikiem olbrotu, substancji powstającej w płacie czołowym kaszalota. Substancja ta była popularna w przemyśle kosmetycznym i farmaceutycznym, jednak ochrona kaszalotów spowodowała, że coraz częściej wykorzystuje się jej syntetyczny zamiennik.



Fot. 54. Cholesterol odpowiada za zmiany miażdżycowe w naczyniach krwionośnych.

Budowa cząsteczek alkoholi monohydroksylowych

Cząsteczki alkoholi są zbudowane z **grup węglowodorowych** (alkilowych) i grupy funkcyjnej —OH nazywanej **grupą hydroksylową**.

Wzór ogólny alkoholi:

$$R{-}OH$$

◀ Wzór ogólny alkoholi

gdzie:
—R – grupa alkilowa,
—OH – grupa hydroksylowa.

Reaktywność alkoholi monohydroksylowych

Dzięki obecności grupy hydroksylowej **alkohole są związkami** chemicznymi **o dużej reaktywności**. W reakcjach chemicznych bierze udział cała grupa —OH lub tylko pochodzący od niej atom wodoru. Alkohole ulegają także reakcjom spalania (fot. 55.).



Fot. 55. Metanol spala się niebieskim płomieniem.

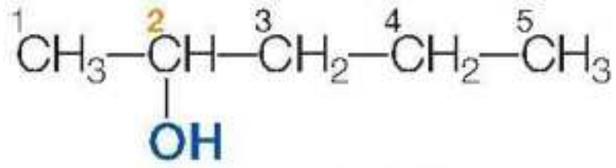
Nazewnictwo alkoholi monohydroksylowych

Alkohole monohydroksylowe wywodzące się od alkanów nazywa się także **alkanolami**.

Nazwy systematyczne alkoholi tworzy się od nazw odpowiednich węglowodorów, dodając końcówkę **-ol**, która oznacza obecność grupy hydroksylowej w cząsteczce alkoholu. Położenie grupy —OH zaznacza się przez podanie lokantu. Lokant umieszcza się przed końcówką **-ol** i oddziela od niej oraz nazwy rdzenia kreskami.

Atomy węgla w łańcuchu alkoholu numeruje się tak, aby lokant, przy którym znajduje się grupa —OH, miał jak **najmniejszą wartość**.

Atomy węgla w łańcuchu numeruje się tak, aby lokant, przy którym znajduje się grupa hydroksylowa, miał jak najmniejszą wartość, np.:



pentan-2-ol

W użyciu są też wcześniej stosowane nazwy, w których lokant określający położenie grupy funkcyjnej jest umieszczony przed nazwą alkoholu, np. 1-propanol, 2-propanol. Jednak zgodnie z wytycznymi IUPAC nie są one zalecane.

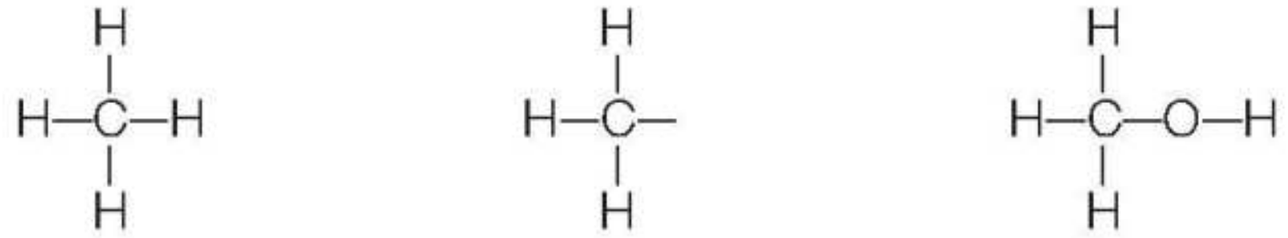
W przypadku alkoholi – oprócz nazw systematycznych – stosuje się też nazwy zwyczajowe. Składają się one ze słowa **alkohol** oraz przymiotnika pochodzącego od nazwy grupy alkilowej.

Metanol CH_3OH jest bardzo silną trucizną. **Wdychanie lub spożycie niewielkiej ilości tego alkoholu poraża układ nerwowy, powoduje silne zatrucie, a nawet śmierć.**

Szereg homologiczny nierozgałęzionych alkoholi monohydroksylowych

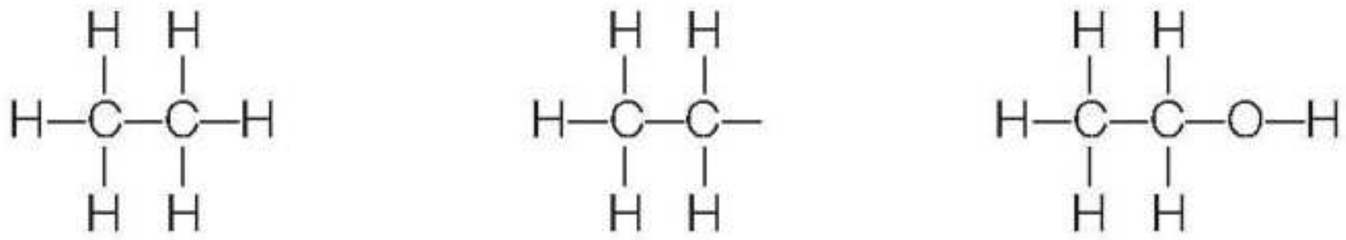
W szeregu homologicznym nierozgałęzione alkohole monohydroksylowe są uporządkowane według zwiększającej się liczby atomów węgla w cząsteczce.

Najprostszym alkoholem monohydroksylowym jest **metanol**, nazywany też **alkoholem metylowym**. To pochodna metanu, w którym jeden atom wodoru został zastąpiony grupą hydroksylową –OH:



CH_4 metan | CH_3- metyl | CH_3OH metanol

Drugim alkoholem w szeregu homologicznym alkoholi monohydroksylowych jest **etanol**, czyli **alkohol etylowy**. Stanowi on pochodną etanu:



CH_3-CH_3 etan | CH_3-CH_2- etyl | CH_3CH_2OH etanol

Każdy kolejny związek chemiczny w tym szeregu ma w cząsteczce o jeden atom węgla i dwa atomy wodoru (jedną grupę $-CH_2$) więcej niż poprzedni.

Wzór ogólny nierozgałęzionych alkoholi monohydroksylowych:

Wzór ogólny nierozgałęzionych alkoholi monohydroksylowych ▶

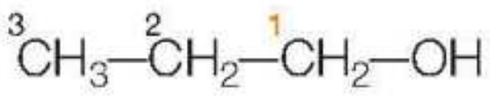
$$C_nH_{2n+1}OH$$

gdzie:
n – liczba naturalna; liczba atomów węgla w cząsteczce alkoholu monohydroksylowego; $n \geq 1$,
–OH – grupa hydroksylowa.

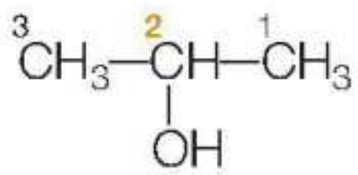
Izomeria konstytucyjna alkoholi monohydroksylowych

Począwszy od propanu, alkohole mają izomery, które różnią się **położeniem grupy funkcyjnej –OH**, np. propanol występuje w postaci dwóch izomerów:

izomery C_3H_8O

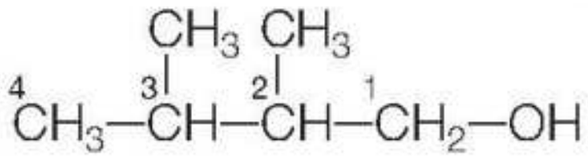


propan-**1**-ol

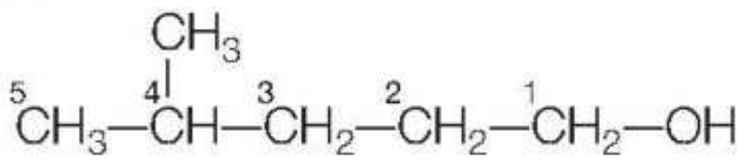


propan-**2**-ol

W propan-1-olu i propan-2-olu występuje **izomeria położenia podstawnika** –OH. Wśród alkoholi, podobnie jak u alkanów, występuje również **izomeria szkieletowa** (izomery różnią się budową grupy węglowodorowej) – łańcucha węglowego:



2,3-dimetylobutan-1-ol

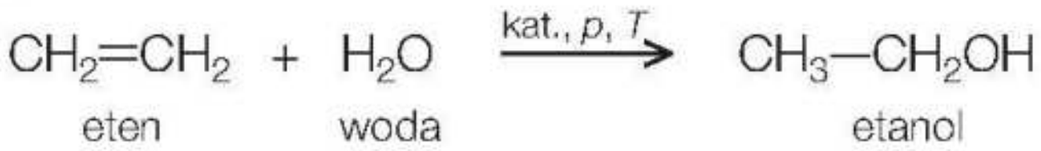


4-metylopentan-1-ol

Otrzymywanie alkoholi monohydroksylowych

Substratami w reakcjach otrzymywania nasyconych alkoholi monohydroksylowych są m.in. alkeny i fluorowcopochodne alkanów.

- **Katalityczne uwodnienie alkenów w obecności kwasów**:

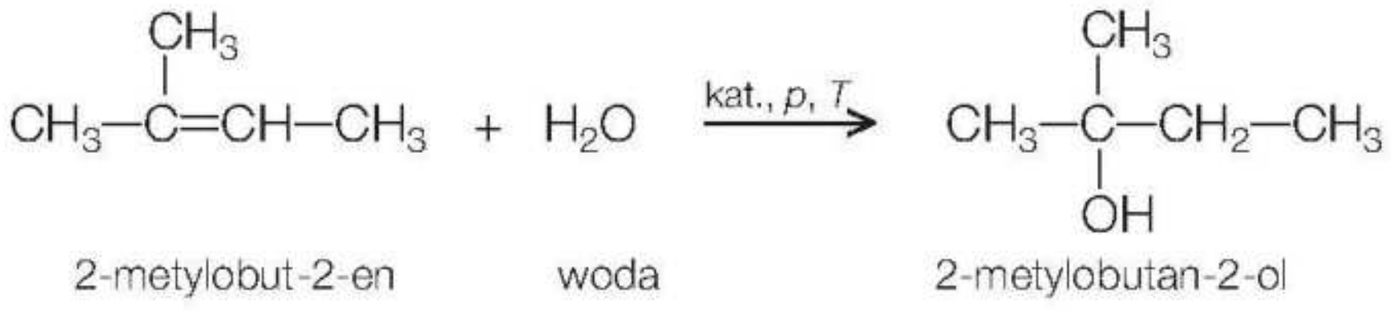


eten + woda → etanol

addycja cząsteczki wody do cząsteczki alkenu

Katalizatorami w tej reakcji chemicznej są H_3PO_4 i SiO_2.

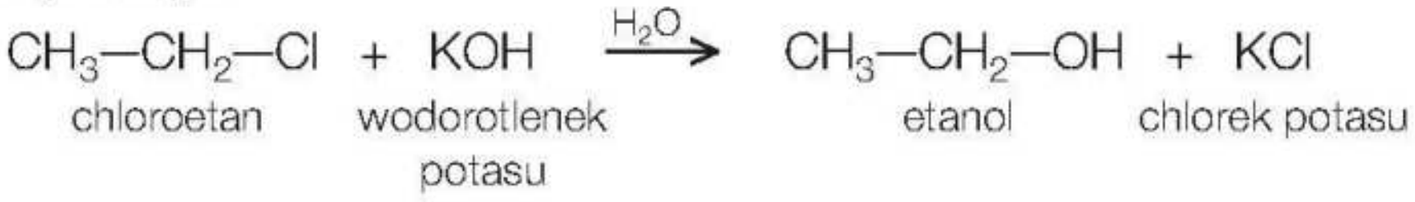
Reakcja uwodnienia niesymetrycznych cząsteczek alkenów przebiega zgodnie z regułą Markownikowa (patrz s. 71):



2-metylobut-2-en + woda → 2-metylobutan-2-ol

reakcja zachodząca zgodnie z regułą Markownikowa

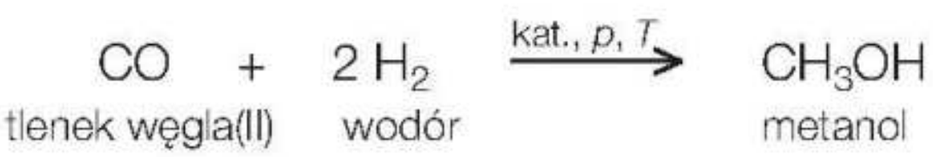
- **Reakcja fluorowcoalkanów z mocnymi zasadami w środowisku wodnym**, np.:



chloroetan + wodorotlenek potasu → etanol + chlorek potasu

substytucja nukleofilowa

Niektóre alkohole otrzymuje się w charakterystyczny dla nich sposób. Na przykład **metanol** uzyskuje się z **gazu syntezowego**, czyli mieszaniny CO i H_2. Ta reakcja chemiczna zachodzi w temperaturze 300°C, pod ciśnieniem 20 MPa i w obecności mieszaniny ZnO i Cr_2O_3 jako katalizatora:



tlenek węgla(II) + wodór → metanol

reakcja otrzymywania CH_3OH

Metanol powstaje również w wyniku suchej destylacji drewna. Stąd wywodzi się jego dawna nazwa zwyczajowa – **spirytus drzewny**.

powstający CO_2 powoduje spulchnianie ciasta



Fot. 56. Drożdże, które wykorzystuje się do wypieków, powodują rozkład cukrów.

Fermentacja alkoholowa

Etanol do celów spożywczych uzyskuje się w wyniku **fermentacji alkoholowej sacharydów** (cukrów) zawartych w bulwach, nasionach i owocach roślin. Fermentacja zachodzi w nich pod wpływem enzymów (biokatalizatorów) wytwarzanych m.in. przez drożdże (fot. 56.).

Biokatalizatorami są zazwyczaj substancje pochodzenia naturalnego, które umożliwiają zajście reakcji chemicznej lub przyspieszają jej przebieg. Enzymy te są wydzielane przez bakterie lub drożdże.

Procesy fermentacji są powszechnie stosowanym sposobem przetwarzania żywności i można je podzielić na:

- **fermentacje beztlenowe**, zachodzące przy bardzo ograniczonym dostępie tlenu, np. fermentacje alkoholowa i mlekowa (patrz s. 332),
- **fermentacje tlenowe**, zachodzące przy nieograniczonym dostępie tlenu, np. fermentacja octowa (patrz s. 226).

Sumaryczne równanie reakcji fermentacji alkoholowej ma postać:

$$\underset{\text{glukoza}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{enzymy}} \underset{\text{etanol}}{2\,CH_3CH_2OH} + \underset{\text{tlenek węgla(IV)}}{2\,CO_2\uparrow}$$



Fot. 57. Spirytus rektyfikowany otrzymuje się w specjalnych kolumnach rektyfikacyjnych wykonanych z miedzi lub ze stali szlachetnej.

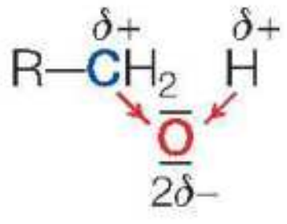
W rzeczywistości fermentacja alkoholowa jest procesem złożonym. W jego wyniku otrzymuje się 15–18-procentowy roztwór etanolu. Jest on zanieczyszczony produktami ubocznymi fermentacji, m.in.: glicerolem, kwasem etanowym i metanolem. Czysty etanol wyodrębnia się z tej mieszaniny przez **rektyfikację** (wielokrotną destylację). Otrzymany w ten sposób spirytus rektyfikowany (fot. 57.) jest ok. 96-procentowym roztworem etanolu w wodzie.

Proces fermentacji alkoholowej wykorzystywany jest także w produkcji innych wyrobów alkoholowych, np. wina.

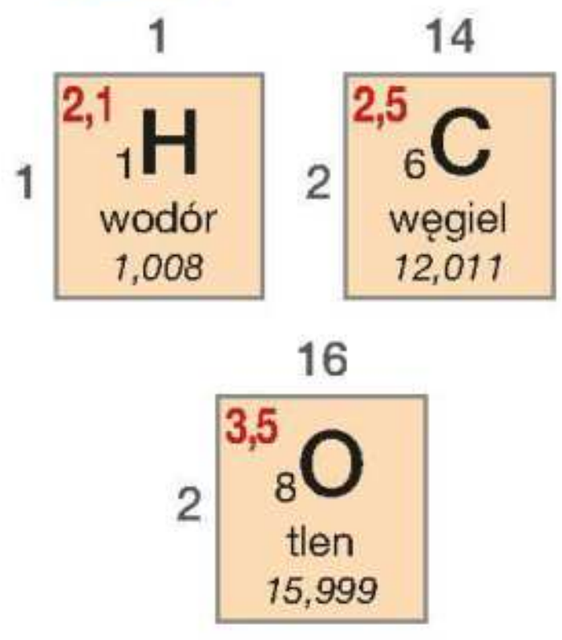
Właściwości alkoholi monohydroksylowych

Decydujący wpływ na właściwości alkoholi monohydroksylowych, oprócz szkieletu węglowodorowego —R, ma obecność polarnej grupy funkcyjnej —OH.

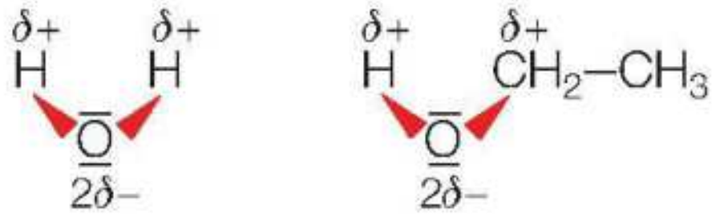
Występujące w grupie hydroksylowej wiązanie kowalencyjne —O—H jest spolaryzowane w kierunku atomu tlenu na skutek różnicy elektroujemności atomów tlenu i wodoru. Podobna polaryzacja występuje dla wiązania C—O między atomami węgla z grupy węglowodorowej i atomami tlenu grupy hydroksylowej:



Elektroujemność w skali Paulinga



Alkohole mają budowę podobną do budowy cząsteczki wody (rys. 34.).

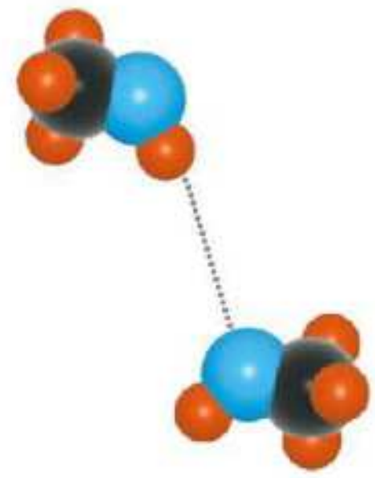


Rys. 34. Porównanie budowy cząsteczek wody i etanolu.

Z powodu obecności polarnych grup —OH cząsteczki alkoholi ulegają **asocjacji** (rys. 35.), która jest przyczyną wysokiej temperatury wrzenia i topnienia tych związków chemicznych.

Asocjacja – łączenie się cząsteczek w większe zespoły.

Wraz z wydłużaniem się łańcucha węglowego zmniejsza się wpływ grupy —OH na właściwości alkoholi – zmniejsza się ich rozpuszczalność, a zwiększa gęstość. Alkohole, które mają 12 lub więcej atomów węgla w cząsteczce, są nierozpuszczalnymi w wodzie, bezzapachowymi substancjami stałymi (tabela 19.).



Rys. 35. Model wiązania wodorowego między polarnymi cząsteczkami metanolu.

Modele atomów:
węgla, tlenu, wodoru

Tabela 19. Właściwości wybranych alkoholi

Nazwa systematyczna alkoholu	Wzór półstrukturalny skrócony	Stan skupienia	Temperatura wrzenia*, °C
metanol	CH_3OH	ciecz	65
etanol	$CH_3—CH_2OH$	ciecz	78
propan-1-ol	$CH_3—CH_2—CH_2OH$	ciecz	97
heptan-1-ol	$CH_3—(CH_2)_5—CH_2OH$	ciecz	176
oktan-1-ol	$CH_3—(CH_2)_6—CH_2OH$	ciecz oleista	194
dodekan-1-ol	$CH_3—(CH_2)_{10}—CH_2OH$	substancja stała	255

* Temperatury wrzenia wyznaczone dla p = 1013 hPa.

Odkrycia, które zmieniły świat – środki dezynfekujące

Jednym z prekursorów antyseptyki – nauki zajmującej się niszczeniem drobnoustrojów w celu niedopuszczenia do zakażenia – był niemiecki lekarz **Ignaz Philipp Semmelweis** [czyt. ignac fylip zemelwajs]. W XIX w. wprowadził on dla personelu wiedeńskiego szpitala obowiązek mycia dłoni i dezynfekowania ich roztworem zawierającym chlor, co znacznie zmniejszyło śmiertelność pacjentów. Obecnie Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) zaleca stosowanie środków dezynfekujących na bazie alkoholu (fot. 58.), ponieważ działają one szybko i umożliwiają usunięcie szkodliwych drobnoustrojów, np. bakterii i wirusów. Do produkcji tych środków najczęściej wykorzystywane są: etanol lub propano-2-ol (izopropanol). Zalecany do dezynfekcji roztwór CH_3CH_2OH powinien mieć stężenie ok. 80%, natomiast roztwór $CH_3CH_2CH_2OH$ – ok. 75%.

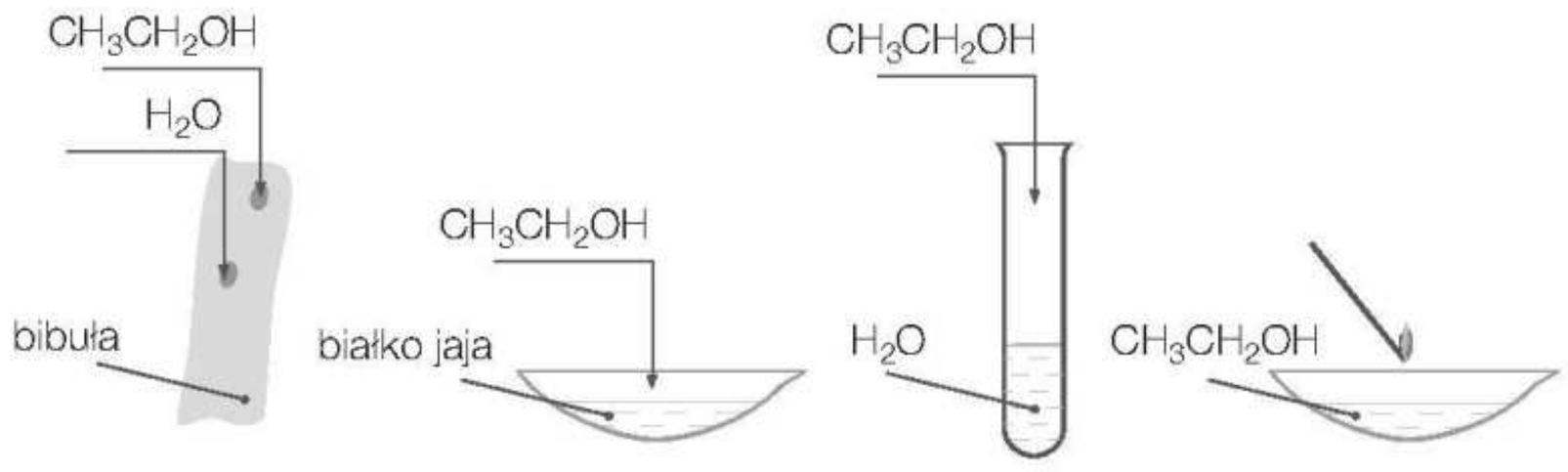


Fot. 58. Środki dezynfekujące są powszechnie stosowane przez pracowników służby zdrowia. Umożliwiają one także zachowanie higieny przy braku dostępności wody, np. podczas podróży.

Doświadczenie 20. CH_3CH_2OH

Badanie właściwości etanolu

Odczynniki: etanol, woda, białko.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: parownice, probówka, łuczywo, pipeta, korek, uniwersalny papierek wskaźnikowy, bibuła.
Instrukcja: a) Na bibułę nanieś kroplę etanolu. Dla porównania obok nanieś kroplę wody. Sprawdź wygląd bibuły po 5 minutach.
b) Dodaj kroplę etanolu do niewielkiej ilości białka umieszczonego w parownicy.
c) Probówkę napełnij wodą do $\frac{1}{4}$ objętości, a następnie bardzo powoli wlej po ściankach (najlepiej za pomocą pipety) taką samą ilość etanolu. Zaznacz poziom cieczy w probówce. Zamknij ją korkiem i energicznie wstrząśnij. Odstaw probówkę i ponownie zaznacz poziom cieczy.
d) Do parownicy wlej 1 cm^3 etanolu i zanurz w nim papierek wskaźnikowy. Określ stan skupienia, barwę i zapach etanolu.
Zbliż do etanolu zapalone łuczywo (schemat).





Fot. 59. Spalanie etanolu.

Obserwacje: Uniwersalny papierek wskaźnikowy po zanurzeniu w etanolu nie zmienił swojego zabarwienia. Etanol szybciej niż woda odparował z bibuły. Białko ścięło się pod wpływem alkoholu. Etanol ostrożnie wlewany do probówki z wodą tworzy górną warstwę. Można zauważyć granicę między cieczami. Po wymieszaniu granica zanika i zmniejsza się objętość roztworu. Etanol jest bezbarwną cieczą o charakterystycznym zapachu. Ulega reakcji spalania (fot. 59.).
Wniosek: Wodny roztwór etanolu ma odczyn obojętny pomimo obecności w cząsteczce alkoholu grupy –OH. Alkohole **nie ulegają więc dysocjacji jonowej**.

Etanol jest **bardziej lotny od wody**, gdyż ma **niższą temperaturę** wrzenia, a więc szybciej paruje.

Etanol szybciej niż woda odparował z bibuły (fot. 60.), jest więc cieczą bardziej lotną od wody.



Fot. 60. Porównanie lotności etanolu i wody.

Białko ulega **denaturacji** (ścina się) pod wpływem alkoholu (fot. 61.). Potwierdza to **szkodliwe działanie etanolu na organizmy, w tym na organizm człowieka**.

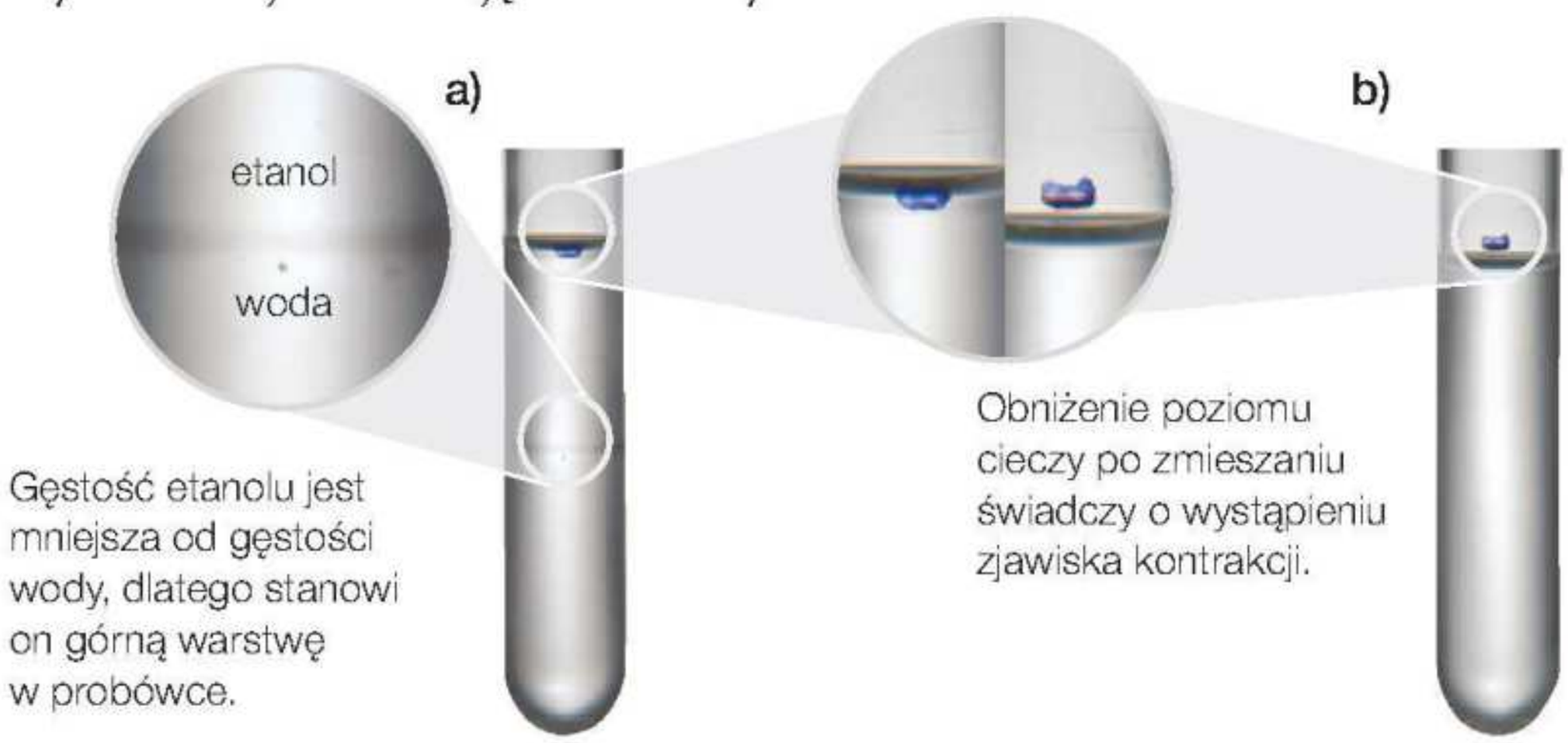
Denaturacja – nieodwracalny proces ścinania się białka.



Fot. 61. Wpływ etanolu na białko jaja.

Etanol bardzo dobrze miesza się z wodą – następuje zjawisko zmiany objętości roztworu etanolu o mniej więcej 4% (procent objętościowy) (fot. 62.) nazywane zjawiskiem **kontrakcji**. Wyjaśnia je powstawanie wiązań wodorowych między cząsteczkami alkoholu i wody. Powoduje to zmniejszenie odległości między cząsteczkami wody i etanolu, a tym samym zmniejszenie objętości cieczy.

Kontrakcja – zjawisko fizyczne, które polega na zmianie objętości roztworu na skutek oddziaływań między składnikami mieszaniny.



Fot. 62. Mieszanie etanolu z wodą: a) objętość przed wymieszaniem; b) zmniejszenie objętości po wymieszaniu.

Etanol, jak wszystkie alkohole, jest substancją łatwopalną. Przy **nieograniczonym dostępie tlenu** zachodzi spalanie całkowite etanolu.

Reakcja chemiczna zachodzi zgodnie z równaniem:

$$\underset{\text{etanol}}{CH_3CH_2OH} + \underset{\text{tlen}}{3\,O_2} \longrightarrow \underset{\text{tlenek węgla(IV)}}{2\,CO_2} + \underset{\text{woda}}{3\,H_2O}$$

spalanie całkowite CH_3CH_2OH

W warunkach **niewystarczającej ilości tlenu** zachodzi spalanie niecałkowite.

Przebieg tej reakcji chemicznej przedstawia równanie:

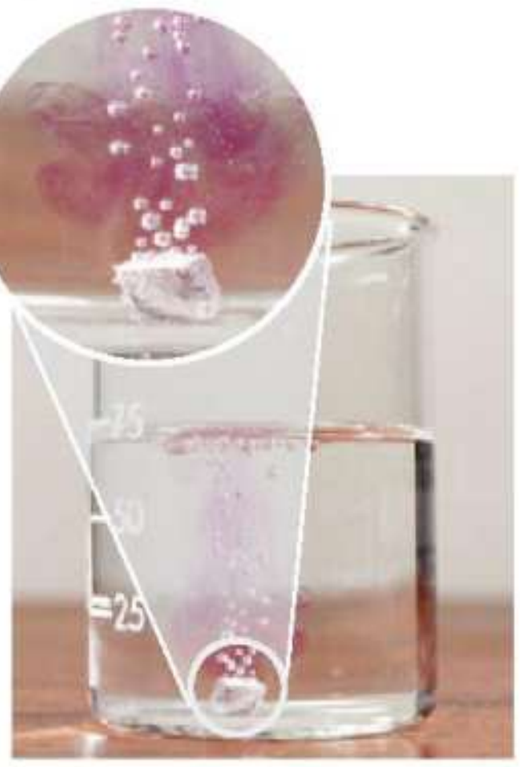
$$\underset{\text{etanol}}{CH_3CH_2OH} + \underset{\text{tlen}}{2\,O_2} \longrightarrow \underset{\text{tlenek węgla(II)}}{2\,CO} + \underset{\text{woda}}{3\,H_2O}$$

spalanie niecałkowite CH_3CH_2OH

$$\underset{\text{etanol}}{CH_3CH_2OH} + \underset{\text{tlen}}{O_2} \longrightarrow \underset{\text{węgiel}}{2\,C} + \underset{\text{woda}}{3\,H_2O}$$

Reakcje chemiczne alkoholi monohydroksylowych

jednym z produktów jest gaz – wodór



Fot. 63. Malinowa barwa świadczy o zasadowym odczynie roztworu.

Wodór wyparty przez sód pochodzi z **grupy hydroksylowej**.

Doświadczenie 21.  Na CH_3CH_2OH H_2

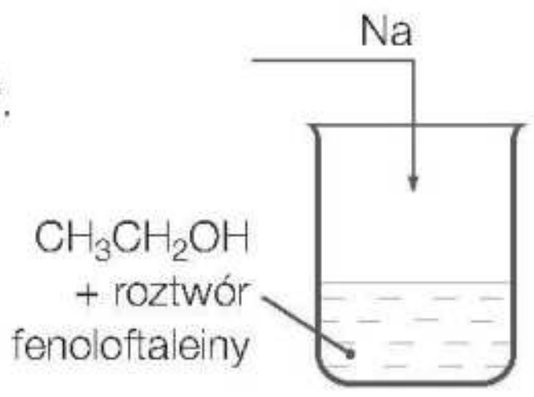
Reakcja etanolu z sodem

Reakcja z sodem jest niebezpieczna. Zachowaj szczególną ostrożność.

Odczynniki: etanol, roztwór fenoloftaleiny, sód.

Szkło laboratoryjne: zlewka o pojemności 100 cm^3.

Instrukcja: Do zlewki zawierającej ok. 10 cm^3 etanolu i kroplę roztworu fenoloftaleiny wrzuć (osuszony bibułą filtracyjną) kawałek sodu wielkości ziarna ryżu (schemat). Ostrożnie sprawdź palność wydzielającego się gazu.



Obserwacje: Wydzielają się pęcherzyki bezbarwnego gazu, a zawartość zlewki barwi się na malinowo (fot. 63.).

Wniosek: Jednym z produktów reakcji chemicznej sodu z etanolem jest palny gaz – wodór.

Przebieg tej reakcji chemicznej przedstawia równanie:

$$\underset{\text{etanol}}{2\,CH_3{-}CH_2OH} + \underset{\text{sód}}{2\,Na} \longrightarrow \underset{\substack{\text{etanolan sodu}\\\text{(etoksylan sodu)}}}{2\,CH_3{-}CH_2ONa} + \underset{\text{wodór}}{H_2\uparrow}$$

Metale aktywne chemicznie (Na, K, a na gorąco również Ca i Mg) wypierają wodór z alkoholi, podobnie jak z wody i kwasów. Wiązanie polarne w grupie hydroksylowej alkoholu ulega rozerwaniu. Produktem tej reakcji chemicznej jest **alkoholan** – związek chemiczny o charakterze soli, a wodór wydziela się w postaci gazowej. Alkoholan ulega w wodzie reakcji hydrolizy typowej dla soli słabych kwasów i mocnych zasad. Nadmiar jonów wodorotlenkowych OH^- nadaje roztworowi odczyn zasadowy, dlatego fenoloftaleina w zlewce barwi się na malinowo.

$CH_3{-}CH_2ONa$ to związek chemiczny o **charakterze soli słabego kwasu** CH_3CH_2OH i **mocnej zasady** NaOH.

Dysocjacja etanolanu sodu (mocnego elektrolitu):

$$\underset{\substack{\text{etanolan sodu}\\\text{(etoksylan sodu)}}}{CH_3{-}CH_2ONa} \xrightarrow{H_2O} \underset{\substack{\text{anion etanolanowy}\\\text{(etoksylanowy)}}}{CH_3{-}CH_2O^-} + \underset{\text{kation sodu}}{Na^+}$$

odczyn zasadowy

Jony $CH_3{-}CH_2O^-$, powstające podczas dysocjacji, reagują z wodą:

$$\underset{\substack{\text{anion etanolanowy}\\\text{(etoksylanowy)}}}{CH_3{-}CH_2O^-} + \underset{\text{woda}}{H_2O} \rightleftharpoons \underset{\text{etanol}}{CH_3{-}CH_2OH} + \underset{\substack{\text{anion}\\\text{wodorotlenkowy}}}{OH^-}$$

Alkohole **nie ulegają dysocjacji i mają odczyn obojętny**. Jednak reakcja etanolu z sodem wskazuje na ich bardzo słaby charakter kwasowy. Metanol i etanol mają kwasowość porównywalną z kwasowością wody. Pozostałe alkohole są kwasami znacznie słabszymi od wody.

Doświadczenie 22. HCl, H_2SO_4 CH_3CH_2OH CH_3CH_2OH, HCl

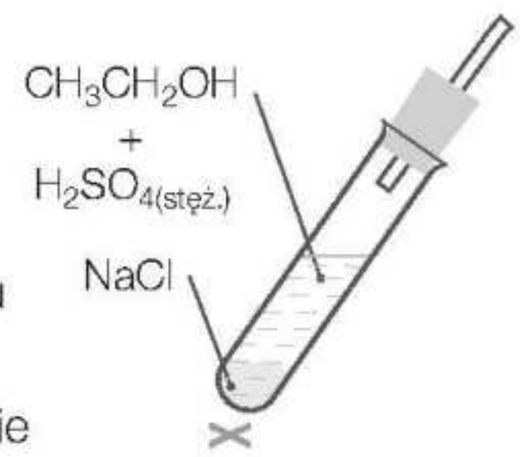
Reakcja etanolu z chlorowodorem

! Doświadczenie wykonuj pod wyciągiem. Zachowaj szczególną ostrożność. Podczas nalewania roztworu H_2SO_4 stosuj okulary i rękawice ochronne.

Odczynniki: chlorek sodu, stężony roztwór kwasu siarkowego(VI), etanol.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, palnik, łuczywo, korek z rurką odprowadzającą.

Instrukcja: Do probówki dodawaj kolejno ok. 1 g chlorku sodu, ok. 1 cm^3 stężonego roztworu kwasu siarkowego(VI) i ok. 3 cm^3 etanolu (schemat). Ogrzewaj ostrożnie zawartość probówki, a następnie zapal gaz wydzielający się u jej wylotu.



Obserwacje: Z probówki wydziela się palny gaz (fot. 64.).

Wniosek: W reakcji chemicznej stałego chlorku sodu z kwasem siarkowym powstaje chlorowodór.

Zachodzi reakcja chemiczna, którą można przedstawić za pomocą równania:

$$\underset{\text{chlorek sodu}}{2\,NaCl} + \underset{\text{kwas siarkowy(VI)}}{H_2SO_4} \xrightarrow{T} \underset{\text{siarczan(VI) sodu}}{Na_2SO_4} + \underset{\text{chlorowodór}}{2\,HCl\uparrow}$$



Fot. 64. Reakcja etanolu z chlorowodorem.

Otrzymany chlorowodór reaguje z etanolem. Polarne wiązanie C—O w cząsteczce etanolu ulega rozerwaniu i cała grupa hydroksylowa —OH zostaje zastąpiona atomem chloru. Produktem reakcji chemicznej jest palny gaz – chloroetan:

$$\underset{\text{etanol}}{CH_3{-}CH_2OH} + \underset{\text{chlorowodór}}{HCl} \xrightarrow{T} \underset{\text{chloroetan}}{CH_3{-}CH_2Cl} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

substytucja nukleofilowa

W **reakcji alkoholi z fluorowcowodorami** (HCl, HBr, HI) bierze udział cała grupa hydroksylowa, która zostaje zastąpiona atomem fluorowca (wyjątkiem jest fluor).

Reakcja alkoholu z fluorowcowodorem to przykład reakcji **substytucji nukleofilowej** w środowisku silnie kwasowym. W pierwszym etapie reakcji chemicznej protony, które pochodzą z dysocjacji kwasu H*X*, gdzie *X* = Cl, Br, I, przyłączają się do wolnych par elektronowych atomu tlenu grupy hydroksylowej alkoholu. Powstają jony **alkilooksoniowe**:

$$R{-}OH + H^+ \longrightarrow R{-}\overset{+}{O}H_2$$

jon alkilooksoniowy

Następnie jony alkilooksoniowe reagują z anionami fluorowca (powstającymi podczas dysocjacji kwasu H*X*), które w tej reakcji chemicznej pełnią funkcję nukleofila. Zachodzi substytucja nukleofilowa zgodnie z równaniem:

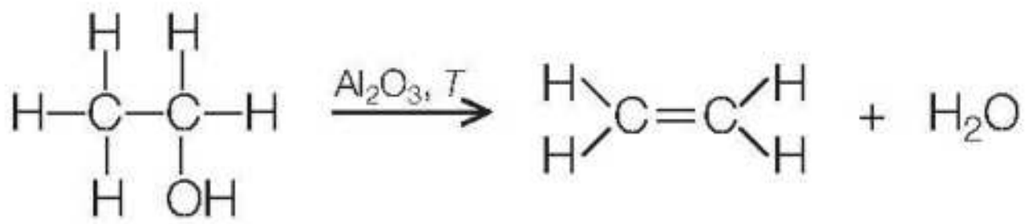
$$R{-}\overset{+}{O}H_2 + X^- \longrightarrow RX + H_2O$$

Produktami reakcji chemicznej są fluorowcopochodna alkilowa i woda.

Reakcje otrzymywania etanolanu sodu i chloroetanu to przykłady reakcji substytucji, przebiegającej z udziałem grupy hydroksylowej. **Ulegają jej wszystkie alkohole**. Przebieg i szybkość tych reakcji zależą od rzędowości alkoholi.

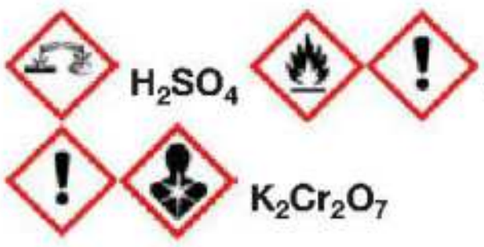
Alkohole monohydroksylowe ulegają również **reakcji dehydratacji** (odwodnienia), której produktem są alkeny. Proces prowadzi się, przepuszczając pary alkoholu nad ogrzanym tlenkiem glinu, który silnie wiąże wodę i jest katalizatorem tej reakcji chemicznej:

eliminacja



etanol — eten — woda

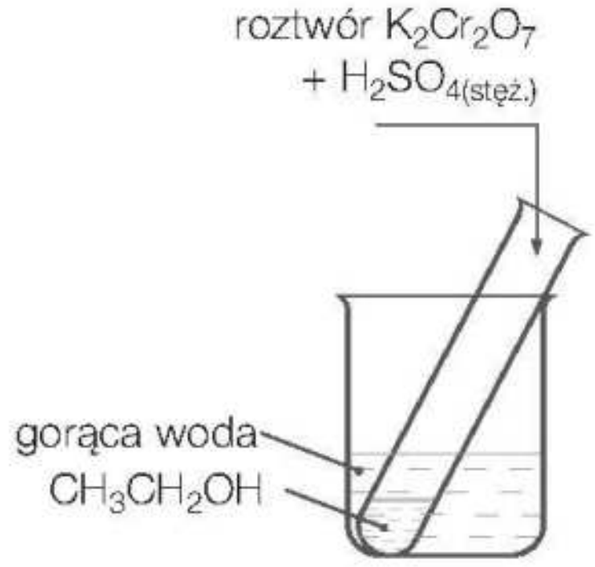
Doświadczenie 23.



Wykrywanie obecności etanolu

Zachowaj szczególną ostrożność. Podczas nalewania H_2SO_4 używaj okularów i rękawic ochronnych.

Odczynniki: etanol, roztwór dichromianu(VI) potasu, stężony roztwór kwasu siarkowego(VI), gorąca woda.
Szkło laboratoryjne: probówka, zlewka.
Instrukcja: Do probówki zawierającej 3 cm^3 etanolu dodaj dwie krople roztworu dichromianu(VI) potasu i kroplę stężonego roztworu kwasu siarkowego(VI). Probówkę umieść w zlewce z gorącą wodą (schemat).

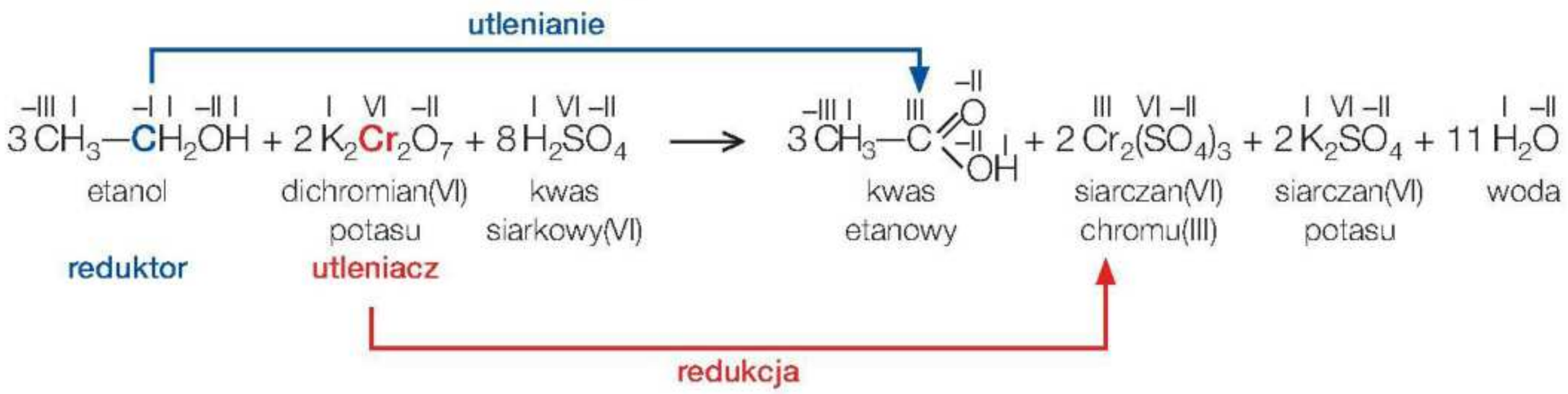




Fot. 65. Wykrywanie etanolu.

Obserwacje: Roztwór w probówce zmienił barwę z pomarańczowej na zieloną (fot. 65.).
Wniosek: Zaszła reakcja chemiczna, która jest typową reakcją utleniania-redukcji z udziałem związków organicznych.

Równanie tej reakcji chemicznej można uzgodnić metodą bilansu elektronowego:



Równanie to można też zapisać i uzgodnić, stosując następujący zapis jonowo-elektronowy równań reakcji utleniania i redukcji:

1. Zapisanie równań reakcji utleniania i redukcji:

$$\overset{-I}{CH_3}-\overset{-I}{CH_2}-OH \xrightarrow{\text{utlenianie}} \overset{III}{CH_3COOH} + 4e^-$$

$$\overset{VI}{Cr_2O_7^{2-}} + 6e^- \xrightarrow{\text{redukcja}} 2\,\overset{III}{Cr^{3+}}$$

2. Uzgodnienie równań reakcji utleniania i redukcji:

$$\overset{-I}{CH_3}-\overset{-I}{CH_2}OH + H_2O \longrightarrow \overset{III}{CH_3COOH} + 4e^- + 4\,H^+ \quad | \cdot 3$$

$$\overset{VI}{Cr_2O_7^{2-}} + 6e^- + 14\,H^+ \longrightarrow 2\,\overset{III}{Cr^{3+}} + 7\,H_2O \quad | \cdot 2$$

3. Zapisanie równania reakcji utleniania i redukcji po wyrównaniu liczby oddanych i pobranych elektronów oraz zsumowaniu równań stronami:

$$3\,CH_3-CH_2OH + 2\,Cr_2O_7^{2-} + 16\,H^+ \longrightarrow 4\,Cr^{3+} + 3\,CH_3COOH + 11\,H_2O$$

Pomarańczowa barwa roztworu na początku doświadczenia świadczy o obecności jonów $Cr_2O_7^{2-}$. Zielona barwa roztworu po zakończeniu reakcji chemicznej jest spowodowana obecnością jonów Cr^{3+}.

Badanie zachowania alkoholi wobec utleniaczy

Doświadczenie 24.  **propan-1-ol, propan-2-ol, C_4H_9OH, C_3H_6O**

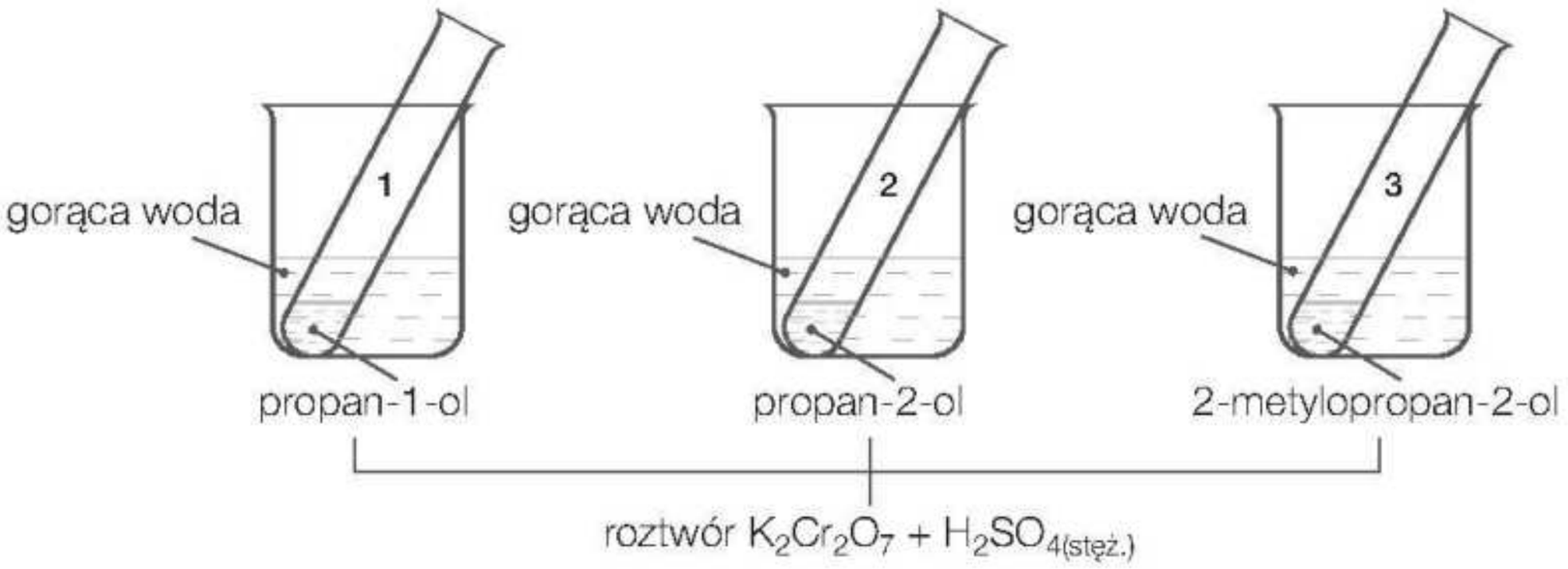
 propan-1-ol, H_2SO_4  **$K_2Cr_2O_7$**

Badanie zachowania alkoholi pierwszo-, drugo- i trzeciorzędowych wobec utleniaczy

Odczynniki: propan-1-ol (alkohol 1°), propan-2-ol (alkohol 2°), 2-metylopropan-2-ol (alkohol 3°), stężony roztwór kwasu siarkowego(VI), dichromian(VI) potasu, woda, propan-2-on (aceton).

Szkło laboratoryjne: probówki, zlewka, bagietki.

Instrukcja: Do probówek wlej kolejno po 3 cm^3 alkoholi: do pierwszej probówki propan-1-olu, do drugiej – propan-2-olu, do trzeciej – 2-metylopropan-2-olu. Następnie do każdej z probówek dodaj kilka kropli stężonego roztworu kwasu siarkowego(VI) i po 2 cm^3 roztworu dichromianu(VI) potasu. Zawartość każdej z probówek ostrożnie wymieszaj bagietką i umieść je w zlewce z gorącą wodą (schemat). Po chwili sprawdź zapach substancji w probówkach i porównaj go z zapachem propan-2-onu.



Obserwacje: W probówkach 1. i 2. roztwór zmienił barwę z pomarańczowej na zieloną. W próbówce 3. nie zaobserwowano zmian.
Wniosek: Reakcje chemiczne zaszły w probówkach 1. i 2. Alkohole pierwszo- i drugorzędowe ulegają reakcji utleniania. Alkohol trzeciorzędowy nie utlenia się.

Zaszły reakcje chemiczne zgodnie z równaniami:

Współczynniki stechiometryczne w tych reakcjach chemicznych można ustalić metodą bilansu elektronowego lub bilansu jonowo-elektronowego.

Probówka 1. $3\ CH_3{-}CH_2{-}\overset{-I}{C}H_2{-}OH + K_2\overset{VI}{Cr}_2O_7 + 4\ H_2SO_4 \longrightarrow$

propan-1-ol, alkohol 1°, **reduktor** | dichromian(VI) potasu, **utleniacz** | kwas siarkowy(VI)

$\longrightarrow 3\ CH_3{-}CH_3{-}\overset{I}{C}(=O)H + \overset{III}{Cr}_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 7\ H_2O$

propanal (aldehyd) | siarczan(VI) chromu(III) | siarczan(VI) potasu | woda

utlenianie
$$\overset{-I}{C} \longrightarrow \overset{I}{C} + 2e^- \quad |\cdot 3$$
$$3\,\overset{-I}{C} \longrightarrow 3\,\overset{I}{C} + 6e^-$$

redukcja
$$2\,\overset{VI}{Cr} + 6e^- \longrightarrow 2\,\overset{III}{Cr}$$

Probówka 2. $3\ CH_3{-}\overset{0}{C}H(OH){-}CH_3 + K_2\overset{VI}{Cr}_2O_7 + 4\ H_2SO_4 \longrightarrow$

propan-2-ol, alkohol 2°, **reduktor** | dichromian(VI) potasu, **utleniacz** | kwas siarkowy(VI)

$\longrightarrow 3\ CH_3{-}\overset{II}{C}(=O){-}CH_3 + \overset{III}{Cr}_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 7\ H_2O$

propan-2-on (keton) | siarczan(VI) chromu(III) | siarczan(VI) potasu | woda

utlenianie
$$\overset{0}{C} \longrightarrow \overset{II}{C} + 2e^- \quad |\cdot 3$$
$$3\,\overset{0}{C} \longrightarrow 3\,\overset{II}{C} + 6e^-$$

redukcja
$$2\,\overset{VI}{Cr} + 6e^- \longrightarrow 2\,\overset{III}{Cr}$$

Pomarańczowa barwa roztworu na początku doświadczenia świadczy o obecności jonów $Cr_2O_7^{2-}$. Zielona barwa roztworu po zakończeniu reakcji chemicznej jest spowodowana obecnością jonów Cr^{3+}.

Alkohole pierwszorzędowe są utleniane do aldehydów, drugorzędowe do ketonów. Natomiast alkohole trzeciorzędowe nie są utleniane.

Zastosowania

Alkohole monohydroksylowe

Na potrzeby przemysłu alkohole monohydroksylowe pozyskuje się m.in. w procesach hydratacji alkenów i fermentacji. Wykorzystuje się je do produkcji wielu artykułów, np. środków dezynfekujących, kosmetyków oraz rozpuszczalników chemicznych.



■ Przemysł kosmetyczny

Mentol to składnik płynów kosmetycznych, kremów oraz **produktów do higieny jamy ustnej**. Nadaje im miętowy smak i zapach, działa kojąco oraz wywołuje uczucie chłodu.



■ Przemysł chemiczny

Propanolu używa się do syntezy acetonu – rozpuszczalnika powszechnie wykorzystywanego m.in. w **zmywaczach lakierów do paznokci**.

■ Przemysł petrochemiczny

Metanol jest używany jako **paliwo do motocykli** żużlowych. Natomiast etanol jest antydetonatorem i dodany do benzyny podwyższa jej liczbę oktanową (LO).

Chemia w medycynie

Alkohole etylowy oraz propylowy są podstawowym składnikiem większości **preparatów dezynfekujących**. Wykorzystuje się je przy produkcji sprayów oraz chusteczek odkażających. Należy jednak pamiętać, aby tego typu preparatów nie stosować na podrażnioną skórę.



Wpływ etanolu na organizm człowieka

Etanol po spożyciu szybko wchłania się do krwi (w 95%) z żołądka i jelita cienkiego. Jest rozkładany w wątrobie. W czasie przetwarzania etanolu zwiększa się zużycie tlenu, co powoduje niedotlenienie komórek wątroby i innych organów, a tym samym zaburza pracę całego organizmu. Pierwszym produktem utleniania jest związek chemiczny bardziej toksyczny od etanolu – aldehyd o nazwie etanal (patrz s. 202). W kolejnych etapach etanal jest utleniany do kwasu etanowego, a ten dalej do tlenku węgla(IV):

$$\underset{\text{etanol}}{CH_3{-}CH_2{-}OH} \xrightarrow{\text{dehydrogenaza alkoholowa [O]}} \underset{\text{etanal}}{CH_3{-}CHO} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{kwas etanowy}}{CH_3{-}COOH}$$



Fot. 66. W polskim prawie dopuszczalna zawartość alkoholu we krwi kierowcy wynosi do 0,2‰.

promil
1‰ = 0,1% (procent objętościowy)

Alkohol przyspiesza tętno, a tym samym przepływ krwi, co prowadzi do rozgrzania organizmu. Zimą może to jednak doprowadzić do zamarznięcia wyziębionego organizmu, gdyż po szybkim rozgrzaniu następuje niekontrolowana utrata ciepła.

Do badania zawartości alkoholu w wydychanym powietrzu służy alkomat (fot. 66.). Jednak najbardziej wiarygodne jest badanie krwi. Stężenie alkoholu w organizmie wyraża się w promilach.

Dla zdrowego dorosłego człowieka dawka śmiertelna etanolu wynosi ok. 450 g czystego CH_3CH_2OH – ponad 4‰ alkoholu we krwi, czyli 0,4% (procent objętościowy).

Objawy zatrucia etanolem występują po spożyciu większej ilości napojów alkoholowych i zależą od jego aktualnego stężenia we krwi oraz wieku, płci i stanu zdrowia danej osoby.

Śmiertelna dawka etanolu wynosi 143 mg/kg masy ciała. Toksyczne działanie alkoholi monohydroksylowych na organizm człowieka zmniejsza się wraz ze zwiększaniem się liczby atomów węgla w ich cząsteczkach. Najsilniejszą trucizną jest metanol CH_3OH.

Lecznicze i toksyczne właściwości substancji

O sposobie działania danej substancji chemicznej na organizm człowieka decydują:

- dawka,
- struktura chemiczna, tj. rodzaj i liczba grup funkcyjnych oraz ich układ przestrzenny (izomeria),
- stopień rozdrobnienia,
- droga przenikania do organizmu,
- rozpuszczalność w wodzie.

Każdą substancją można się otruć, jeśli przyjmie się jej zbyt dużo. Żadna substancja nie wywoła natomiast zatrucia, jeśli do organizmu dostanie się jej zbyt mało. O tym, czy dana substancja będzie lekiem czy trucizną, decyduje jej **dawka**.

Dzieciom nie wolno podawać etanolu, gdyż nawet mała dawka może być dla nich śmiertelna.

Dawka – decyduje o tym, czy dana substancja będzie lekiem czy trucizną.

Odporność ludzkiego organizmu na działanie związków chemicznych zależy od wagi, wieku, ogólnego stanu zdrowia oraz indywidualnych cech tego organizmu. Czynniki te muszą zostać uwzględnione podczas określania dawki substancji.

Początkowo organizm reaguje już na niewielkie ilości substancji, ale szybko się do nich przyzwyczaja. Wywołuje to potrzebę zwiększania dawek, a to prowadzi do wystąpienia zjawiska nazywanego **tolerancją**, czyli zmniejszonej wrażliwości organizmu na określoną dawkę substancji i brak oczekiwanych efektów jej działania. Zwiększona tolerancja na daną substancję sprawia, że człowiek może przyjmować ją nawet w ilości przekraczającej dawkę śmiertelną.

Uzależnienie od alkoholu

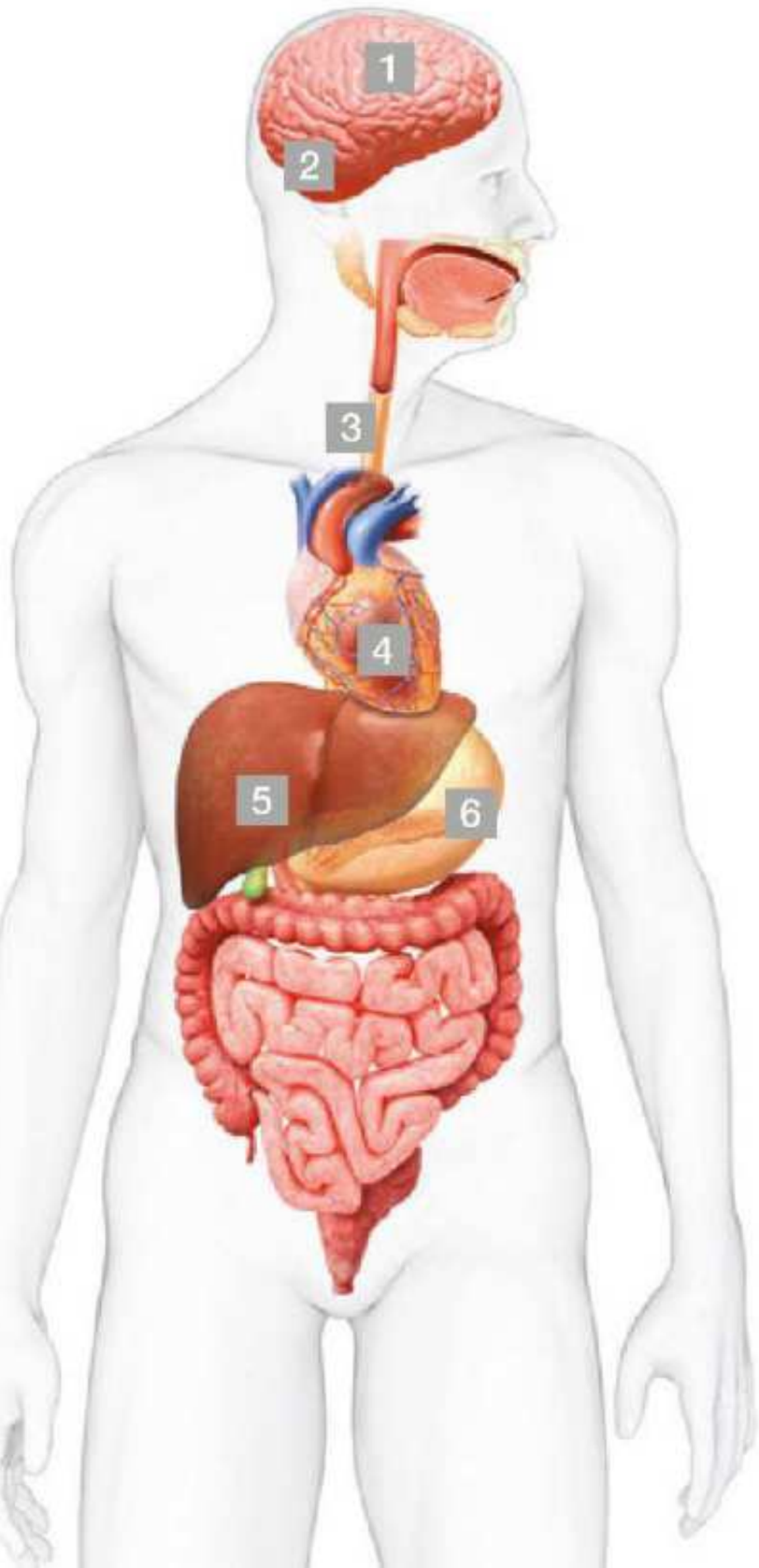
Istnieją substancje o silnym działaniu na organizm, których stałe przyjmowanie prowadzi do zaburzenia zdrowia zwanego **uzależnieniem**.

Uzależnienie psychiczne to silna potrzeba ciągłego zażywania danej substancji. Uzależnienie fizyczne objawia się tzw. głodem, czyli dolegliwościami fizycznymi, np.: bólem kończyn, wymiotami, wzmożoną potliwością, które wywołują potrzebę zażycia kolejnej dawki substancji.

Etanol jest przykładem substancji uzależniającej, a uzależnienie od niego to **alkoholizm**.

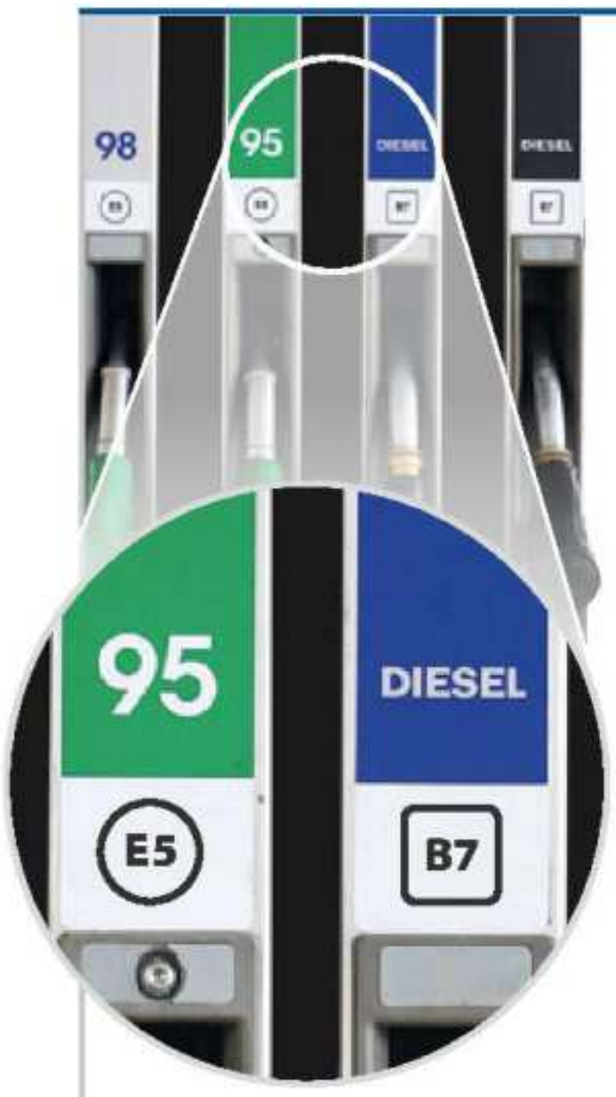
Alkoholizm – uzależnienie od etanolu.

Nadmierne spożywanie etanolu prowadzi także do wyniszczenia organizmu i jest przyczyną wielu chorób (rys. 36.).



1 zmiany w mózgu
2 zaburzenia pamięci
3 rak przełyku
4 uszkodzenie mięśnia sercowego
5 nieodwracalne uszkodzenia wątroby (marskość wątroby)
6 stany zapalne i owrzodzenie żołądka

Rys. 36. Wpływ nadmiernego spożywania alkoholu na organizm.



Odkrycia, które zmieniły świat – biopaliwo

Przełomowym odkryciem w motoryzacji było wyprodukowanie **paliwa z surowców odnawialnych** – tzw. biomasy, czyli stałych lub ciekłych substancji pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji. Najczęściej stosowane biopaliwa to **bioetanol** oraz **biodiesel**. Wykorzystywane są one m.in. jako dodatki do tradycyjnych paliw. To, jaki procent paliwa stanowią, można odczytać z nowych oznaczeń stosowanych na stacjach benzynowych, m.in. na pistolecie dystrybutora paliwa (fot. 67.). Benzyna zawierająca maksymalnie 5% bioetanolu jest oznaczana znakiem (E5). Produkowane są również benzyny, które zawierają maksymalnie 10% lub 85% bioetanolu. Oznacza się je odpowiednio symbolami: (E10) oraz (E85). Biodiesel jest natomiast dodawany do oleju napędowego. Paliwo stosowane w silnikach Diesla może zawierać maksymalnie 7% lub 10% biodiesla. Oznacza się je odpowiednio: [B7] oraz [B10].

Fot. 67. Symbole stosowane wcześniej informowały o wartości liczby oktanowej paliwa – 95 lub 98. Te rodzaje benzyny zawierają maksymalnie 5% bioetanolu.

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Podaj nazwy systematyczne alkoholi o podanych wzorach półstrukturalnych.

a) $CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_3$ b) $CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{C}}}}-CH_2-CH_3$ c) $CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$

2. Napisz wzory półstrukturalne oraz nazwy systematyczne alkoholi o wzorze sumarycznym $C_4H_{10}O$. Określ rzędowość tych alkoholi.

3. 18,5 g pewnego alkoholu monohydroksylowego przereagowało całkowicie z 5,75 g sodu. **Napisz wzór sumaryczny i nazwę systematyczną tego alkoholu.**

4. Produktami odwodnienia alkoholi za pomocą stężonego roztworu kwasu siarkowego(VI) mogą być związki chemiczne nazywane eterami. Jeżeli reakcję odwodnienia prowadzi się w niezbyt wysokiej temperaturze i przy nadmiarze alkoholu, przebiega ona zgodnie z równaniem:

$$2\,R{-}OH \longrightarrow R{-}O{-}R + H_2O$$

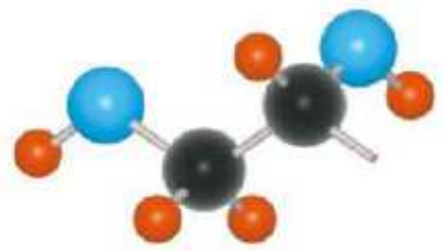
Aby utworzyć nazwę eteru, po słowie „eter" podaje się w kolejności alfabetycznej nazwy grup węglowodorowych, które wchodzą w skład jego cząsteczki, np. CH_3OCH_3 to eter dimetylowy (metoksymetan), a $CH_3OCH_2CH_3$ to eter etylowo-metylowy (metoksyetan).

a) Do mieszaniny etanolu i propan-1-olu (w stosunku molowym 1 : 1) dodano stężony kwas siarkowy(VI), a następnie otrzymaną mieszaninę ogrzewano, co doprowadziło do odwodnienia alkoholi. **Podaj wzory półstrukturalne wszystkich eterów, jakie mogły powstać w tak sporządzonej mieszaninie alkoholi.**

b) Temperatury wrzenia eterów są znacznie niższe niż temperatury wrzenia alkoholi, z których te etery powstały. **Wyjaśnij przyczynę tego zjawiska.**

15. Alkohole polihydroksylowe

Alkohole polihydroksylowe (rys. 37.) to grupa związków organicznych zawierających w cząsteczkach co najmniej **dwie grupy hydroksylowe —OH**.



Rys. 37. Model fragmentu cząsteczki alkoholu polihydroksylowego.
Modele atomów:
węgla tlenu
wodoru

Występowanie alkoholi polihydroksylowych

Alkohole polihydroksylowe można znaleźć w nasionach roślin, owocach oraz tkance tłuszczowej ssaków morskich. Sorbitol $C_6H_{14}O$ po raz pierwszy wyodrębniono z owoców jarzębiny, ale znajduje się też w: śliwkach (fot. 68.), gruszkach, czereśniach, brzoskwiniach i jabłkach. Natomiast glicerol występuje np. w nasionach słonecznika i oliwkach, a także w wątrobie ryb czy podskórnej tkance tłuszczowej ssaków morskich. Propano-1,2,3-triol $C_3H_8O_3$ wytwarzany jest z kolei przez owada żyjącego na Alasce – galasówkę wierzbową. Ten związek chemiczny umożliwia jej przeżycie w niskiej temperaturze.



Fot. 68. Słodki smak suszonym śliwkom nadaje sorbitol.

Budowa cząsteczek alkoholi polihydroksylowych

W alkoholach polihydroksylowych **każda grupa hydroksylowa —OH** jest związana **z innym atomem węgla** (o hybrydyzacji orbitali atomowych sp^3) w łańcuchu węglowym.

Do alkoholi polihydroksylowych należą m.in. etano-1,2-diol (nazwa zwyczajowa: glikol etylenowy) i propano-1,2,3-triol (nazwa zwyczajowa: glicerol, znany powszechnie pod nazwą gliceryna).



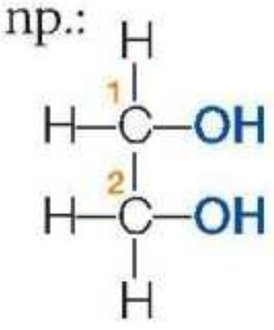
$C_2H_4(OH)_2$
etano-1,2-diol



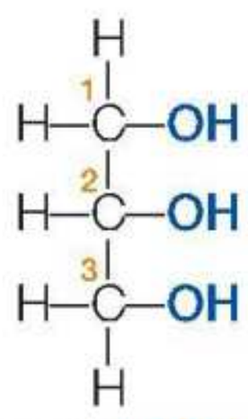
$C_3H_5(OH)_3$
propano-1,2,3-triol

Nazewnictwo alkoholi polihydroksylowych

Nazwy systematyczne alkoholi polihydroksylowych tworzy się tak samo jak nazwy alkoholi monohydroksylowych. Przed końcówką **-ol** dodaje się przedrostek (np. **di-**, **tri-**) określający liczbę grup hydroksylowych —OH. Lokanty – cyfry oznaczające położenie grup hydroksylowych – oddziela się od siebie przecinkami i umieszcza przed liczebnikiem określającym liczbę grup —OH, np.:

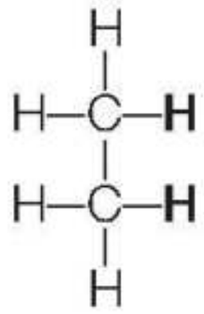


etano-**1**,**2**-**diol**

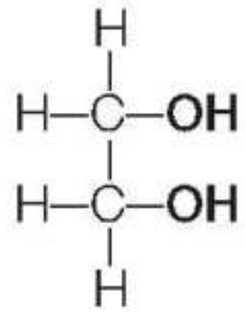


propano-**1**,**2**,**3**-**triol**

Wzór etano-1,2-diolu wyprowadza się ze wzoru etanu, podstawiając dwa atomy wodoru grupami hydroksylowymi —OH:

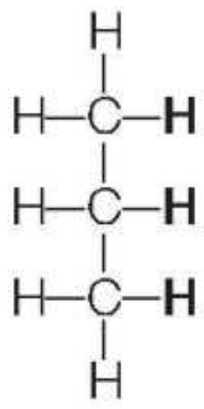


etan

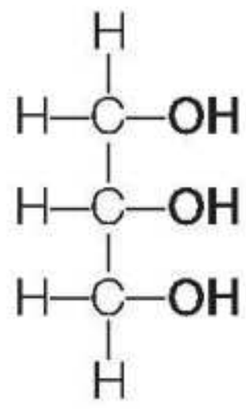


etano-1,2-diol

Propano-1,2,3-triol jest pochodną propanu, w której trzy atomy wodoru zostały podstawione grupami —OH:



propan



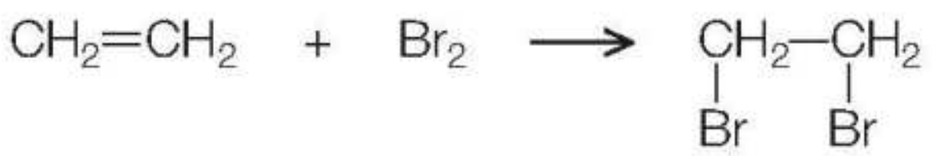
propano-1,2,3-triol

Otrzymywanie alkoholi polihydroksylowych

Alkohole polihydroksylowe otrzymuje się, podobnie jak inne alkohole, w reakcji hydrolizy zasadowej fluorowcopochodnych węglowodorów.

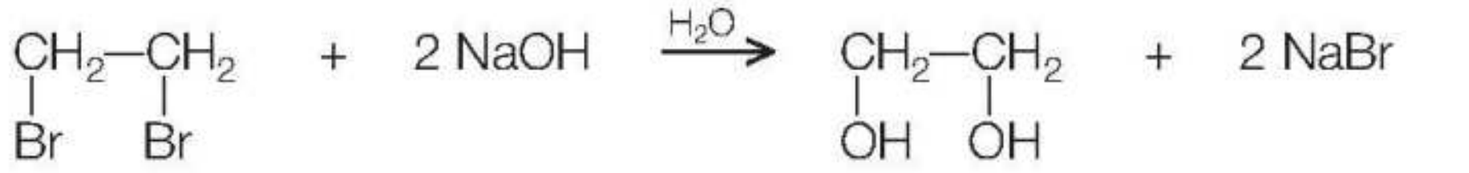
W warunkach laboratoryjnych etano-1,2-diol otrzymuje się w następujący sposób:

Etap I. Eten reaguje z bromem.



eten brom 1,2-dibromoetan

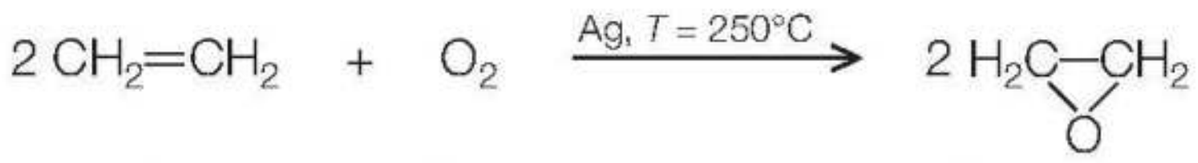
Etap II. 1,2-dibromoetan reaguje z roztworem wodorotlenku sodu.



1,2-dibromoetan wodorotlenek sodu etano-1,2-diol bromek sodu

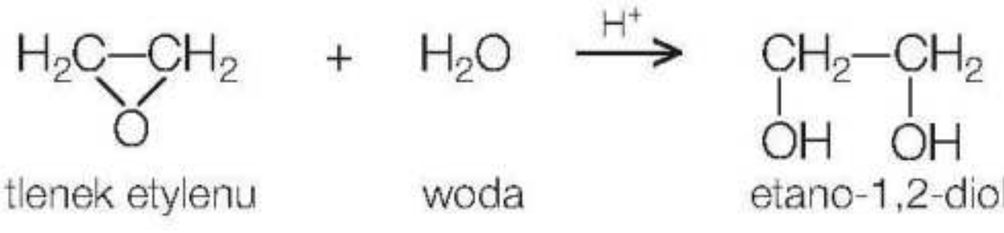
Na skalę przemysłową etano-1,2-diol otrzymuje się z tlenku etylenu:

Etap. I. Eten reaguje z tlenem.



eten tlen tlenek etylenu

Etap II. Tlenek etylenu w środowisku kwasowym ulega reakcji hydrolizy.



tlenek etylenu woda etano-1,2-diol

Na skalę przemysłową propano-1,2,3-triol wytwarza się z propenu.
Etap I. Propen reaguje z chlorem w stanie gazowym w temperaturze ok. 500°C. Warunki te sprzyjają mechanizmowi reakcji rodnikowej, dlatego chlor **nie przyłącza się** do wiązania podwójnego, tylko **podstawia** jeden atom wodoru w grupie metylowej.

$$\underset{\text{propen}}{CH_2{=}CH{-}CH_3} + \underset{\text{chlor}}{Cl_2} \xrightarrow{T = 500°C} \underset{\text{3-chloroprop-1-en}}{CH_2{=}CH{-}CH_2Cl} + \underset{\text{chlorowodór}}{HCl}$$

substytucja rodnikowa

Etap II. 3-chloroprop-1-en ulega reakcji hydrolizy.

$$\underset{\text{3-chloroprop-1-en}}{CH_2{=}CH{-}CH_2Cl} + \underset{\text{wodorotlenek sodu}}{NaOH} \longrightarrow \underset{\text{prop-2-en-1-ol}}{CH_2{=}CH{-}CH_2OH} + \underset{\text{chlorek sodu}}{NaCl}$$

Etap III. Prop-2-en-1-ol reaguje z nadtlenkiem wodoru w obecności katalizatora.

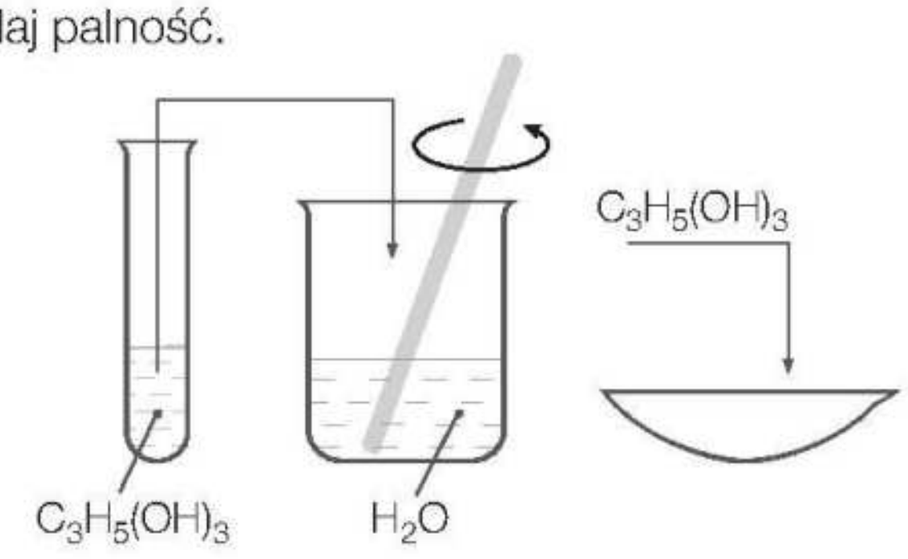
$$\underset{\text{prop-2-en-1-ol}}{CH_2{=}CH{-}CH_2OH} + \underset{\text{nadtlenek wodoru}}{H_2O_2} \xrightarrow{\text{kat.}} \underset{\text{propano-1,2,3-triol}}{\begin{array}{l}CH_2{-}OH\\ |\\ CH{-}OH\\ |\\ CH_2{-}OH\end{array}}$$

Właściwości alkoholi polihydroksylowych

Doświadczenie 25.

Badanie właściwości propano-1,2,3-triolu (glicerolu)

Odczynniki: propano-1,2,3-triol (glicerol), woda.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, zlewka, bagietka, uniwersalny papierek wskaźnikowy, parownica porcelanowa, łuczywo, palnik.
Instrukcja: a) Do probówki nalej 3 cm^3 propano-1,2,3-triolu. Określ jego stan skupienia, barwę i zapach. Następnie przelej propano-1,2,3-triol do zlewki z wodą i wymieszaj bagietką. Zbadaj odczyn roztworu za pomocą uniwersalnego papierka wskaźnikowego.
b) Do parownicy porcelanowej wlej ok. 3 cm^3 propano-1,2,3-triolu (schemat). Zbadaj palność.



Obserwacje: Propano-1,2,3-triol jest bezbarwną, bezwonną, gęstą cieczą. Dobrze rozpuszcza się w wodzie. Roztwór wodny propano-1,2,3-triolu nie zmienia zabarwienia uniwersalnego papierka wskaźnikowego. Propano-1,2,3-triol jest palny (fot. 69.).



Fot. 69. Spalanie propano-1,2,3-triolu.

Wniosek: Cząsteczka propano-1,2,3-triolu ma budowę polarną, dlatego propano-1,2,3-triol dobrze rozpuszcza się w wodzie. Brak zmiany zabarwienia uniwersalnego papierka wskaźnikowego świadczy o odczynie obojętnym wodnego roztworu propano-1,2,3-triolu.

Produktami reakcji spalania propano-1,2,3-triolu są przede wszystkim: sadza, woda i tlenek węgla(IV):

spalanie niecałkowite $C_3H_5(OH)_3$

$$\underset{\text{propano-1,2,3-triol}}{2\ C_3H_5(OH)_3} + \underset{\text{tlen}}{O_2} \longrightarrow \underset{\text{węgiel}}{6\ C} + \underset{\text{woda}}{8\ H_2O}$$

spalanie całkowite $C_3H_5(OH)_3$

$$\underset{\text{propano-1,2,3-triol}}{2\ C_3H_5(OH)_3} + \underset{\text{tlen}}{7\ O_2} \longrightarrow \underset{\text{tlenek węgla(IV)}}{6\ CO_2} + \underset{\text{woda}}{8\ H_2O}$$

Etano-1,2-diol jest związkiem toksycznym.

Etano-1,2-diol, podobnie jak propano-1,2,3-triol, jest gęstą, bezbarwną cieczą, dobrze rozpuszczalną w wodzie. Ulega reakcjom spalania.

Cząsteczki etano-1,2-diolu i propano-1,2,3-triolu tworzą międzycząsteczkowe wiązania wodorowe. Obecność kilku grup hydroksylowych —OH w cząsteczkach alkoholi polihydroksylowych zwiększa liczbę powstających wiązań wodorowych i między ich cząsteczkami powstaje sieć. To powoduje, że trudniej je rozerwać. Dlatego etano-1,2-diol i propano-1,2,3-triol są trudno lotnymi związkami chemicznymi o dużej lepkości oraz wysokich temperaturach topnienia i wrzenia.

Im większa liczba grup —OH w cząsteczce alkoholu i dłuższy łańcuch węglowy, tym mniejsza toksyczność alkoholu. Metanol jest bardziej toksyczny niż etano-1,2-diol, natomiast propano-1,2,3-triol nie ma właściwości toksycznych.

Reakcje chemiczne alkoholi polihydroksylowych

Doświadczenie 26. Na

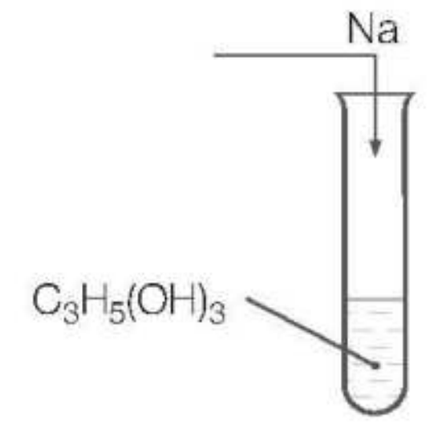
Reakcja propano-1,2,3-triolu (glicerolu) z sodem

Nie dotykaj sodu palcami.

Odczynniki: propano-1,2,3-triol (glicerol), sód, woda, roztwór fenoloftaleiny.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, szczypce, szkiełko zegarkowe.

Instrukcja: Do probówki zawierającej ok. 3 cm^3 propano-1,2,3-triolu wrzuć szczypcami kawałek sodu wielkości ziarna ryżu (schemat). Po całkowitym przereagowaniu sodu odparuj kilka kropli roztworu na szkiełku zegarkowym. Osad rozpuść w wodzie i dodaj do niego kroplę roztworu fenoloftaleiny.



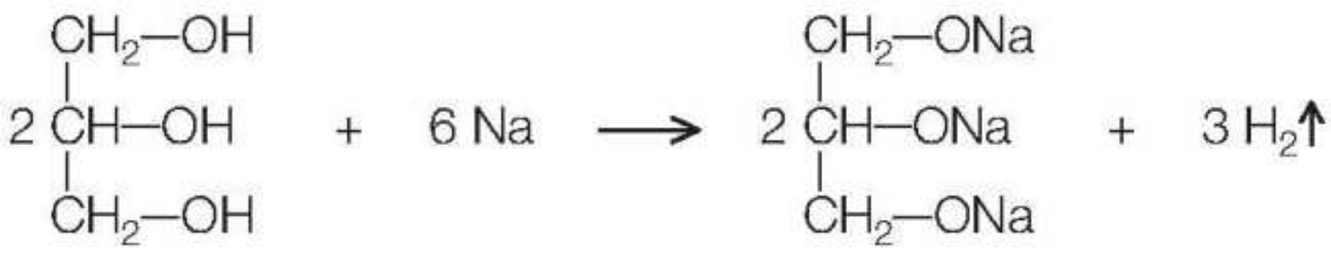
Obserwacje: Po dodaniu sodu w probówce pojawiły się pęcherzyki bezbarwnego gazu. Na szkiełku zegarkowym, po odparowaniu roztworu, zostaje osad (patrz fot. 70., s. 185). Dodanie do niego wody powoduje powstanie roztworu, w którym fenoloftaleina barwi się na malinowo.



Fot. 70. Produktem reakcji chemicznej glicerolu z sodem jest glicerolan sodu.

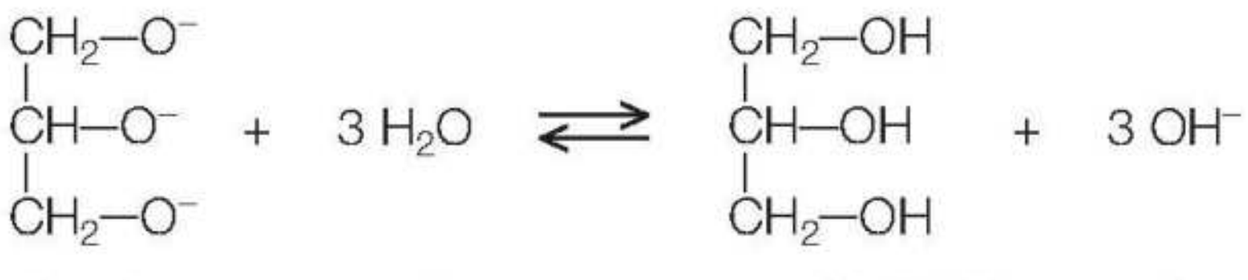
Wniosek: Propano-1,2,3-triol (glicerol), podobnie jak inne alkohole, reaguje z sodem – powstaje **glicerolan sodu**.

Zachodzi reakcja chemiczna, którą można przedstawić równaniem:



propano-1,2,3-triol | sód | glicerolan sodu | wodór

Glicerolan sodu jest to sól słabego kwasu i mocnej zasady, więc ulega hydrolizie anionowej.



anion glicerolanowy | woda | propano-1,2,3-triol | aniony wodorotlenkowe

roztwór glicerolanu sodu ma **odczyn zasadowy**

Propano-1,2,3-triol w reakcji z sodem wykazuje charakter kwasowy. Etano-1,2-diol, podobnie jak propano-1,2,3-triol, reaguje z metalami aktywnymi chemicznie, tworząc sole – **glikolany**.

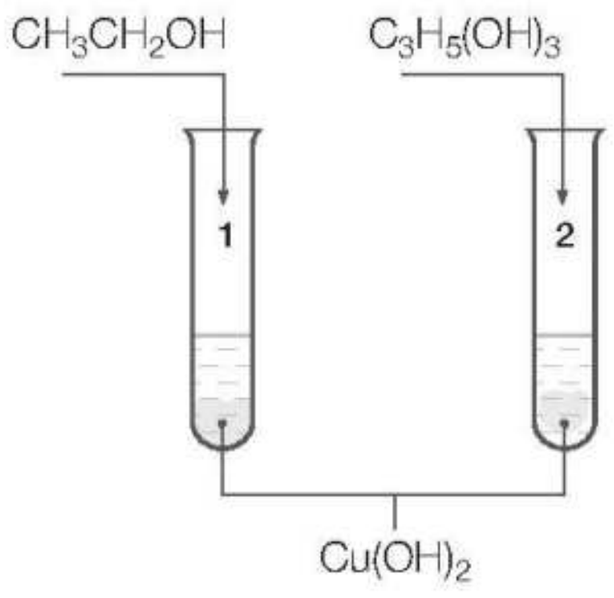
Doświadczenie 27.  $CuSO_4$  NaOH  CH_3CH_2OH

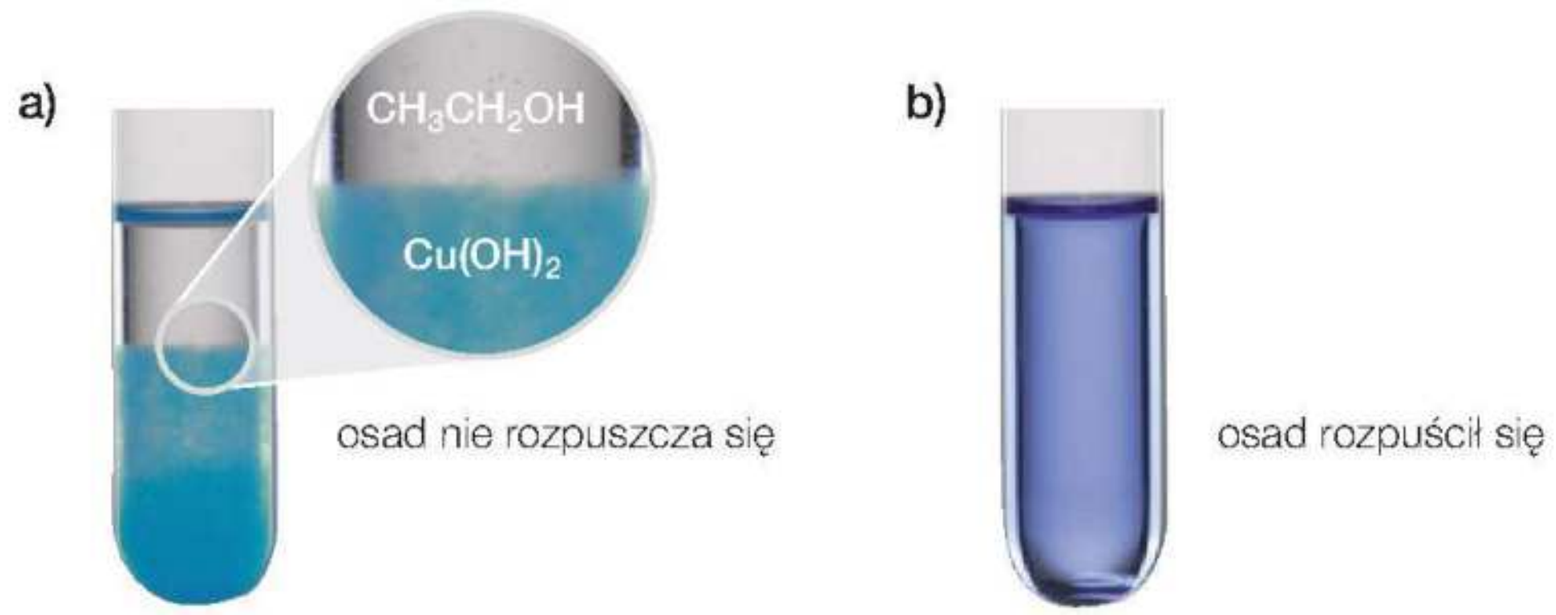
Badanie zachowania się alkoholi wobec wodorotlenku miedzi(II)

Odczynniki: roztwór siarczanu(VI) miedzi(II), roztwór wodorotlenku sodu, etanol, propano-1,2,3-triol.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, wkraplacz.

Instrukcja: Do dwóch probówek z roztworem siarczanu(VI) miedzi(II) dodaj kroplami roztwór wodorotlenku sodu. Do tak otrzymanego galaretowatego osadu wodorotlenku miedzi(II) dodaj: do probówki 1. etanol, do probówki 2. – propano-1,2,3-triol (schemat). Wymieszaj zawartość probówek.





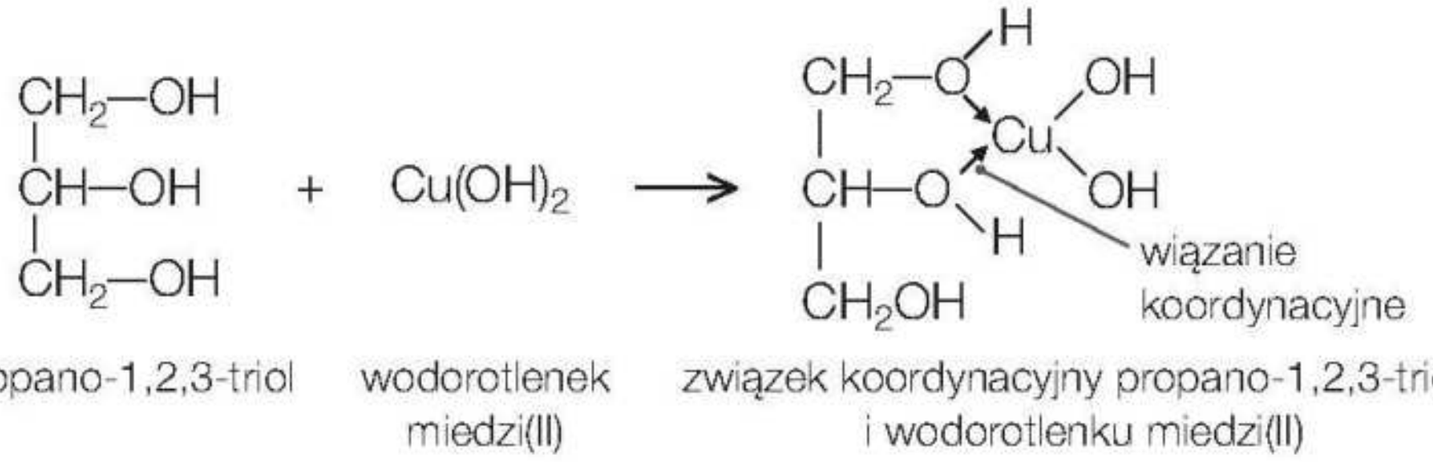
Fot. 71. Reakcja wodorotlenku miedzi(II) z: a) etanolem, b) propano-1,2,3-triolem.

Związki koordynacyjne (kompleksowe) – związki chemiczne o złożonej budowie cząsteczek lub jonów, w których atom lub jon (kation), nazywany **atomem** lub **jonem centralnym**, jest połączony wiązaniami koordynacyjnymi z ligandami.

Obserwacje: W probówce 1. zmiany nie są widoczne (fot. 71.a). W probówce 2. po dodaniu propano-1,2,3-triolu osad rozpuszcza się, a roztwór przyjmuje szafirową barwę (fot. 71.b).
Wniosek: Etanol nie reaguje z wodorotlenkiem miedzi(II). W wyniku reakcji chemicznej propano-1,2,3-triolu z wodorotlenkiem miedzi(II) powstaje **związek koordynacyjny miedzi(II)** o skomplikowanej budowie i szafirowej barwie.

Powstawanie związku koordynacyjnego miedzi(II) przedstawia uproszczone równanie reakcji chemicznej:

reakcja charakterystyczna



propano-1,2,3-triol | wodorotlenek miedzi(II) | związek koordynacyjny propano-1,2,3-triolu i wodorotlenku miedzi(II)

Propano-1,2,3-triol, w przeciwieństwie do alkoholi monohydroksylowych, reaguje z wodorotlenkiem miedzi(II). Oznacza to, że ma silniejsze właściwości kwasowe od alkoholi monohydroksylowych. Inne alkohole polihydroksylowe, które mają grupy –OH przy sąsiadujących atomach węgla, zachowują się wobec $Cu(OH)_2$ podobnie jak propano-1,2,3-triol.

Reakcją charakterystyczną dla alkoholi polihydroksylowych, których grupy —OH znajdują się przy sąsiednich atomach węgla, **jest reakcja z $Cu(OH)_2$. Służy do ich odróżniania od alkoholi monohydroksylowych.**

Alkohole polihydroksylowe, ze względu na obecność grup —OH, wykazują właściwości podobne do właściwości alkoholi monohydroksylowych:

- reagują z metalami aktywnymi chemicznie,
- są łatwopalne,
- w odpowiednich warunkach mogą ulegać reakcji odwodnienia,
- mają silniejsze właściwości kwasowe.

Zastosowania

Alkohole polihydroksylowe

Glikol etylenowy i glicerol to najpowszechniej wykorzystywane w przemyśle alkohole polihydroksylowe. Glikol etylenowy jest głównym składnikiem płynu do chłodnic samochodowych. Glicerolu używa się do produkcji kosmetyków oraz w garbarstwie, czyli obróbce materiałów skórzanych.



Przemysł spożywczy

Sorbitol to substancja słodząca (E 420) dodawana do dżemów, galaretek, lodów i czekolad. Ze względu na silny efekt chłodzący stosuje się go także do produkcji **gum do żucia**.



Przemysł chemiczny

Glikol etylenowy jest używany jako rozpuszczalnik podczas produkcji **lakierów do drewna**, klejów i farb drukarskich.

Przemysł kosmetyczny

Glicerol jest często wykorzystywanym składnikiem **kremów** i maści. Konserwuje pozostałe substancje znajdujące się w kosmetyku, dzięki czemu umożliwia zachowanie jego konsystencji przez długi czas.

Chemia w medycynie

Glikol propylenowy to składnik **żeli łagodzących ból podczas ząbkowania**. Zapobiega wysychaniu kremów i maści, poprawia również smak leków, m.in. syropów przeciwkaszlowych, preparatów wykrztuśnych i pastylek do ssania.



Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

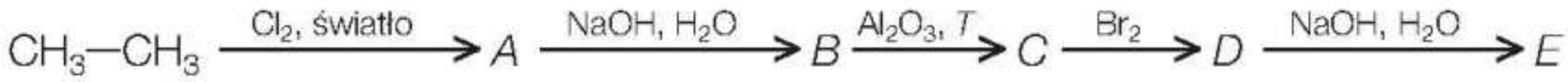
1. **Napisz wzory półstrukturalne alkoholi polihydroksylowych o podanych nazwach systematycznych.**
   a) pentano-1,2,3-triol b) butano-1,2-diol c) propano-1,3-diol

2. **Napisz równania reakcji chemicznych** (1–4) **przedstawionych na schemacie.** Zastosuj wzory półstrukturalne.
   etanol $\xrightarrow{1}$ eten $\xrightarrow{2}$ 1,2-dichloroetan $\xrightarrow{3}$ etano-1,2-diol $\xrightarrow{4}$ glikolan potasu

3. **Napisz równania reakcji chemicznych, które należy przeprowadzić, aby otrzymać etano-1,2-diol, dysponując etanolem i dowolnymi odczynnikami nieorganicznymi.**
   Zastosuj wzory półstrukturalne substratów i produktów reakcji chemicznych.

4. **Ustal wzór rzeczywisty alkoholu o masie cząsteczkowej 62 u, w którym stosunek masowy węgla do wodoru i do tlenu wynosi 60 : 15 : 80.**

5. **Napisz równania reakcji chemicznych przedstawionych na schemacie. Podaj wzory i nazwy systematyczne substancji chemicznych oznaczonych literami *A–E*.**



6. W tabeli zestawiono zmiany temperatury wrzenia w dwóch szeregach alkoholi.

Nazwa alkoholu	Masa cząsteczkowa, u	Temperatura wrzenia, °C
Szereg 1.		
propan-1-ol	60	97,2
butan-1-ol	74	117,7
pentan-1-ol	88	137,8
Szereg 2.		
propan-1-ol	60	97,2
propano-1,3-diol	76	214,4
propano-1,2,3-triol	92	290,0

a) Na podstawie analizy danych zamieszczonych w tabeli można sformułować wniosek, że pomimo zbliżonych różnic mas między kolejnymi związkami chemicznymi w szeregu 1. (14 u) oraz w szeregu 2. (16 u) zmiany temperatur wrzenia są znacznie większe w przypadku związków chemicznych zestawionych w szeregu 2. **Wyjaśnij przyczynę tak znacznego wzrostu temperatur wrzenia kolejnych związków chemicznych w szeregu 2.**
b) **Odpowiedz na pytanie. Napisz „tak" albo „nie" i uzasadnij swoją odpowiedź.**
Czy związki chemiczne znajdujące się w szeregu 2. są względem siebie homologami?
c) Do trzech probówek z osadem świeżo strąconego wodorotlenku miedzi(II) wprowadzono po pięć kropli każdego ze związków chemicznych szeregu 2. Zawartość probówek wstrząśnięto.
Opisz wygląd zawartości każdej z probówek po wykonaniu opisanych czynności.

16. Fenole

Fenole (rys. 38.) to związki chemiczne, które, podobnie jak alkohole, zawierają grupę hydroksylową —OH. Jednak w odróżnieniu od alkoholi grupa ta jest bezpośrednio związana z atomem węgla znajdującym się w pierścieniu aromatycznym.

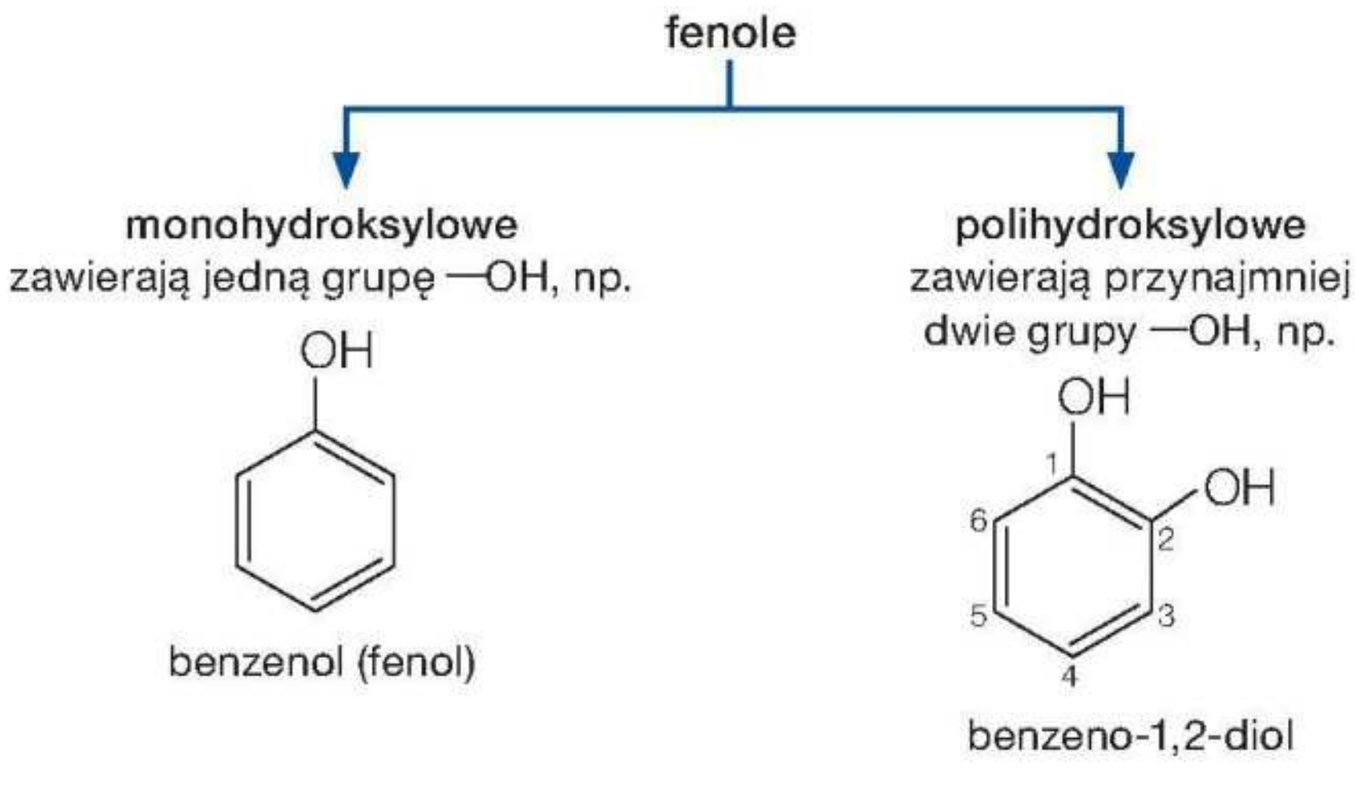


Rys. 38. Model cząsteczki najprostszego fenolu – benzenolu.

Modele atomów:
węgla, tlenu, wodoru

Rodzaje fenoli

Fenole dzieli się ze względu na **liczbę grup hydroksylowych —OH** w cząsteczce:



Występowanie fenoli

Fenole są składnikami olejków eterycznych roślin powszechnie stosowanych jako przyprawy, np. kory cynamonowca (fot. 72.), liści laurowych, ziela angielskiego oraz goździkowca korzennego. Karwakrol $C_{10}H_{14}O$ oraz jego izomer tymol występują w olejkach otrzymywanych z oregano, kminku zwyczajnego oraz tymianku. Gwajakol (2-metoksyfenol, $C_7H_8O_2$) pozyskuje się głównie z substancji zapachowych wanilii. Z kolei w liściach buraka oraz w korze wierzby występuje pirokatechina $C_6H_6O_2$ (benzeno-1,2-diol).



Fot. 72. Składnikiem kory cynamonowca jest polifenol – epikatechina.

Budowa cząsteczek fenoli

W cząsteczce fenolu **grupa —OH jest bezpośrednio połączona z atomem węgla pierścienia aromatycznego**. Węgiel, z którym łączy się grupa —OH, ma orbitale atomowe o hybrydyzacji sp^2.

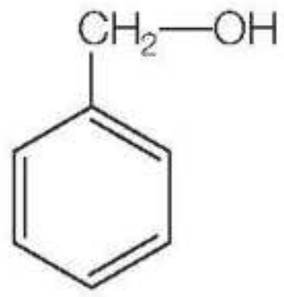
Wzór ogólny fenoli:

Ar—OH ◀ Wzór ogólny fenoli

gdzie:
—Ar – grupa arylowa,
—OH – grupa hydroksylowa.

Fenole – związki organiczne, w których cząsteczkach występują grupy hydroksylowe —OH bezpośrednio związane z atomami węgla pierścienia aromatycznego.

Przykład alkoholu aromatycznego:



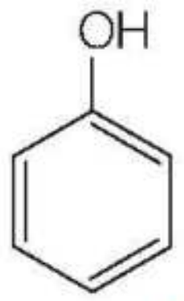
fenylometanol
alkohol benzylowy

Jeżeli grupa –OH jest związana z atomem węgla grupy alkilowej węglowodoru zawierającego w cząsteczce pierścień aromatyczny, to taki związek chemiczny **nie jest fenolem**, lecz **alkoholem aromatycznym**.

Nazewnictwo fenoli

Nazwy systematyczne fenoli tworzy się podobnie jak nazwy alkoholi, dodając końcówkę -**ol** do nazwy węglowodoru, od którego pochodzi dana grupa arylowa. Najbardziej znane fenole mają zwykle swoje nazwy zwyczajowe.

Najprostszym fenolem jest **benzenol**.



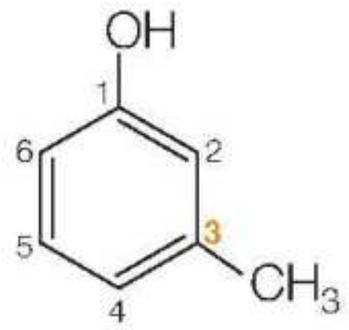
benzenol

Jego nazwa zwyczajowa – **fenol** – utrwaliła się w nazewnictwie chemicznym i jest zalecana oraz częściej stosowana niż nazwa systematyczna – benzenol. Można się również spotkać z nazwą „hydroksybenzen", jednak nie jest ona zalecana.

Jeśli w związku chemicznym oprócz grupy hydroksylowej znajdują się inne podstawniki, to ich położenie podaje się, numerując atomy węgla w pierścieniu aromatycznym. Numerowanie zaczyna się od atomu, z którym jest połączona grupa hydroksylowa:



4-etylo-**2**-metylofenol



3-metylofenol

Dla fenoli polihydroksylowych często stosuje się nazwy zwyczajowe, np.:



benzeno-**1**,**2**-diol
pirokatechol



benzeno-**1**,**3**-diol
rezorcynol

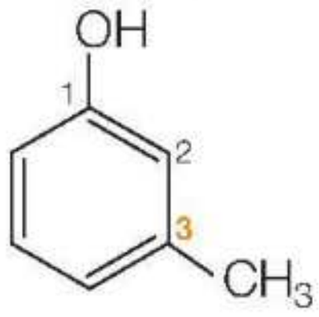


benzeno-**1**,**4**-diol
hydrochinon

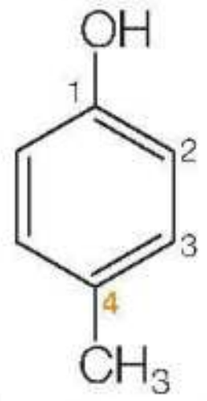
Fenol rozpoczyna szereg homologiczny **fenoli**. Jego homologami są monohydroksylowe pochodne metylobenzenu (toluenu) – **krezole**:



2-metylofenol
o-krezol



3-metylofenol
m-krezol



4-metylofenol
p-krezol

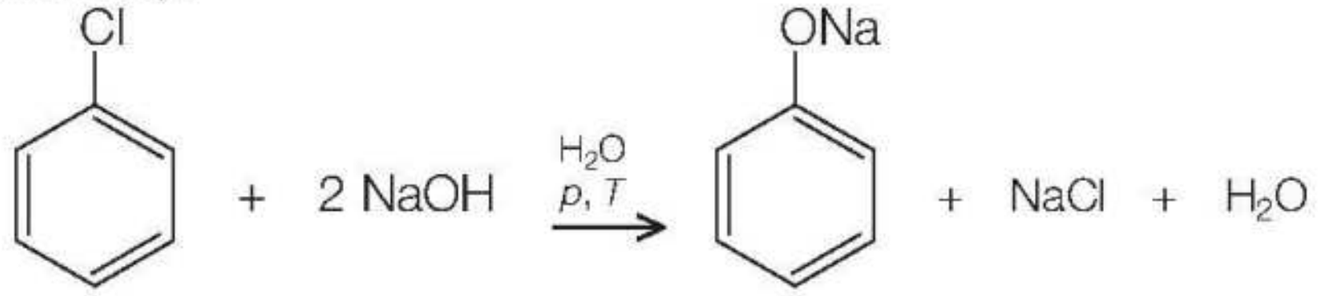
Otrzymywanie fenoli

Źródłem fenoli jest smoła pogazowa uzyskiwana w procesie **pirolizy węgla kamiennego** (patrz s. 136). Na skalę przemysłową fenole otrzymuje się m.in. z odpowiednich **fluorowcopochodnych węglowodorów aromatycznych** oraz tzw. **metodą kumenową**.

Piroliza węgla kamiennego – proces przeróbki węgla kamiennego polegający na jego ogrzewaniu w temp. ok. 1000°C bez dostępu powietrza.

Fenol (benzenol) otrzymuje się **z chlorobenzenu** w dwóch etapach:

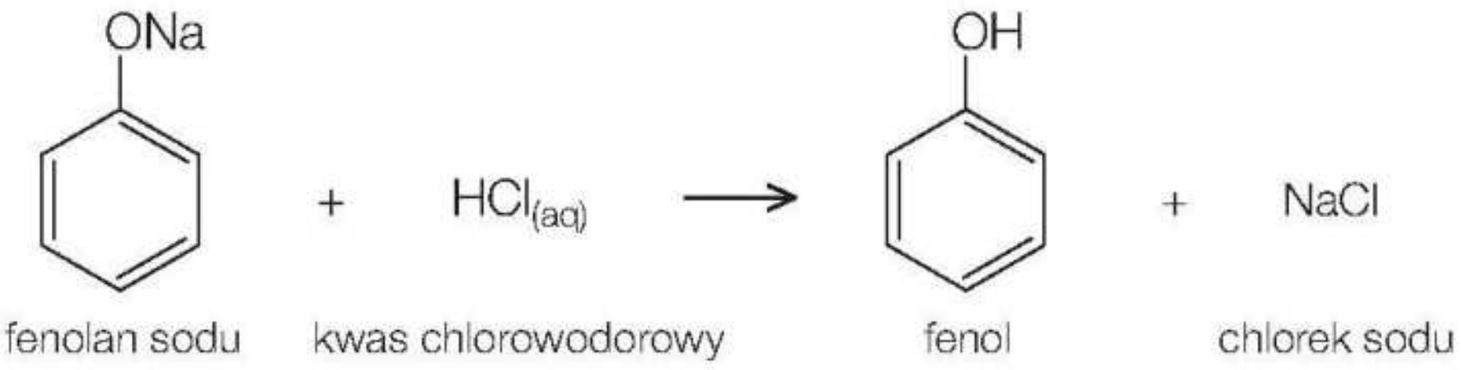
Etap I. Chlorobenzen reaguje ze stężonym roztworem wodorotlenku sodu, a jednym z produktów tej reakcji chemicznej jest fenolan sodu (fenoksylan sodu):



chlorobenzen + wodorotlenek sodu → fenolan sodu + chlorek sodu + woda

otrzymywanie C_6H_5OH

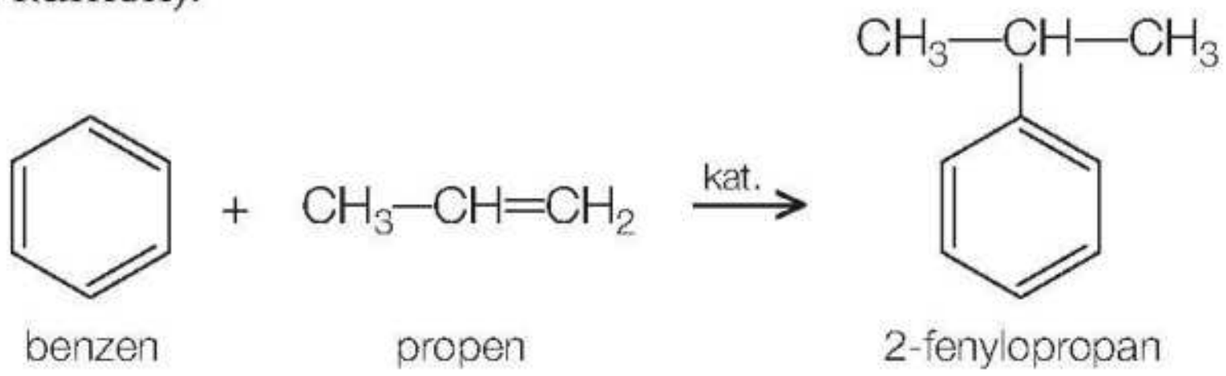
Etap II. Fenolan sodu poddaje się działaniu kwasu chlorowodorowego lub CO_2 i H_2O:



fenolan sodu + kwas chlorowodorowy → fenol + chlorek sodu

Metoda kumenowa również przebiega w dwóch etapach:

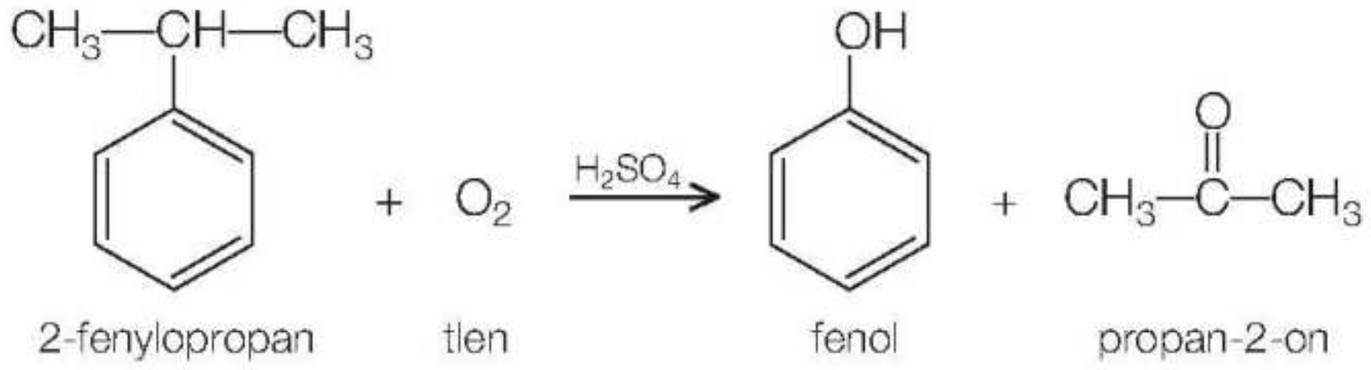
Etap I. Benzen i propen reagują w obecności katalizatora $AlCl_3$, a produktem tej reakcji chemicznej jest 2-fenylopropan (propan-2-yloben-zen, kumen):



benzen + propen → 2-fenylopropan

otrzymywanie C_6H_5OH

Etap II. 2-fenylopropan (propan-2-ylobenzen, kumen) reaguje z tlenem, a otrzymany produkt poddaje się działaniu roztworu H_2SO_4:



2-fenylopropan tlen fenol propan-2-on

Podczas tego procesu otrzymuje się dwa ważne produkty – fenol i propan-2-on. W jego trakcie nie powstają odpady, nie zanieczyszcza więc środowiska przyrodniczego.

Właściwości fenoli

Doświadczenie 28. C_6H_5OH

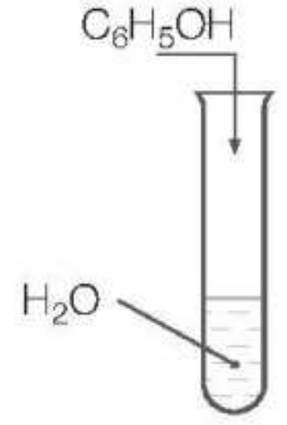
Badanie właściwości fenolu

Fenol jest toksyczny. Powoduje oparzenia skóry. Doświadczenia wykonuj pod wyciągiem, używając okularów i rękawic ochronnych.

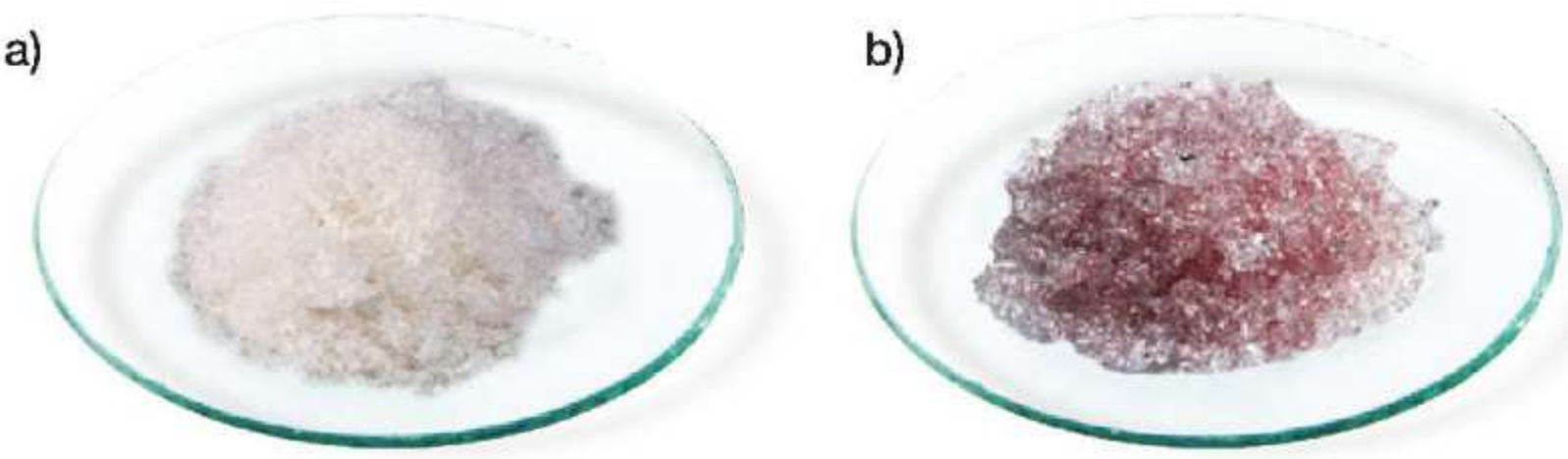
Odczynniki: fenol, zimna i gorąca woda.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, uniwersalny papierek wskaźnikowy, szczypce.

Instrukcja: a) Określ stan skupienia, barwę i zapach fenolu oraz jego rozpuszczalność w zimnej i w gorącej wodzie.
b) Do probówki zawierającej 3 cm^3 wody wrzuć kryształ fenolu (schemat). Następnie wstrząśnij ostrożnie zawartością probówki i zbadaj odczyn powstałego roztworu za pomocą uniwersalnego papierka wskaźnikowego.



a) b)



Fot. 73. Kryształy fenolu: a) bezbarwne, b) fenol utlenia się pod wpływem tlenu zawartego w powietrzu, wówczas jego kryształy zmieniają barwę.



Fot. 74. Uniwersalny papierek wskaźnikowy zmienia barwę w roztworze fenolu.

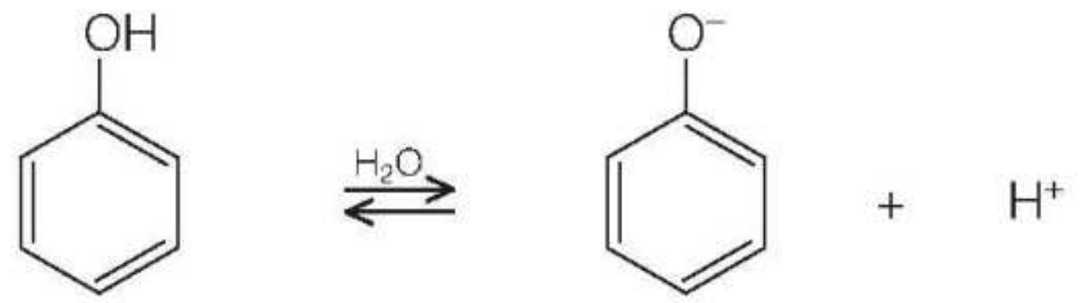
Obserwacje: Fenol jest bezbarwną substancją krystaliczną (fot. 73.a). W obecności powietrza zmienia barwę na różową (fot. 73.b), a nawet brunatną. Ma intensywny, charakterystyczny zapach. Słabo rozpuszcza się w zimnej wodzie, tworząc zawiesinę. Dobrze rozpuszcza się w gorącej wodzie. Uniwersalny papierek wskaźnikowy (fot. 74.) zanurzony w roztworze wodnym fenolu barwi się na czerwono.

Fenol jest toksyczny, żrący, powoduje na skórze trudno gojące się rany.

Wniosek: Czerwone zabarwienie uniwersalnego papierka wskaźnikowego świadczy o **kwasowym odczynie wodnego roztworu fenolu**.

Dysocjację jonową fenolu przedstawia równanie:

dysocjacja jonowa



fenol — anion fenolanowy (fenoksylanowy) — kation wodoru

C_6H_5OH

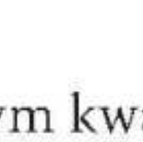
anion fenolanowy (fenoksylanowy) $C_6H_5O^-$

Fenol jest bardzo słabym kwasem. Jednak jego właściwości kwasowe są silniejsze niż u alkoholi. Wynika to z obecności pierścienia aromatycznego, który wpływa na znaczną polaryzację wiązania między tlenem i wodorem w grupie hydroksylowej.

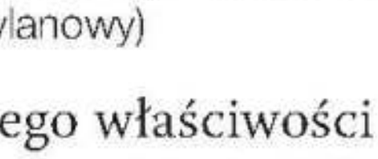
Przesunięcie niewiążących par elektronowych tlenu ku pierścieniowi aromatycznemu powoduje, że wiązanie między atomem tlenu a atomem wodoru w grupie hydroksylowej —OH ulega osłabieniu, co ułatwia odszczepienie jonu wodoru H^+.

Reakcje chemiczne fenoli

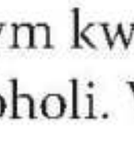
Doświadczenie 29.



C_6H_5OH, NaOH, HCl



C_6H_5OH



HCl

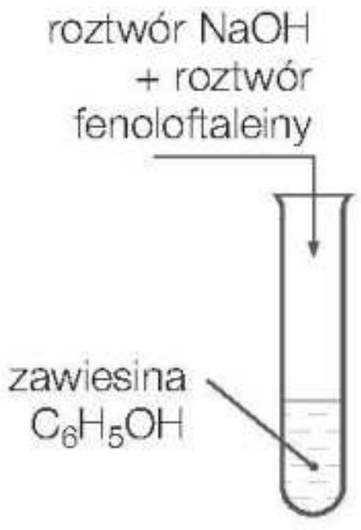
Reakcja fenolu z wodorotlenkiem sodu

! Fenol jest toksyczny. Powoduje oparzenia skóry. Doświadczenia wykonuj pod wyciągiem, używając okularów i rękawic ochronnych.

Odczynniki: fenol, woda, stężony roztwór wodorotlenku sodu, roztwór fenoloftaleiny, kwas chlorowodorowy.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, wkraplacze, uniwersalny papierek wskaźnikowy.

Instrukcja: Do zawiesiny ok. 1 g fenolu w 2 cm^3 wody dodawaj kroplami stężony roztwór wodorotlenku sodu z roztworem fenoloftaleiny (schemat), aż zawartość probówki stanie się klarowna, a odczyn roztworu – obojętny. Następnie kroplami dodawaj kwas chlorowodorowy aż do uzyskania odczynu kwasowego. Odczyn sprawdź za pomocą uniwersalnego papierka wskaźnikowego.



Obserwacje: Zawartość probówki (zawiesina fenolu w wodzie) pod wpływem stężonego roztworu zasady sodowej staje się klarowna. Następnie po dodaniu kwasu chlorowodorowego ponownie mętnieje.

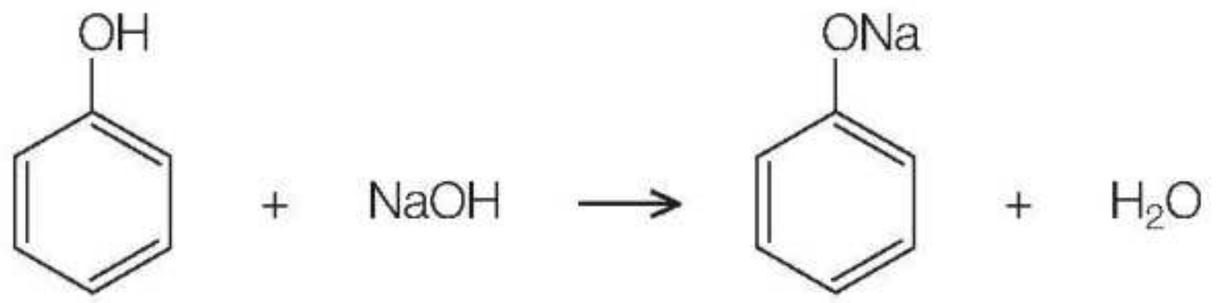
Wniosek: Fenol reaguje z roztworem wodorotlenku sodu.

Tej reakcji chemicznej **nie ulegają alkohole**.

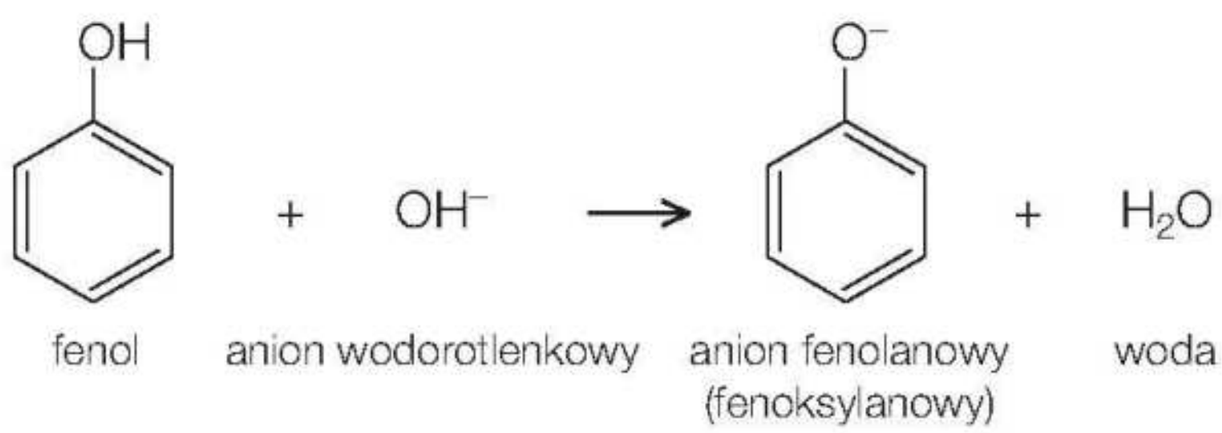
substytucja

Zachodzi reakcja zobojętniania, której produktem jest **fenolan sodu** (fenoksylan sodu):

zapis cząsteczkowy

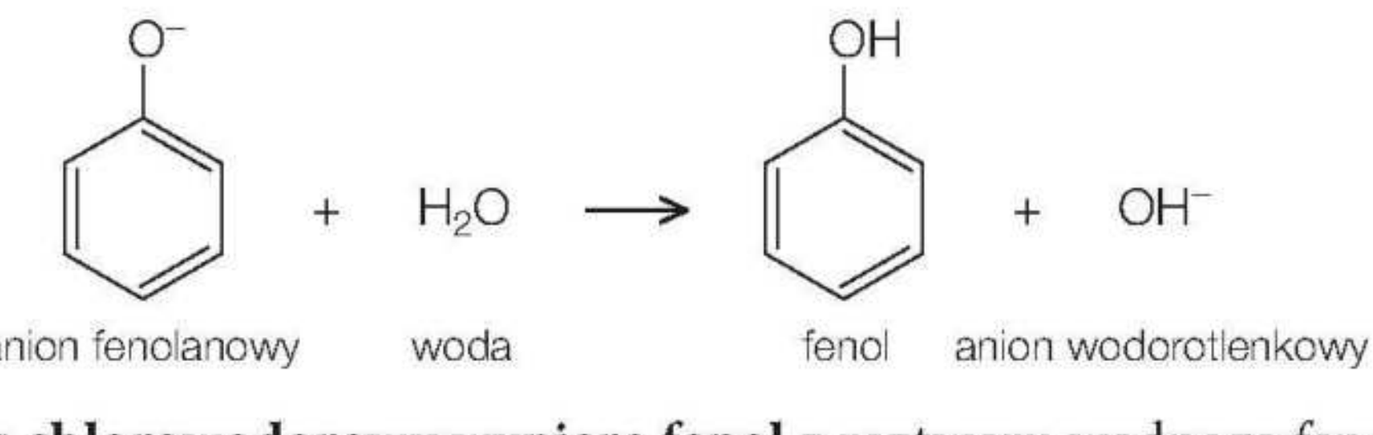


skrócony zapis jonowy



Fenolan sodu to sól słabego kwasu i mocnej zasady, więc **ulega hydrolizie** anionowej:

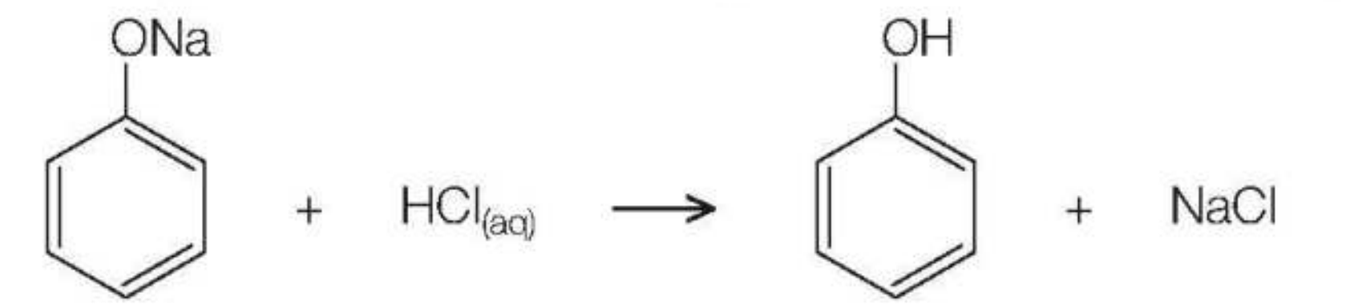
wodny roztwór fenolanu sodu ma **odczyn zasadowy**



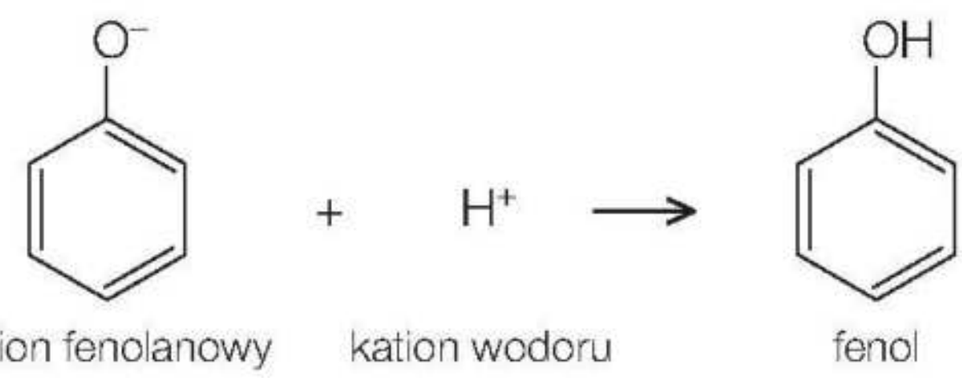
Mocny kwas (kwas chlorowodorowy) **wypiera słaby kwas** (fenol) z roztworu jego soli.

Kwas chlorowodorowy wypiera fenol z roztworu wodnego fenolanu sodu. Odczyn roztworu z zasadowego zmienia się na kwasowy:

zapis cząsteczkowy



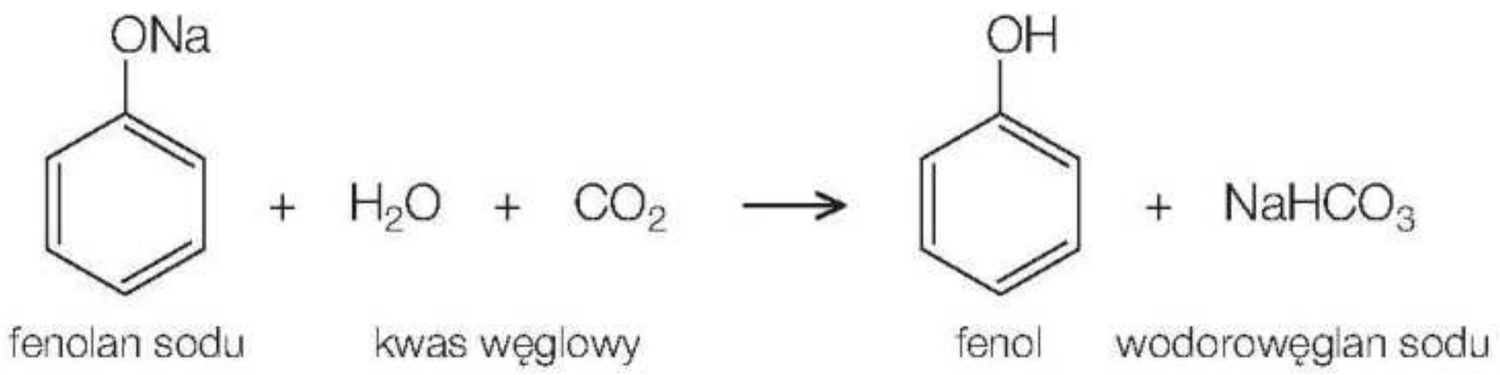
skrócony zapis jonowy

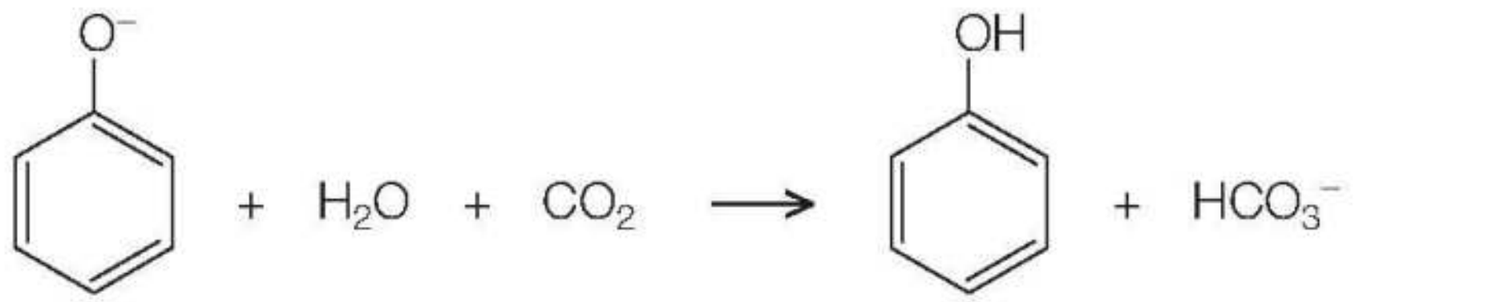


Fenol jest **słabszym kwasem od kwasu węglowego**.

Kwas węglowy ($H_2O + CO_2$ lub H_2CO_3), który jest słabym kwasem, **wypiera fenol** z jego soli – fenolanu sodu:

zapis cząsteczkowy

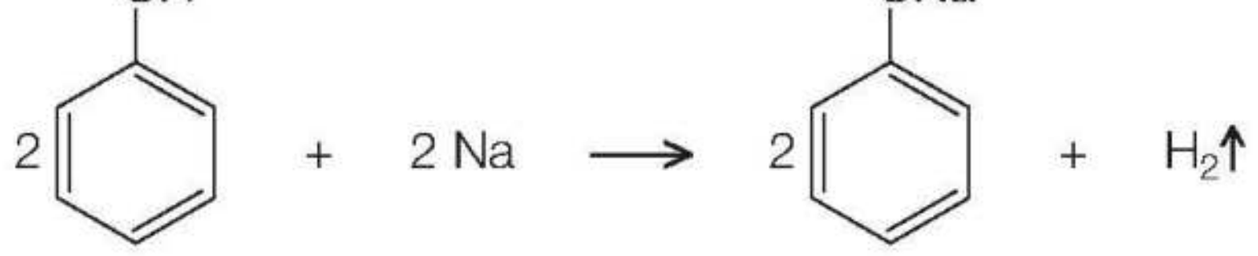




anion fenolanowy kwas węglowy fenol anion wodorowęglanowy

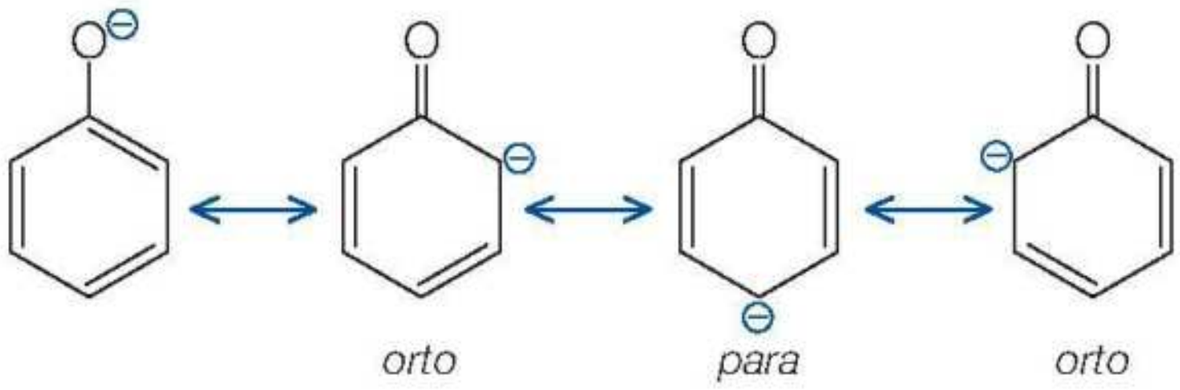
skrócony zapis jonowy

Fenol, podobnie jak alkohole, **reaguje z metalami aktywnymi** chemicznie:



fenol sód fenolan sodu wodór

Zwiększona kwasowość fenolu, w porównaniu z kwasowością alkoholi i wody, jest **spowodowana delokalizacją**, czyli przemieszczeniem się **ładunku ujemnego atomu tlenu** w anionie fenolanowym (fenoksylanowym). Ładunek ten przemieszcza się na sąsiadujące atomy węgla w pierścieniu aromatycznym. Rozproszenie ładunku w anionie fenolanowym zwiększa jego trwałość. Powoduje też łatwiejsze odszczepienie kationu wodoru od cząsteczki fenolu, czyli zwiększa jego właściwości kwasowe. Ładunek ujemny może znajdować się na atomach węgla w położeniu 1,2- (*orto*) lub 1,4- (*para*) w stosunku do atomu tlenu. Powstają cztery możliwe **struktury jonu fenolanowego**:



orto *para* *orto*

struktury jonu $C_6H_5O^-$

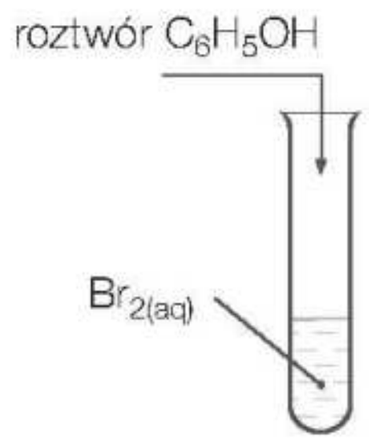
Obecność pierścienia aromatycznego powoduje, że fenole ulegają także reakcjom charakterystycznym dla węglowodorów aromatycznych.

Doświadczenie 30. C_6H_5OH $Br_{2(aq)}$

Reakcja fenolu z wodą bromową

Fenol jest toksyczny. Powoduje oparzenia skóry. Doświadczenia wykonuj pod wyciągiem, używając okularów i rękawic ochronnych.

Odczynniki: woda bromowa, wodny roztwór fenolu.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, wkraplacze, uniwersalny papierek wskaźnikowy.
Instrukcja: Do 2 cm^3 wody bromowej dodaj 1 cm^3 roztworu wodnego fenolu (schemat). Do wylotu probówki zbliż zwilżony wodą uniwersalny papierek wskaźnikowy.





Fot. 75. Woda bromowa: a) przed reakcją chemiczną, b) po dodaniu fenolu.

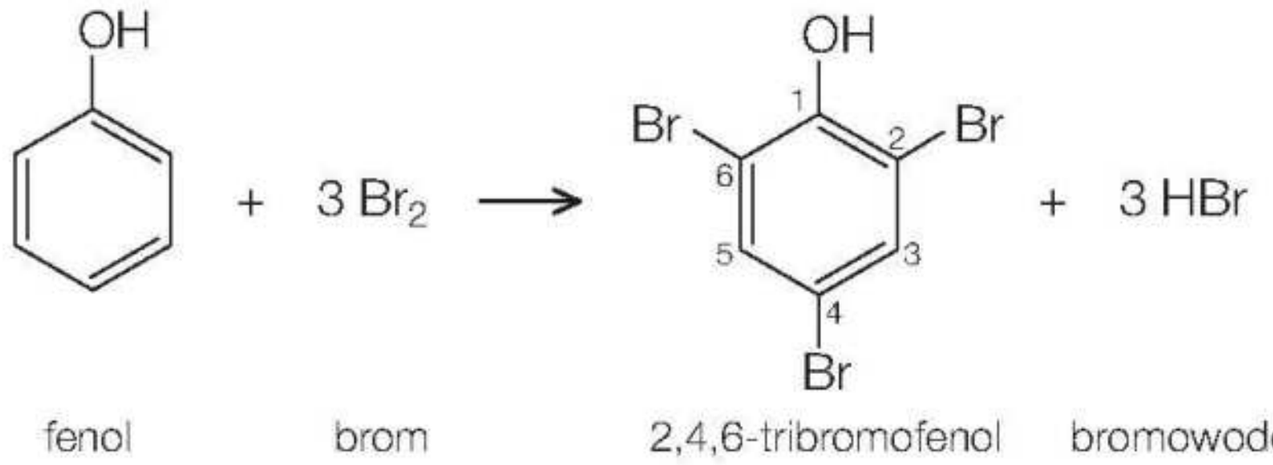
Obserwacje: Woda bromowa (fot. 75.a) odbarwia się po dodaniu fenolu (fot. 75.b). Na dnie probówki strąca się biały osad o charakterystycznym zapachu. Uniwersalny papierek wskaźnikowy zmienia barwę z żółtej na czerwoną.

Wniosek: Fenol reaguje z bromem. Zmianę barwy uniwersalnego papierka wskaźnikowego spowodował wydzielający się bromowodór.

Grupa hydroksylowa obecna w pierścieniu benzenowym w reakcji substytucji **kieruje nowy podstawnik w pozycje *orto* i *para***.

Reakcja chemiczna fenolu z bromem zaszła znacznie łatwiej niż w przypadku benzenu i nie wymagała użycia katalizatora. Wynika z tego, że **grupa hydroksylowa —OH wpływa na reaktywność pierścienia aromatycznego**.

Końcowym produktem reakcji bromowania jest 2,4,6-tribromofenol:

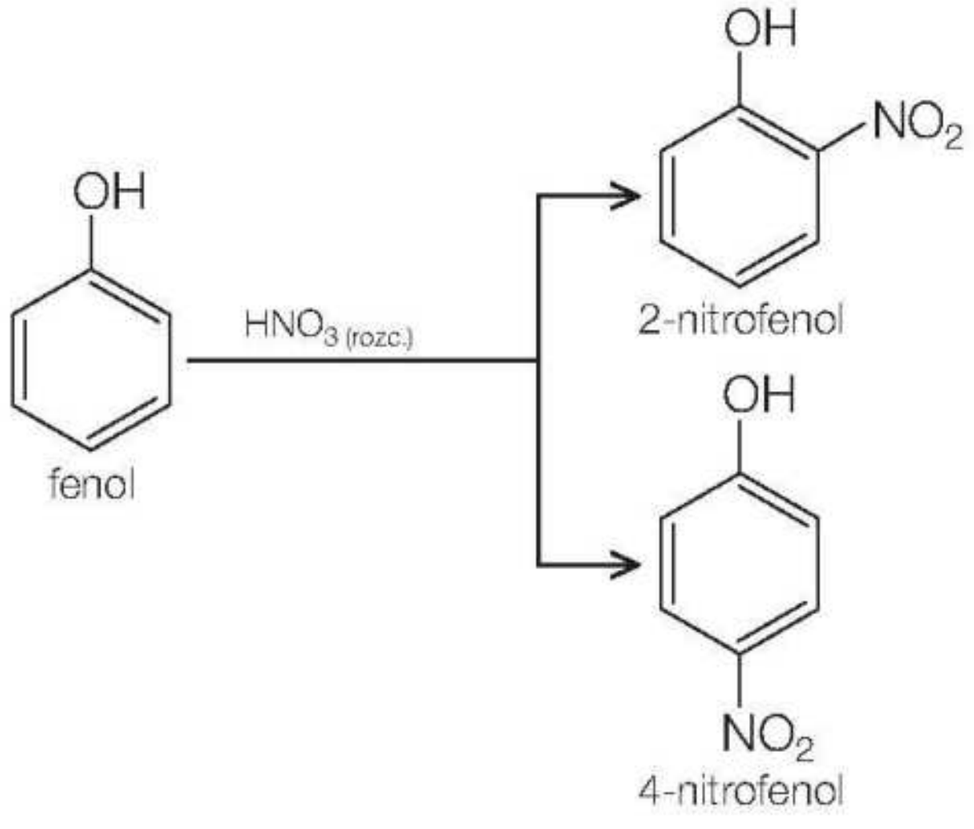


substytucja elektrofilowa

Reakcję bromowania fenolu wykorzystuje się w laboratoriach chemicznych do ilościowego oznaczania stężenia fenolu w wodzie.

Reakcja nitrowania fenolu

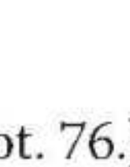
Fenol łatwo ulega też reakcji nitrowania, nawet z rozcieńczonym roztworem HNO_3. Powstaje wówczas mieszanina *o*-nitrofenolu i *p*-nitrofenolu:



substytucja elektrofilowa

W wyniku reakcji chemicznej **fenolu ze stężonym roztworem kwasu azotowego(V)** podstawieniu ulegają jednocześnie trzy atomy wodoru. Powstaje 2,4,6-trinitrofenol (kwas pikrynowy).

Reakcja charakterystyczna fenolu

Doświadczenie 31. C_6H_5OH, $FeCl_3$  C_6H_5OH

Wykrywanie fenolu – reakcja fenolu z chlorkiem żelaza(III)

Fenol jest toksyczny. Powoduje oparzenia skóry. Doświadczenia wykonuj pod wyciągiem, używając okularów i rękawic ochronnych.

Odczynniki: wodny roztwór fenolu, roztwór chlorku żelaza(III).

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, wkraplacz.

Instrukcja: Do 2 cm^3 wodnego roztworu fenolu dodaj kilka kropli nasyconego roztworu chlorku żelaza(III) (schemat).



Obserwacje: Powstał fioletowy roztwór (fot. 76.).

Wniosek: W wyniku reakcji fenolu z chlorkiem żelaza(III) powstaje związek kompleksowy o charakterystycznym zabarwieniu.



Fot. 76. Wykrywanie fenolu – roztwory, które zawierają fenol, barwią się na fioletowo.

Ta reakcja chemiczna umożliwia wykrycie nawet śladowych ilości fenolu, dlatego wykorzystuje się ją do oznaczania w wodach powierzchniowych zawartości związków, które mają grupę —OH przyłączoną bezpośrednio do pierścienia aromatycznego.

Wody powierzchniowe zanieczyszczone fenolem mają nieprzyjemny smak i zapach. Są toksyczne i rakotwórcze, dlatego **nie nadają się do spożycia** (fot. 77.).



Fot. 77. Oczyszczanie ścieków pozwala zapobiegać zanieczyszczeniu wód fenolem.

Porównanie właściwości alkoholi i fenoli

Alkohole i fenole to odrębne grupy związków organicznych, mimo że mają taką samą grupę funkcyjną —OH. Najważniejsze właściwości tych grup związków chemicznych zestawiono w tabeli 20.

Tabela 20. Porównanie wybranych właściwości alkoholi i fenoli

Nazwa grupy związków organicznych	alkohole	fenole
Wzór i nazwa grupy funkcyjnej	—OH grupa hydroksylowa	—OH grupa hydroksylowa
Rodzaj grupy węglowodorowej	alkilowa	arylowa
Wzór ogólny związku monohydroksylowego	R—OH	Ar—OH
Wzór i nazwa przedstawiciela grupy	CH_3OH metanol	C_6H_5OH fenol
Dysocjacja	nie dysocjują	dysocjują z odszczepieniem kationu wodoru H^+ z grupy hydroksylowej —OH
Reakcja z fluorowcowodorami	reagują – powstają fluorowcopochodne węglowodorów alifatycznych	nie reagują
Reakcja z metalami aktywnymi chemicznie	reagują – powstają alkoholany	reagują – powstają fenolany
Charakter aromatyczny	alkohole alkilowe nie wykazują	wykazują – ulegają reakcjom: ▸ nitrowania ▸ sulfonowania ▸ fluorowcowania
Charakter kwasowy	bardzo słaby u alkoholi monohydroksylowych, nie reagują z wodorotlenkami	wyraźny – reagują z wodorotlenkami
Reakcja charakterystyczna	▸ reakcja chemiczna z $Cu(OH)_2$ charakterystyczna dla alkoholi polihydroksylowych, które mają grupę —OH przy sąsiednich atomach węgla ▸ reakcja chemiczna z $K_2Cr_2O_7$ w środowisku kwasowym charakterystyczna dla CH_3CH_2OH	reakcja z $FeCl_3$ charakterystyczna dla fenoli

Zastosowania

Fenole

Tworzywa sztuczne, takie jak fenoplasty, powstają w wyniku kondensacji fenoli i formaldehydu. Natomiast fenol i 2-metylofenol są wykorzystywane do produkcji m.in. detergentów, herbicydów i barwników.



Przemysł rolniczy

Tymol, który ma właściwości insektobójcze, jest składnikiem **preparatów zwalczających roztocza**, które wywołują choroby m.in. u pszczół miodnych.



Przemysł chemiczny

Błękit bromofenolowy to jeden z powszechnie używanych **wskaźników kwasowo-zasadowych**. W roztworach o pH mniejszym lub równym 3,0 ma barwę żółtą, natomiast jeśli pH roztworu jest wyższe niż 4,6 – barwi się na granatowofioletowo.

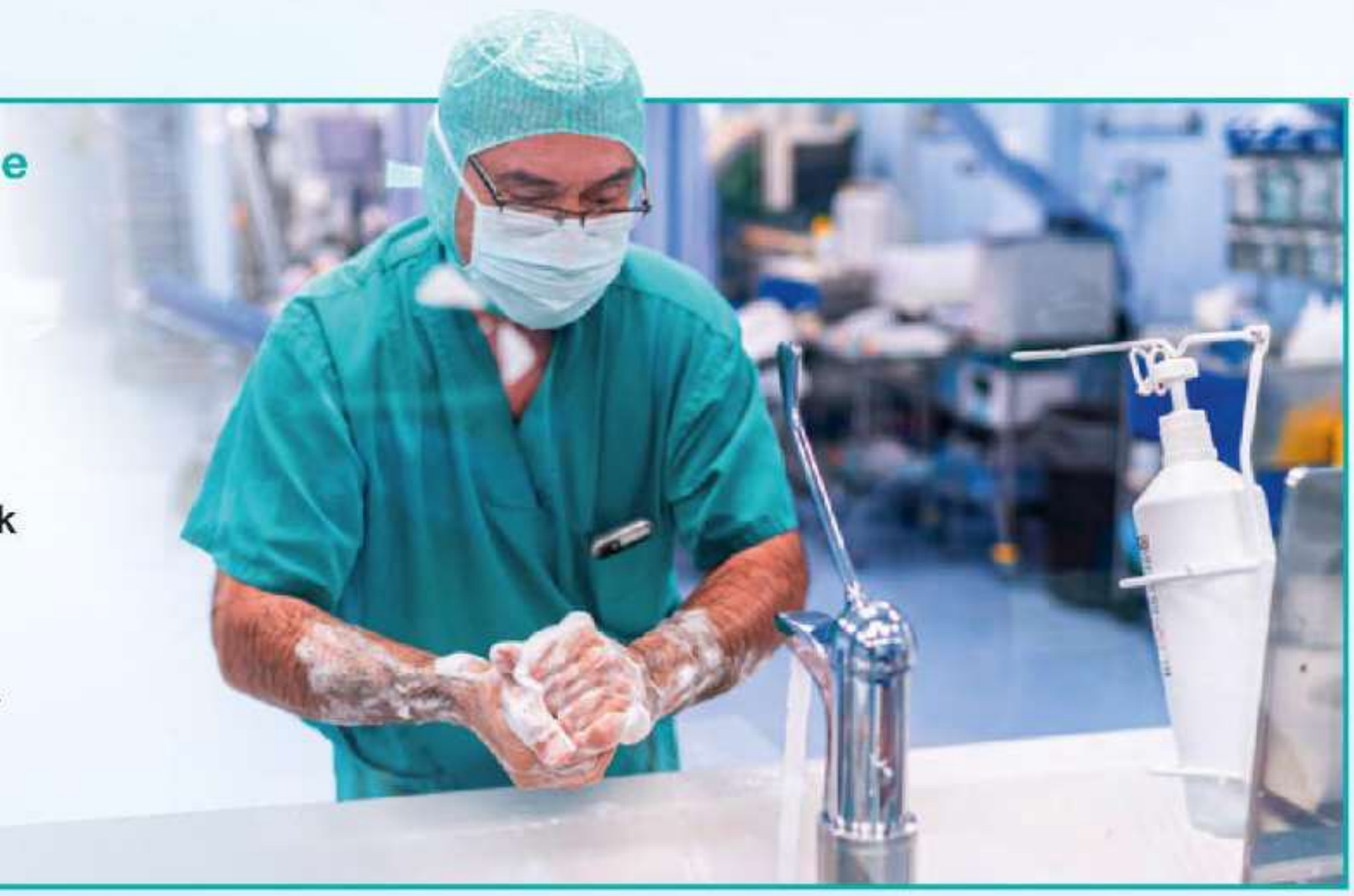


Przemysł tworzyw sztucznych

Fenoplasty otrzymuje się w procesie obróbki żywic fenolowo-formaldehydowych. Wykorzystuje się je do produkcji m.in. **kul bilardowych**.

Chemia w medycynie

Triklosan działa antyseptycznie, przeciwbakteryjnie i konserwująco. Jest **składnikiem substancji używanych do mycia rąk** przed zabiegami chirurgicznymi oraz preparatów do odkażania narzędzi medycznych.



Zadania

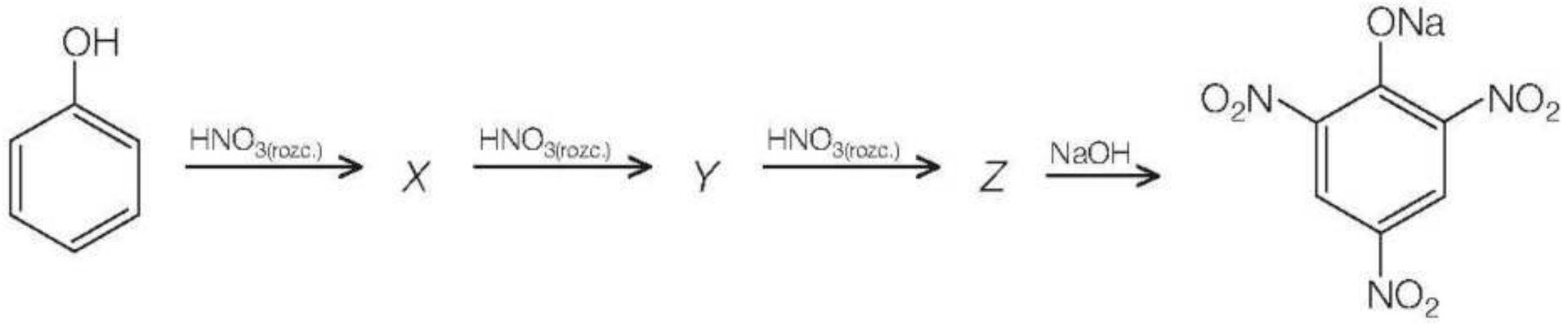
ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Uszereguj podane substancje zgodnie ze wzrostem ich charakteru kwasowego.

a) kwas chlorowodorowy
b) fenol
c) glicerol
d) kwas węglowy
e) glikol etylenowy
f) propan-1-ol

2. Określ odczyn wodnego roztworu fenolanu potasu. Odpowiedź uzasadnij, pisząc odpowiednie równanie reakcji chemicznej.

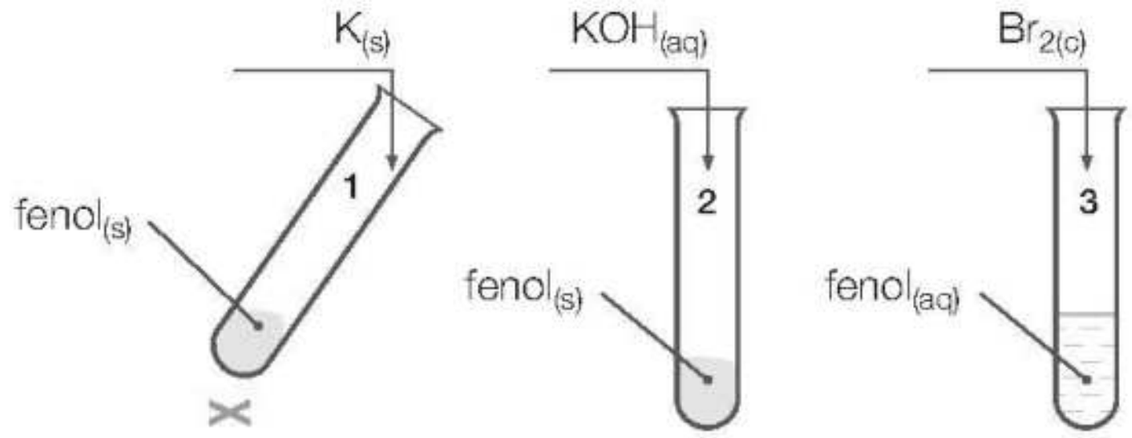
3. Podaj wzory sumaryczne lub symbole chemiczne oraz nazwy związków chemicznych oznaczonych literami *X*, *Y* i *Z*. Napisz odpowiednie równania reakcji chemicznych.



4. Zaproponuj sposób otrzymania fenolu, mając do dyspozycji karbid (węglik wapnia), wodę, chlor, wodorotlenek sodu i kwas chlorowodorowy. Napisz odpowiednie równania reakcji chemicznych.

Informacja do zadań 5. i 6.

Uczeń przeprowadził doświadczenie, w którym badał właściwości chemiczne fenolu. Przebieg tego doświadczenia zilustrowano na schemacie. Podczas doświadczenia uczeń zaobserwował w każdej z probówek zmiany świadczące o przebiegu reakcji chemicznej.



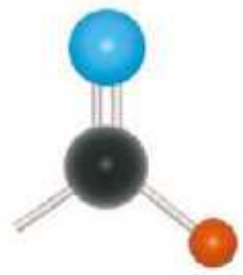
5. Uzupełnij tabelę, wpisując przy każdym stwierdzeniu numery wszystkich probówek spośród 1.–3., których dotyczy to stwierdzenie, lub wstawiając znak „–”, jeżeli nie dotyczy ono żadnej probówki. Numery probówek mogą się powtarzać.

Stwierdzenie	Numery probówek, których dotyczy stwierdzenie
Zachodzi proces substytucji nukleofilowej.	?
Zachodzącą reakcję chemiczną można zaliczyć do procesów utleniania-redukcji.	?
Produktem reakcji jest związek chemiczny o budowie jonowej.	?

6. Uczeń wykonujący opisane doświadczenie wysunął hipotezę, że etanol – podobnie jak fenol – reaguje również z metalicznym potasem oraz z zasadą potasową. **Oceń poprawność tej hipotezy. Uzasadnij swoją odpowiedź.**

17. Aldehydy – karbonylowe związki organiczne

Aldehydy i ketony (patrz s. 212) należą do związków karbonylowych. Ich cechą charakterystyczną jest obecność grupy karbonylowej >C=O. W aldehydach grupa ta łączy się z atomem wodoru i grupą węglowodorową (rys. 39.).



Rys. 39. Model grupy aldehydowej, która jest grupą funkcyjną aldehydów.

Modele atomów:
węgla, tlenu, wodoru

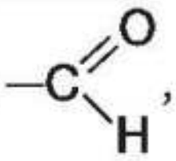
Występowanie aldehydów

Aldehydy są bardzo rozpowszechnione w środowisku przyrodniczym. Często mają przyjemne zapachy, dlatego od dawna dodawane były do olejków, mydeł, kremów czy perfum. Cytrynowy zapach, charakterystyczny dla olejku eterycznego pozyskiwanego z trawy cytrynowej czy liści mirtu cytrynowego, pochodzi od cytralu $C_{10}H_{16}O$. Aldehyd ten występuje w postaci mieszaniny izomerów *Z* (o nazwie neral) i *E* (o nazwie geranial). Z kolei z liści, korzeni i kory cynamonowca cejlońskiego oraz cynamonowca wonnego pozyskuje się olejek, któremu cynamonowy zapach i korzenny smak nadaje aldehyd cynamonowy C_9H_8O. Etanal C_2H_4O jest jednym z aldehydów występujących w palonych ziarnach kawy (fot. 78.).

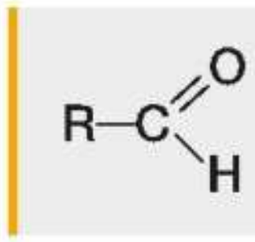


Fot. 78. W palonych ziarnach kawy znajduje się etanal.

Budowa cząsteczek aldehydów

Aldehydy (alkanale) to pochodne węglowodorów, których cząsteczki zawierają grupę funkcyjną  , czyli **grupę aldehydową**.

Wzór ogólny aldehydów:

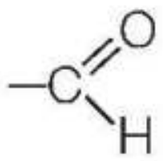


Wzór ogólny aldehydów

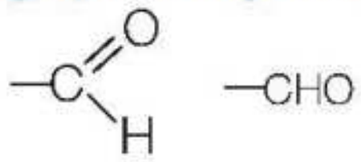
Aldehydy – związki chemiczne, w których z grupą karbonylową są połączone grupa węglowodorowa i atom wodoru.

gdzie:

—R – grupa węglowodorowa (np. alkilowa lub arylowa),

 – grupa aldehydowa.

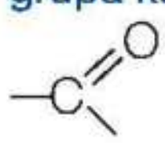
grupa aldehydowa

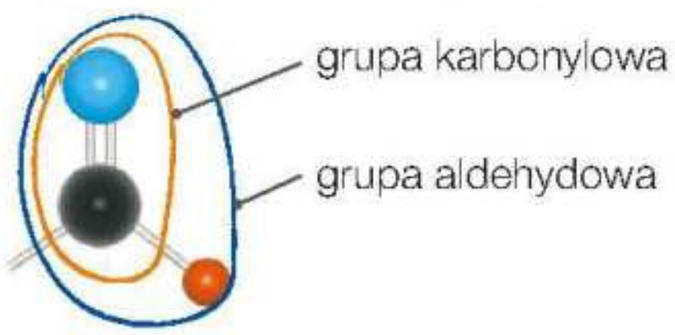


—CHO

W skład grupy aldehydowej wchodzi **grupa karbonylowa**:

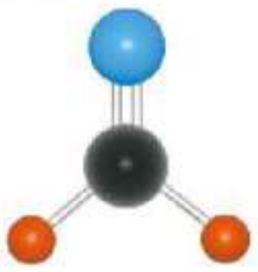
grupa karbonylowa



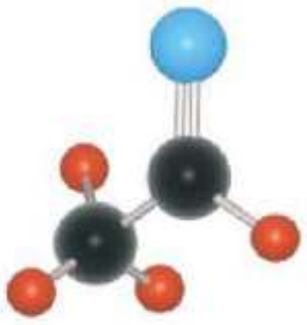


Nazewnictwo aldehydów

model cząsteczki metanalu



model cząsteczki etanalu



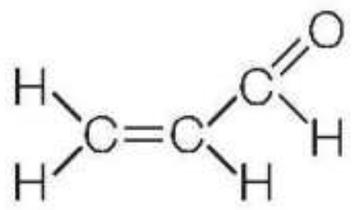
Modele atomów:
węgla tlenu
wodoru

Nazwa „aldehydy" wywodzi się z języka łacińskiego i oznacza alkohol odwodorniony (łac. *alcohol dehydrogenatus* – alkohol pozbawiony wodoru).

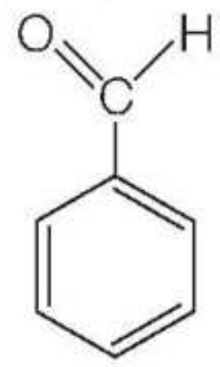
Nazwy systematyczne aldehydów tworzy się przez dodanie końcówki **-al** do nazwy węglowodoru o takiej samej liczbie atomów węgla w cząsteczce, łącznie z atomem węgla w grupie aldehydowej:

CH_4	HCHO	C_2H_6	CH_3CHO
metan	metan**al**	etan	etan**al**

Oprócz aldehydów pochodzących od alkanów wyróżnia się także aldehydy pochodzące od węglowodorów nienasyconych lub aromatycznych, np.:

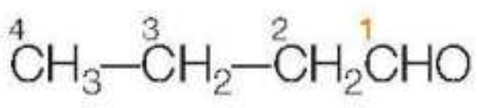


propen**al**

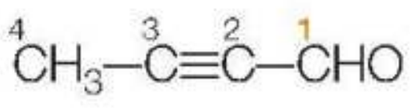


benzenokarboaldehyd
(benzaldehyd)

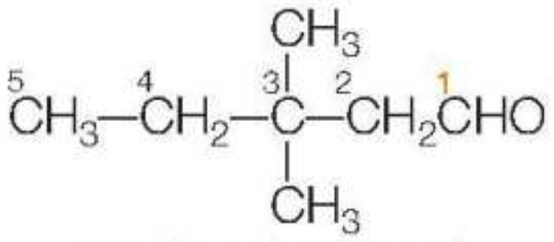
W przypadku aldehydów **nie podaje się lokantu** określającego położenie grupy funkcyjnej, gdyż to od niej rozpoczyna się numerowanie atomów węgla w łańcuchu głównym. **Atom węgla w grupie aldehydowej** ma zawsze **lokant 1**, np.:



butanal

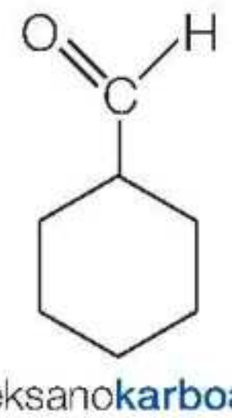


but-2-ynal

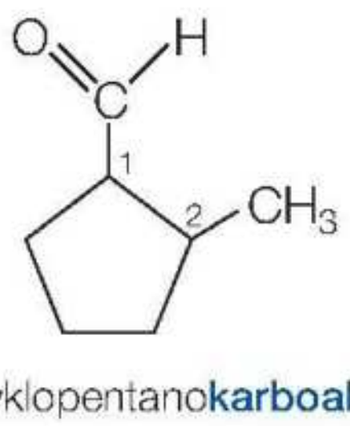


3,3-dimetylopentanal

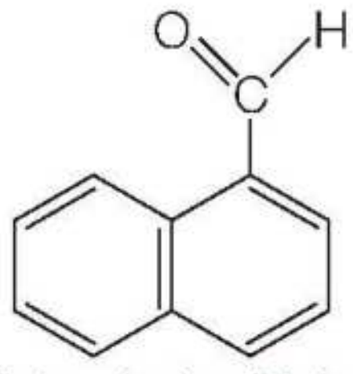
W nazewnictwie aldehydów cyklicznych i aromatycznych **grupę aldehydową związaną z pierścieniem traktuje się jako podstawnik** i określa przyrostkiem **-karboaldehyd**. Numeruje się tylko atomy węgla w pierścieniu, np.:



cykloheksano**karboaldehyd**



2-metylocyklopentano**karboaldehyd**



naftaleno**karboaldehyd**

Szereg homologiczny aldehydów

Pierwszym związkiem chemicznym w szeregu homologicznym aldehydów jest **metanal**, nazywany też **formaldehydem** lub **aldehydem mrówkowym** (łac. *formica* – mrówka). W przypadku metanalu **nie można zastosować wzoru ogólnego aldehydów**, ponieważ w jego cząsteczce zamiast grupy węglowodorowej występuje atom wodoru.

metanal $HCHO$

Drugim homologiem w szeregu aldehydów jest **etanal**, nazywany **aldehydem octowym**. W przypadku aldehydów często stosuje się nazwy zwyczajowe (zamiast systematycznych) pochodzące od nazw zwyczajowych odpowiednich kwasów karboksylowych (tabela 21.).

etanal CH_3CHO

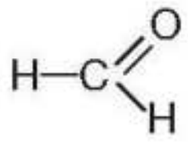
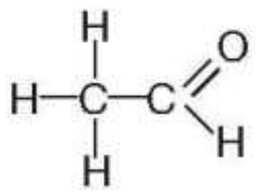
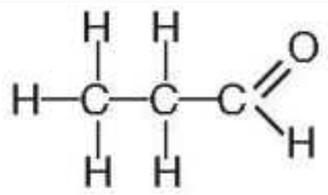
Na podstawie wzorów z szeregu homologicznego nasyconych aldehydów alifatycznych można wyprowadzić wzór ogólny tych związków chemicznych:

$$C_nH_{2n+1}CHO$$

Wzór ogólny nasyconych aldehydów alifatycznych

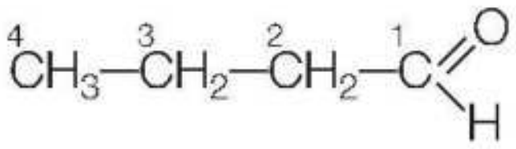
gdzie:
n – liczba naturalna; liczba atomów węgla w grupie węglowodorowej; $n \geq 0$.

Tabela 21. Wzory oraz nazwy wybranych aldehydów

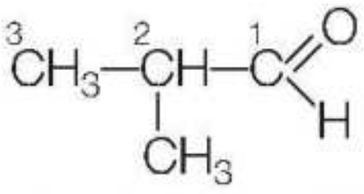
Wzór sumaryczny i nazwa systematyczna aldehydu	Liczba atomów węgla w cząsteczce	Wzór strukturalny aldehydu	Nazywa zwyczajowa aldehydu
CH_2O metanal	1		formaldehyd aldehyd mrówkowy
C_2H_4O etanal	2		acetaldehyd aldehyd octowy
C_3H_6O propanal	3		aldehyd propionowy

Izomeria konstytucyjna aldehydów

W aldehydach występuje izomeria szkieletowa, ponieważ grupa aldehydowa może być związana zarówno z łańcuchem prostym (nierozgałęzionym), jak i z łańcuchem rozgałęzionym, np.:



butanal



2-metylopropanal

izomery C_4H_8O

Izomery aldehydów mają taki sam wzór sumaryczny, ale różnią się budową szkieletu oraz właściwościami fizycznymi.

W związkach karbonylowych występuje także **izomeria funkcyjna** – izomery mają taki sam wzór sumaryczny, lecz różnią się budową grupy funkcyjnej (patrz s. 123).

Otrzymywanie aldehydów

Doświadczenie 32. CH_3CHO, CH_3CH_2OH CH_3CHO

Otrzymywanie etanalu

Produkt tej reakcji chemicznej jest toksyczny, drażni błony śluzowe i powoduje łzawienie.

Odczynniki: drut miedziany, etanol.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: palnik, probówki.
Instrukcja: Drut miedziany ogrzewaj w płomieniu palnika do czerwoności, a następnie ostudź. Ogrzej drut ponownie i włóż do probówki z 2 cm^3 etanolu (schemat).



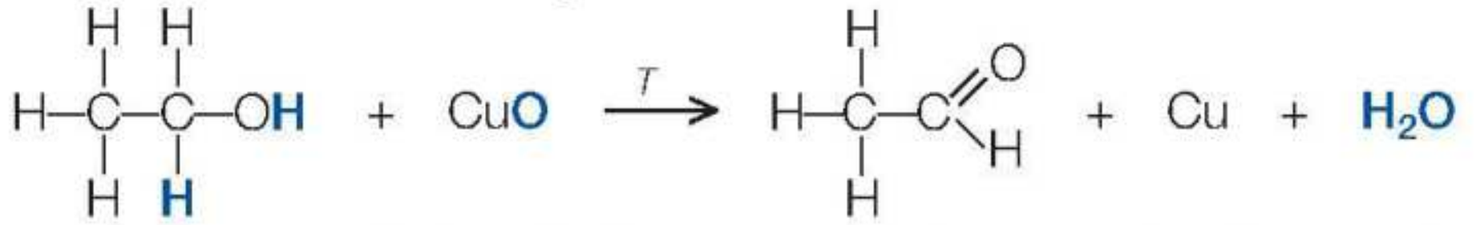


Fot. 79. Otrzymywanie etanalu.

Obserwacje: Podczas ogrzewania drut miedziany pokrył się czarnym nalotem. Po zanurzeniu w etanolu czarny nalot zanikł, a drut zmienił barwę na ceglastoczerwoną (fot. 79.). Zawartość probówki zmieniła zapach.
Wniosek: Czarny nalot jest to tlenek miedzi(II) CuO, który jest produktem utleniania miedzi. Pod wpływem CuO etanol utlenił się do etanalu, a miedź w tlenku miedzi(II) uległa redukcji do metalicznej miedzi.

Po umieszczeniu w etanolu miedzianego drutu pokrytego warstwą tlenku miedzi(II) zaszła reakcja chemiczna:

otrzymywanie CH_3CHO



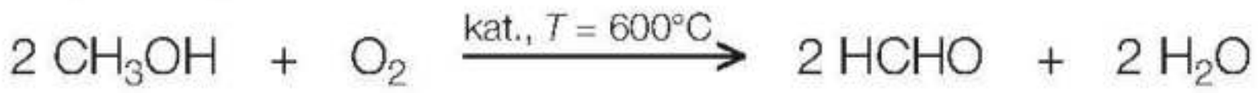
etanol — tlenek miedzi(II) — etanal — miedź — woda

Reakcja utleniania alkoholi pierwszorzędowych jest podstawową metodą otrzymywania aldehydów.

Aldehydy powstają w wyniku utleniania alkoholi pierwszorzędowych. Czynnikiem utleniającym może być nawet słaby utleniacz, jakim jest CuO, lub tlen w obecności katalizatora.

Na skalę przemysłową metanal otrzymuje się najczęściej w wyniku **katalitycznego utlenienia metanolu**:

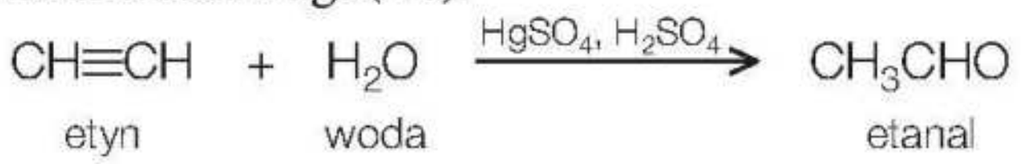
otrzymywanie HCHO



metanol — tlen — metanal — woda

Niektóre aldehydy o dużym znaczeniu przemysłowym produkuje się specyficznymi metodami, charakterystycznymi dla poszczególnych związków chemicznych. Na przykład etanal otrzymuje się w **reakcji uwodnienia etynu** (acetylenu) w obecności siarczanu(VI) rtęci(II) i kwasu siarkowego(VI):

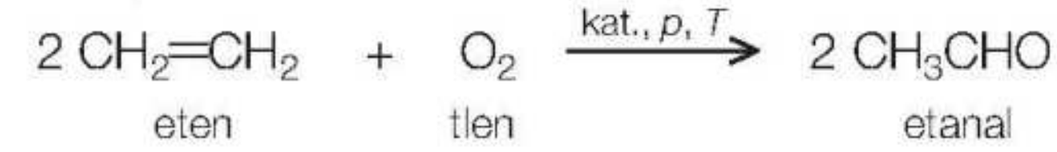
otrzymywanie CH_3CHO



etyn — woda — etanal

Obecnie do otrzymywania etanalu stosuje się częściej **utlenianie etenu** (etylenu) w obecności katalizatorów:

otrzymywanie CH_3CHO



eten — tlen — etanal

Właściwości aldehydów

Doświadczenie 33. CH_3CHO

Badanie właściwości etanalu

Produkt tej reakcji chemicznej jest toksyczny, drażni błony śluzowe i powoduje łzawienie.

Odczynniki: roztwór etanalu.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: uniwersalny papierek wskaźnikowy, probówka.

Instrukcja: Sprawdź barwę, zapach i odczyn roztworu wodnego etanalu. Odczyn sprawdź za pomocą uniwersalnego papierka wskaźnikowego.



Obserwacje: Etanal jest cieczą o drażniącym zapachu. W roztworze wodnym etanalu uniwersalny papierek wskaźnikowy nie zmienia barwy.
Wniosek: Etanal jest bezbarwną, rozpuszczalną w wodzie cieczą o mocnym zapachu. Brak zmiany barwy uniwersalnego papierka wskaźnikowego świadczy o odczynie obojętnym roztworu, zatem etanal **nie ulega dysocjacji elektrolitycznej**.

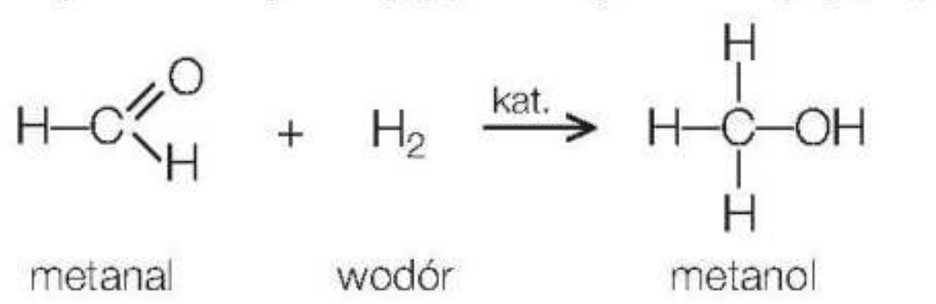
Metanal HCHO – pierwszy w szeregu homologicznym aldehydów – w warunkach normalnych jest gazem o ostrym, charakterystycznym zapachu. Bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie. **Jego 40-procentowy roztwór to formalina** (fot. 80.) – bezbarwna, lotna ciecz o drażniącym zapachu.

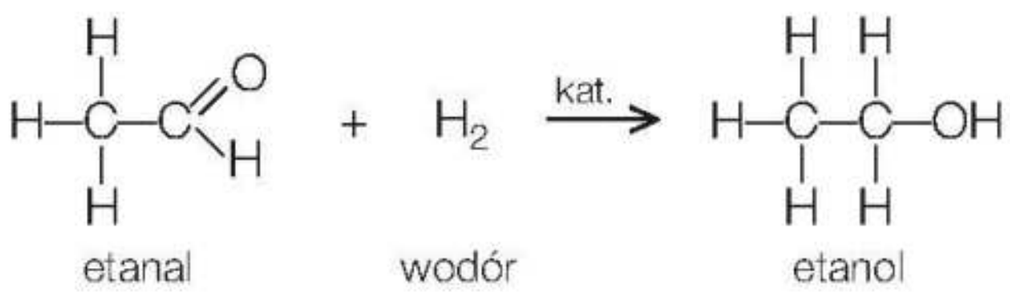
Kolejne aldehydy w szeregu homologicznym są cieczami. Roztwory wodne tych związków chemicznych mają odczyn obojętny.

Właściwości aldehydów zależą od rodzaju grupy węglowodorowej połączonej z grupą funkcyjną, ale przede wszystkim wynikają z obecności grupy karbonylowej, wchodzącej w skład grupy aldehydowej.

Różnica elektroujemności między atomem tlenu a atomem węgla w grupie karbonylowej powoduje przesunięcie chmury elektronowej wiązania w kierunku tlenu. Jest to przyczyną silnej polaryzacji wiązania i oddziaływań typu dipol–dipol między cząsteczkami aldehydów.

Obecność wiązania podwójnego w grupie karbonylowej powoduje, że aldehydy, podobnie jak alkeny, ulegają reakcjom addycji, np. z wodorem:



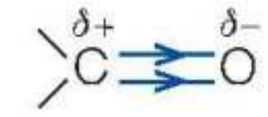


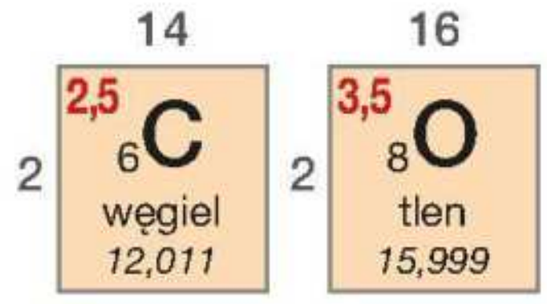
addycja H_2



Fot. 80. Formalinę stosuje się do konserwacji preparatów zwierzęcych.

Metanal jest związkiem toksycznym. Drażni błony śluzowe i powoduje łzawienie.





Reakcje charakterystyczne aldehydów

Doświadczenie 34.



Zachowaj szczególną ostrożność. Doświadczenie wykonuj pod wyciągiem.

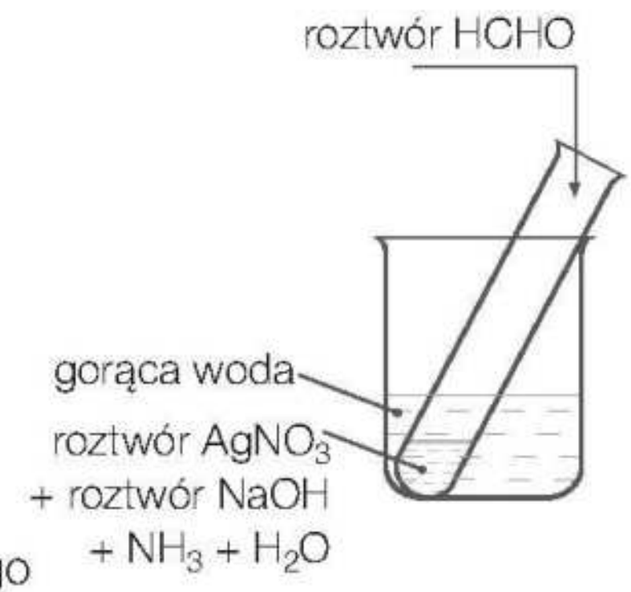
Należy stosować świeżo otrzymane roztwory amoniakalne, ponieważ w tych, które są przechowywane przez dłuższy czas, mogą powstać wybuchowe związki srebra.

Reakcja metanalu z amoniakalnym roztworem tlenku srebra(I) – próba Tollensa

Odczynniki: roztwór azotanu(V) srebra(I), roztwór wodorotlenku sodu, wodny roztwór amoniaku, roztwór metanalu, woda.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, bagietka, wkraplacz, zlewka.

Instrukcja: Do probówki wlej 3 cm^3 rozcieńczonego roztworu azotanu(V) srebra(I). Dodaj kilka kropli stężonego roztworu wodorotlenku sodu. Następnie, ciągle mieszając, dodawaj kroplami wodny roztwór amoniaku aż do rozpuszczenia się osadu (nie należy dodawać nadmiaru roztworu wodnego amoniaku). Dodaj do probówki kilka kropli roztworu formaliny (roztwór wodny metanalu) i umieść ją w zlewce z gorącą wodą (schemat).





Fot. 81. Próba Tollensa.

odczynnik Tollensa – amoniakalny roztwór tlenku srebra(I)

Obserwacje: Po dodaniu roztworu wodorotlenku sodu do roztworu azotanu(V) srebra(I) strąca się brunatny osad, który zanika w miarę dodawania wodnego roztworu amoniaku. Po dodaniu formaliny i lekkim ogrzaniu na ściankach probówki osadza się srebrna warstwa (fot. 81.).

Wniosek: Po dodaniu roztworu metanalu do otrzymanego roztworu i ogrzaniu aldehyd utlenia się, a jony srebra redukują się z I stopnia utlenienia **do metalicznego srebra**, które pokrywa ścianki probówki, tworząc tzw. lustro srebrne.

Przebieg tych reakcji chemicznych przedstawiają równania:

$$\underset{\text{kation srebra(I)}}{2\,Ag^+} + \underset{\text{anion wodorotlenkowy}}{2\,OH^-} \longrightarrow \underset{\text{tlenek srebra(I)}}{Ag_2O\downarrow} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

Osad tlenku srebra(I) rozpuszcza się w wodnym roztworze amoniaku, tworząc związek kompleksowy – **wodorotlenek diaminasrebra(I)**, który w wodzie występuje w formie zdysocjowanej:

$$\underset{\text{tlenek srebra(I)}}{Ag_2O} + \underset{\text{amoniak}}{4\,NH_{3(aq)}} + \underset{\text{woda}}{H_2O} \longrightarrow \underset{\substack{\text{kation}\\\text{diaminasrebra(I)}}}{2\,[Ag(NH_3)_2]^+} + \underset{\substack{\text{anion}\\\text{wodorotlenkowy}}}{2\,OH^-}$$

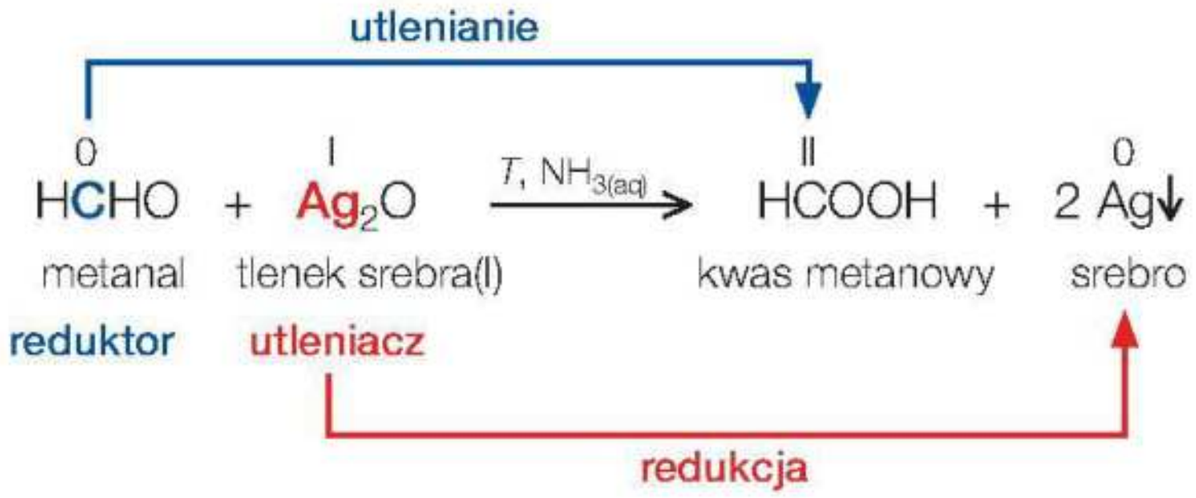
Reakcja chemiczna przebiega w środowisku zasadowym, dlatego w roztworze poreakcyjnym znajdują się aniony odpowiedniego kwasu karboksylowego:

$$\underset{\substack{\text{kation}\\\text{diaminasrebra(I)}}}{2\,[Ag(NH_3)_2]^+} + \underset{\text{metanal}}{HCHO} + \underset{\substack{\text{anion}\\\text{wodorotlenkowy}}}{3\,OH^-} \longrightarrow \underset{\text{srebro}}{2\,Ag\downarrow} + \underset{\substack{\text{anion}\\\text{metanianowy}}}{HCOO^-} + \underset{\text{amoniak}}{4\,NH_3} + \underset{\text{woda}}{2\,H_2O}$$

Ostatnia reakcja chemiczna przebiega etapowo.

Na ściankach probówki osadza się metaliczne srebro, tworząc lustro. Stąd inna nazwa tej reakcji chemicznej – **reakcja lustra srebrnego**.

Dla uproszczenia przyjmuje się, że metanal reaguje z Ag_2O:



Próba Tollensa jest przykładem reakcji utleniania-redukcji. Metanal ma właściwości redukujące, ponieważ zredukował srebro z I stopnia utlenienia do 0, sam przy tym został utleniony do kwasu mrówkowego. Reakcję lustra srebrnego wykorzystuje się do identyfikacji aldehydów oraz do produkcji luster i ozdób choinkowych (fot. 82.).



Fot. 82. Srebrną warstwę na ozdobach choinkowych otrzymuje się dzięki redukującym właściwościom aldehydów.

próba Tollensa

Próba Tollensa – utlenienie aldehydu do kwasu karboksylowego oraz redukcja srebra na I stopniu utlenienia do srebra metalicznego.

Doświadczenie 35. HCHO, NaOH $CuSO_4$ HCHO

Reakcja metanalu z wodorotlenkiem miedzi(II) – próba Trommera

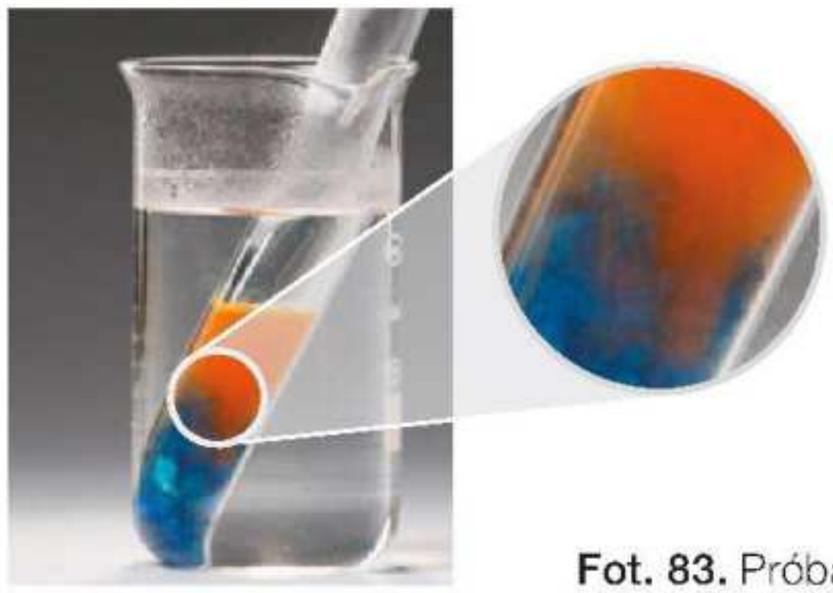
Odczynniki: roztwór siarczanu(VI) miedzi(II), roztwór wodorotlenku sodu, roztwór metanalu, gorąca woda.

Szkło laboratoryjne: probówka, zlewka.

Instrukcja: Do probówki zawierającej ok. 3 cm^3 rozcieńczonego roztworu siarczanu(VI) miedzi(II) dolewaj roztwór wodorotlenku sodu aż do strącenia się osadu. Następnie dodaj ok. 1 cm^3 formaliny (roztwór wodny metanalu). Ogrzewaj probówkę w zlewce z gorącą wodą (schemat).



Zachowaj szczególną ostrożność. Doświadczenie wykonuj pod wyciągiem.



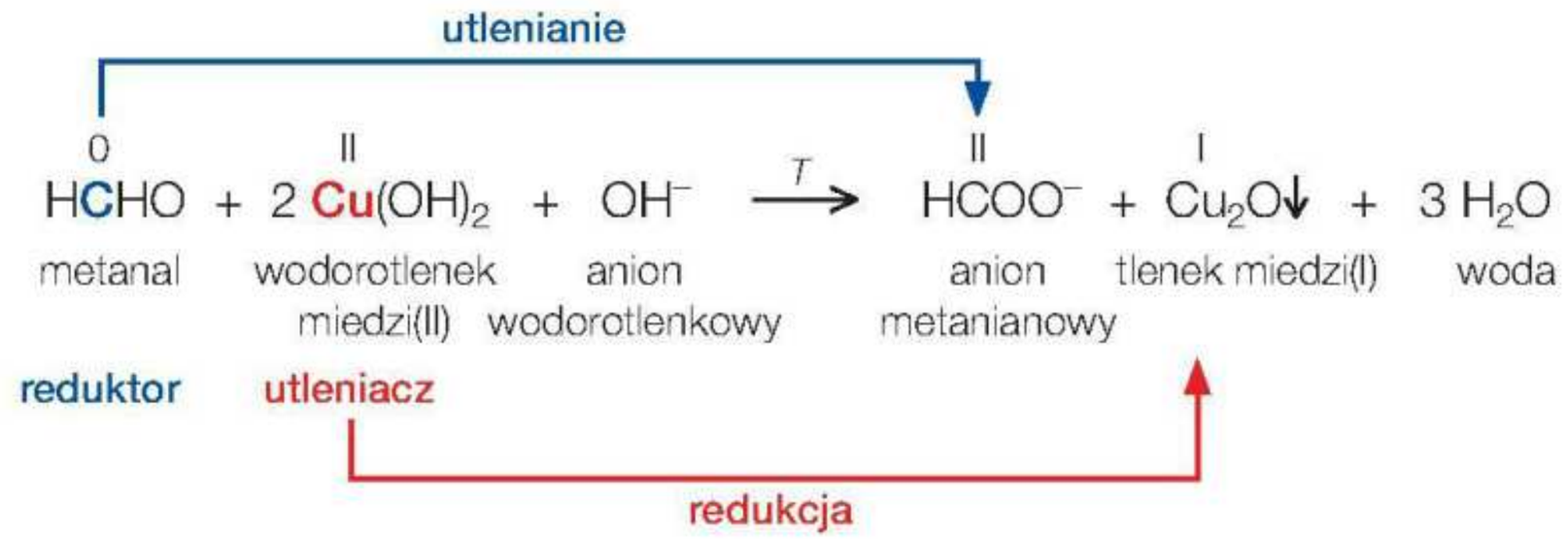
Fot. 83. Próba Trommera.

odczynnik Trommera – wodorotlenek miedzi(II)

Obserwacje: Po dodaniu wodnego roztworu NaOH strąca się niebieski osad, który zmienia barwę na ceglastoczerwoną po dodaniu roztworu metanalu i ogrzaniu probówki (fot. 83.).
Wniosek: Niebieski osad jest to wodorotlenek miedzi(II) $Cu(OH)_2$. Ceglastoczerwony osad jest to tlenek miedzi(I) Cu_2O. Metanal w reakcji chemicznej z wodorotlenkiem miedzi(II) zredukował miedź z II do I stopnia utlenienia, a sam utlenił się.

Przebieg reakcji chemicznej przedstawia równanie:

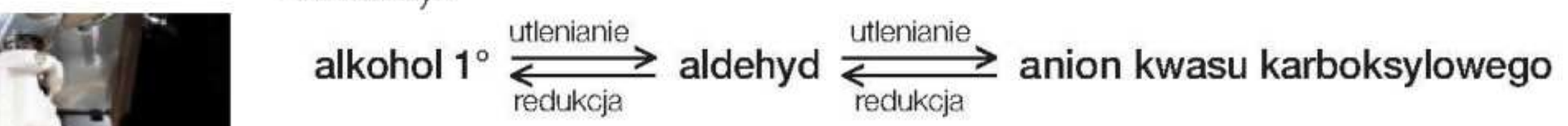
próba Trommera



Próba Trommera – utlenienie aldehydu oraz redukcja wodorotlenku miedzi(II).

Dzięki obecności grupy aldehydowej –CHO aldehydy mają właściwości redukujące (próby Tollensa i Trommera), same przy tym utleniają się.

Wiedząc, że aldehydy powstają przez utlenianie alkoholi pierwszorzędowych, można zapisać następujący schemat procesów utleniania-redukcji:



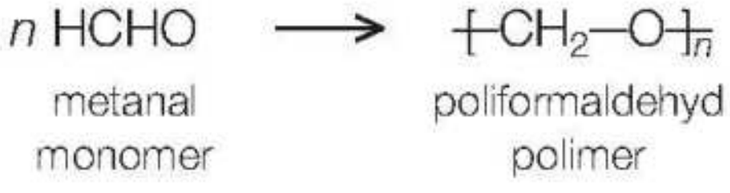


Fot. 84. Poliformaldehyd stosuje się do produkcji elementów sprzętu kuchennego, np. robotów.

Polimeryzacja i polikondensacja aldehydów

Obecność wiązania podwójnego w grupie karbonylowej powoduje, że cząsteczki aldehydów łączą się ze sobą w **reakcji polimeryzacji** oraz z cząsteczkami innych związków chemicznych w **reakcji polikondensacji**.

Zdolność do polimeryzacji wykazują tylko najprostsze aldehydy. Szczególnie łatwo polimeryzuje metanal, tworząc **poliformaldehyd**:



gdzie $n = 8–100$.

Ogrzany poliformaldehyd ulega **depolimeryzacji**, czyli reakcji odwrotnej do reakcji polimeryzacji. Tę reakcję chemiczną wykorzystuje się do otrzymywania gazowego aldehydu mrówkowego:

$$\underset{\text{poliformaldehyd}}{+CH_2-O+_n} \xrightarrow{T} \underset{\text{metanal}}{n\ HCHO}$$

Poliformaldehyd to cenny polimer odporny na uszkodzenia mechaniczne i wysoką temperaturę (patrz fot. 84., s. 208).

Reakcja polikondensacji

Doświadczenie 36.


HCHO, NaOH, C_6H_5OH

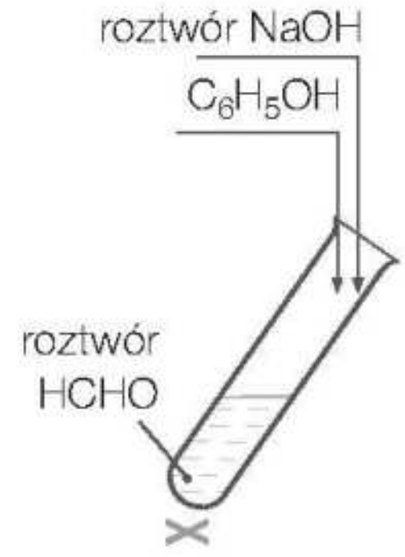
HCHO, C_6H_5OH

HCHO

C_6H_5OH

Reakcja metanalu z fenolem

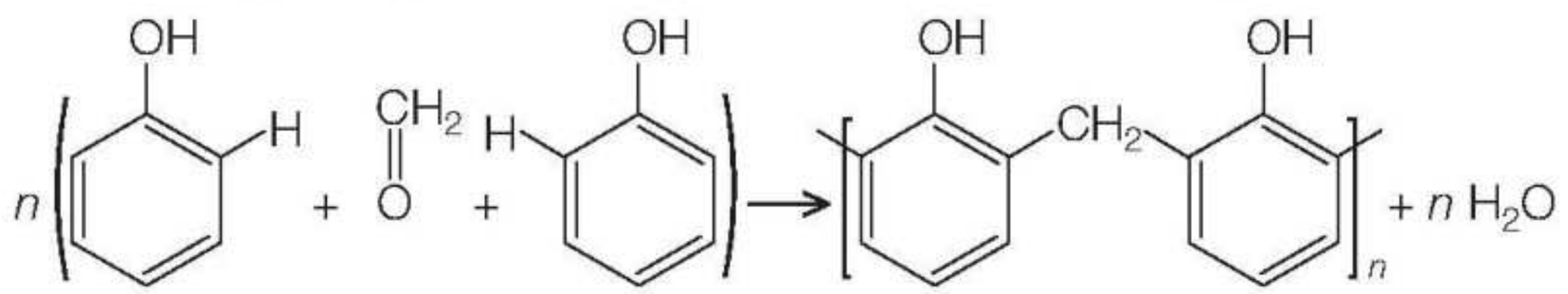
Odczynniki: metanal, wodorotlenek sodu, fenol.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, palnik, parownica.
Instrukcja: Do dużej probówki zawierającej 3 cm^3 roztworu metanalu wsyp ok. 2 g fenolu i dodaj ok. 1 cm^3 roztworu wodorotlenku sodu (schemat). Całość ogrzewaj przez kilka minut. Gdy substancja zacznie gęstnieć, przerwij ogrzewanie i wylej zawartość probówki do parownicy.




Fot. 85. Reakcja metanalu z fenolem – zmiana barwy mieszaniny pod wpływem ogrzewania.

Obserwacje: W trakcie ogrzewania mieszanina zmieniła barwę na jasnopomarańczową (fot. 85.). Po wylaniu do parownicy roztwór zgęstniał, a następnie zestalił się.
Wniosek: Produktem reakcji metanalu (formaldehydu) z fenolem jest żółta substancja stała, tzw. żywica fenolowo-formaldehydowa.

Przebieg reakcji chemicznej przedstawia uproszczony zapis:



fenol | metanal formaldehyd | fenol | żywica fenolowo-formaldehydowa (polikondensat) | woda (produkt uboczny)

W procesie tym, zwanym **polikondensacją**, powstają substancja wielkocząsteczkowa, tzw. **polikondensat**, oraz produkt uboczny, np. H_2O, HCl, NH_3. **Reakcja polikondensacji różni się od reakcji polimeryzacji, tym, że w jej wyniku powstaje również produkt uboczny.**

Żywice fenolowo-formaldehydowe są stosowane do wyrobu tworzyw sztucznych, lakierów oraz klejów.

Polikondensacja – reakcja chemiczna, w której wyniku ze związków chemicznych o małej masie molowej powstają związki o większej masie molowej, z wydzieleniem dodatkowych cząsteczek, np.: H_2O, HCl lub NH_3.

Zastosowania

Aldehydy

Do najbardziej popularnych aldehydów należą metanal, stosowany do produkcji tworzyw sztucznych, leków i barwników, oraz etanal, używany do produkcji m.in. kwasu etanowego. Zapach aldehydów powoduje, że często wykorzystuje się je też w przemyśle perfumeryjnym, kosmetycznym i spożywczym.



Przemysł perfumeryjny

Aldehyd cynamonowy to nienasycony związek występujący powszechnie w olejkach eterycznych, np. w olejku cynamonowym. Jest on wykorzystywany do **produkcji perfum**.



Przemysł kosmetyczny

W **preparatach brązujących** stosuje się aldehyd mukonowy. Grupa karbonylowa tego aldehydu bierze udział w reakcji chemicznej, dzięki której skóra zyskuje brązowy kolor.

Przemysł spożywczy

Wanilinę wykorzystuje się w przemyśle spożywczym i cukierniczym jako **substancję zapachową**.

Chemia w medycynie

Aldehyd glutarowy, ze względu na właściwości grzybo-, wiruso- i bakteriobójcze, służy do **dezynfekcji** narzędzi medycznych (m.in. dentystycznych i chirurgicznych) oraz powierzchni w szpitalach. Podobne właściwości i zastosowanie ma aldehyd bursztynowy.



Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Ustal wzór sumaryczny aldehydu, wiedząc, że jego masa cząsteczkowa wynosi 156 u.

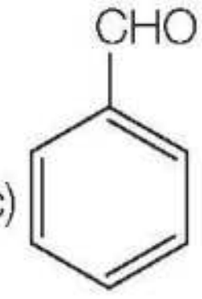
2. Napisz równania reakcji chemicznych (1–4) **przedstawionych na schemacie.** Zastosuj wzory półstrukturalne.

etyn $\xrightarrow[1]{}$ eten $\xrightarrow[2]{}$ chloroetan $\xrightarrow[3]{}$ etanol $\xrightarrow[4]{}$ etanal

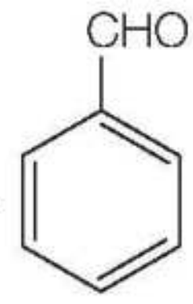
3. Napisz wzory strukturalne alkoholi, które należy utlenić, aby otrzymać związki chemiczne o podanych wzorach półstrukturalnych.

a) $H_3C-CH_2-CH_2-CHO$

b) $H_3C-\underset{\displaystyle CHO}{\underset{|}{CH}}-CH_3$

c) 

4. Napisz równania reakcji chemicznych oznaczonych cyframi 1–6. Podaj nazwy systematyczne związków chemicznych oznaczonych literami *A*–*E*.

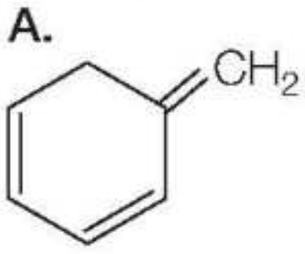
$CaC_2 \xrightarrow[1]{H_2O} A \xrightarrow[2]{\text{trimeryzacja}} B \xrightarrow[3]{CH_3Cl/AlCl_3} C \xrightarrow[4]{Cl_2,\ \text{światło}} D \xrightarrow[5]{KOH} E \xrightarrow[6]{[O]}$ 

5. 7,2 g pewnego aldehydu przereagowało z odczynnikiem Tollensa. W wyniku reakcji chemicznej wydzieliło się 21,6 g srebra. **Oblicz masę cząsteczkową aldehydu, który poddano próbie Tollensa.**

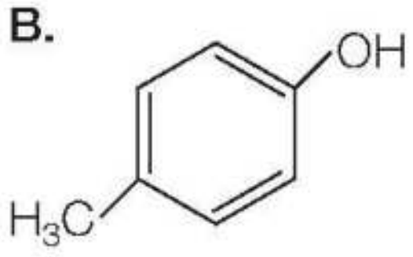
6. Oblicz objętość gazowego metanalu (warunki normalne), który należy rozpuścić w wodzie, aby otrzymać 2 dm^3 formaliny, wiedząc, że formalina jest 36-procentowym roztworem metanalu o gęstości $d = 1{,}1\ \frac{g}{cm^3}$.

7. Wzory czterech związków chemicznych oznaczono symbolami: A, B, C, D.

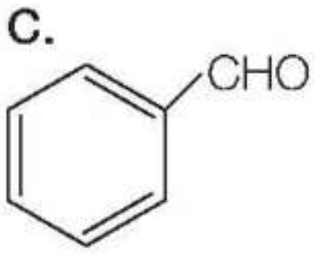
A.



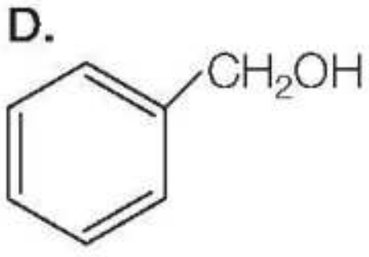
B.



C.



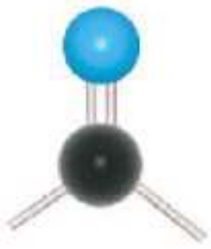
D.



Uzupełnij tabelę, wpisując symbole związków chemicznych, które ulegają reakcjom wymienionym w pierwszej kolumnie.

Reakcja chemiczna	Symbol związku chemicznego
Odbarwianie wody bromowej	[?]
Lustro srebrne	[?]
Tworzenie barwnego kompleksu z jonami Fe^{3+}	[?]

18. Ketony – karbonylowe związki organiczne



Rys. 40. Model grupy karbonylowej – grupy funkcyjnej ketonów.

Modele atomów:
węgla tlenu

Ketony, podobnie jak aldehydy, są związkami karbonylowymi, których cząsteczki zawierają grupę —CO— połączoną z dwiema grupami węglowodorowymi (rys. 40.).

Występowanie ketonów

Ketony występują najczęściej w substancjach zapachowych, będących składnikami olejków eterycznych roślin. Kamforę $C_{10}H_{16}O$ – keton o silnym, charakterystycznym zapachu – otrzymuje się z liści i wiórów drewna cynamonowca kamforowego (fot. 86.). Składnikami piżma – wydzieliny gruczołów zapachowych samców piżmowców – są ketony cykliczne: muskon $C_{16}H_{30}O$ i egzalton $C_{15}H_{28}O$. Grupy karbonylowe zawierają też niektóre hormony, m.in. testosteron $C_{19}H_{28}O_2$, progesteron $C_{21}H_{30}O_2$ i estron $C_{18}H_{22}O_2$.



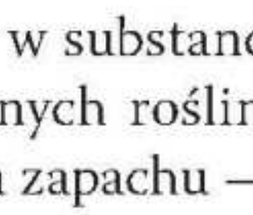
Fot. 86. W liściach cynamonowca kamforowego występuje keton – kamfora.

Budowa cząsteczek ketonów

Ketony to pochodne węglowodorów, których cząsteczki zawierają grupy węglowodorowe oraz grupę funkcyjną $\rangle C{=}O$, czyli **grupę karbonylową**.

Wzór ogólny ketonów:

Wzór ogólny ketonów ▶

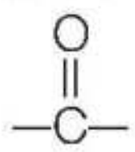


gdzie:
$-R_1$, $-R_2$ – grupy węglowodorowe (np. alkilowe lub arylowe),



— grupa karbonylowa.

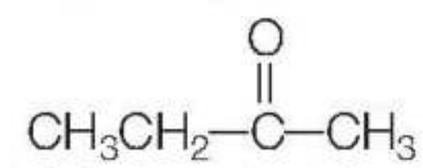
Ketony – grupa związków organicznych zawierających w cząsteczce grupę karbonylową



połączoną z dwoma atomami węgla.

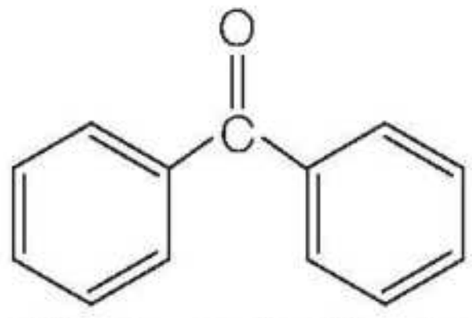
Grupa karbonylowa jest związana z dwiema dowolnymi grupami węglowodorowymi:

- dwiema alkilowymi, np.:



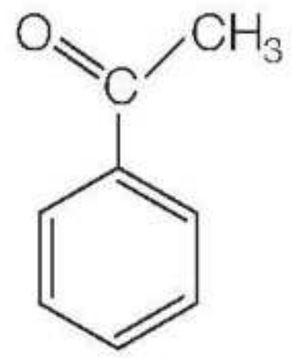
w butan-2-onie (w ketonie etylowo-metylowym)

- dwiema aromatycznymi, np.:



w ketonie difenylowym (w difenylometanonie)

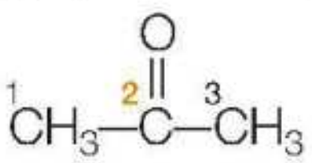
- jedną alkilową i jedną aromatyczną, np.:



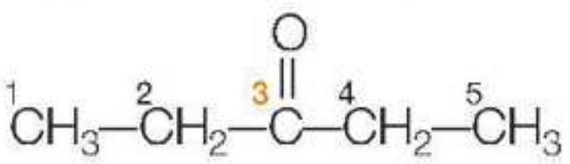
w ketonie fenylowo-metylowym (w 1-fenyloetan-1-onie, acetofenonie)

Nazewnictwo ketonów

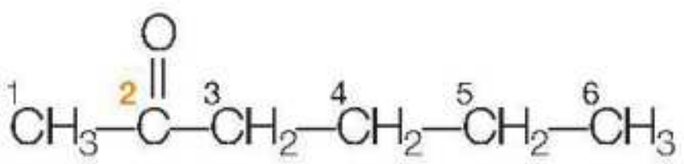
Nazwy systematyczne ketonów tworzy się przez dodanie końcówki **-on** do nazwy odpowiedniego węglowodoru i podanie lokantu określającego położenie grupy karbonylowej:



propan-**2**-**on**

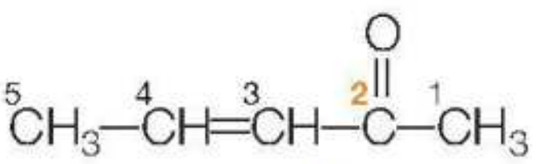


pentan-**3**-**on**

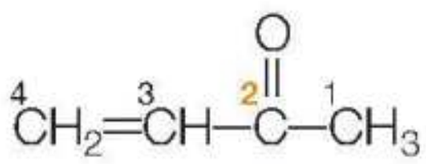


heksan-**2**-**on**

Atomy węgla w łańcuchu węglowym ketonu numeruje się tak, aby lokant grupy karbonylowej był jak najmniejszy:

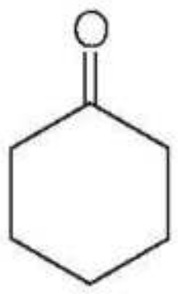


pent-3-en-**2**-**on**

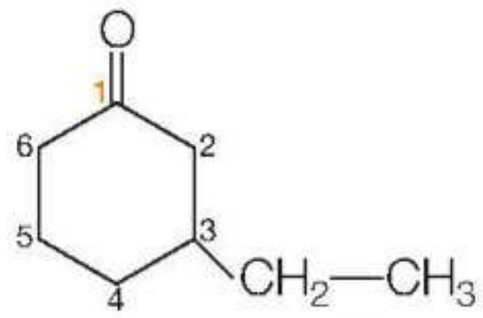


but-3-en-**2**-**on**

W przypadku związków cyklicznych grupa karbonylowa ma zawsze numer **1**:

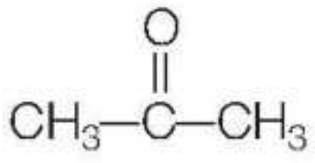


cykloheksan**on**

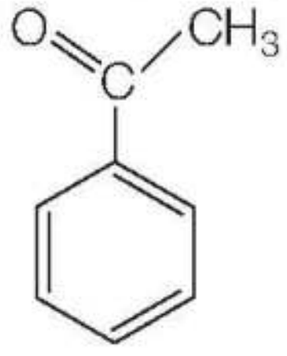


3-etylocykloheksan-**1**-**on**

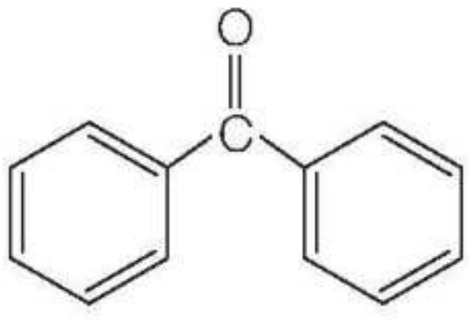
Nazwy ketonów można także utworzyć przez dodanie do słowa **keton** nazw podstawników połączonych z grupą karbonylową. Nazwy te wymienia się w kolejności alfabetycznej, np.:



keton dimetylowy



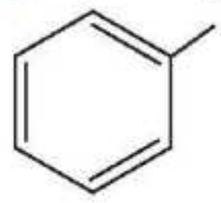
keton fenylowo-metylowy



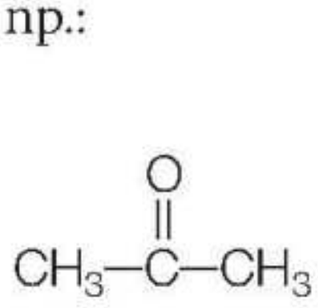
keton difenylowy

grupa metylowa
CH_3—

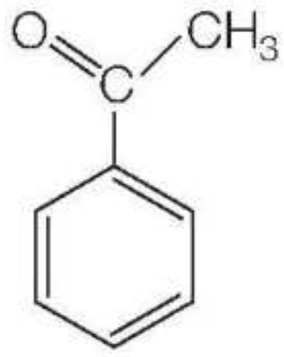
grupa fenylowa



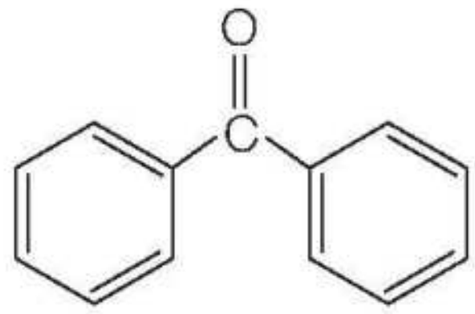
W powszechnym użyciu są nazwy zwyczajowe niektórych ketonów, np.:



aceton



acetofenon

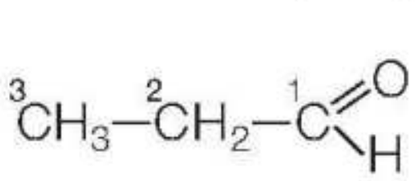


benzofenon

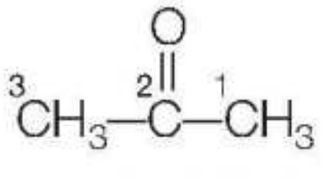
Izomeria konstytucyjna aldehydów i ketonów

Aldehydy i ketony o budowie łańcuchowej są względem siebie **izomerami konstytucyjnymi**. Rodzaj izomerii konstytucyjnej, w której cząsteczki związków chemicznych o takim samym wzorze sumarycznym mają różne grupy funkcyjne, to **izomeria funkcyjna**. Na przykład związek chemiczny o wzorze sumarycznym C_3H_6O tworzy dwa izomery:

izomery C_3H_6O



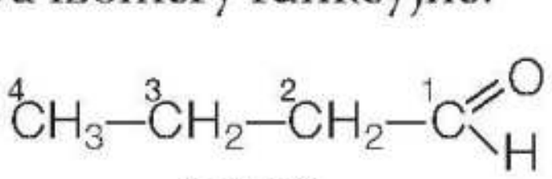
propanal
(aldehyd)



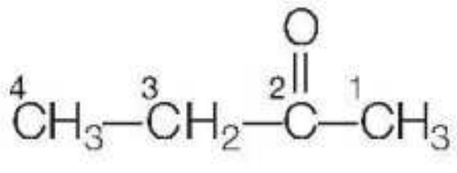
propan-2-on
(keton)

Związek chemiczny o wzorze sumarycznym C_4H_8O również tworzy dwa izomery funkcyjne:

izomery C_4H_8O



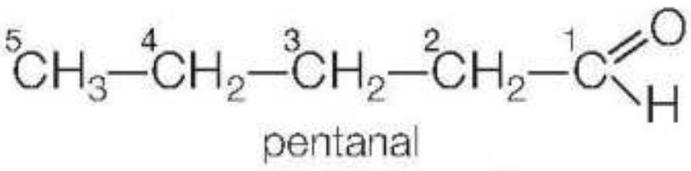
butanal
(aldehyd)



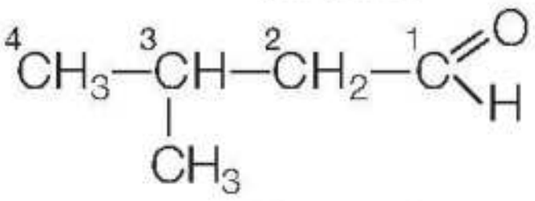
butan-2-on
(keton)

Aldehydy i ketony mogą tworzyć izomery funkcyjne oraz **izomery szkieletowe**, które mają ten sam wzór sumaryczny, lecz różnią się budową szkieletu węglowego w łańcuchu. Na przykład związek chemiczny o wzorze sumarycznym $C_5H_{10}O$ może występować w postaci izomerów:

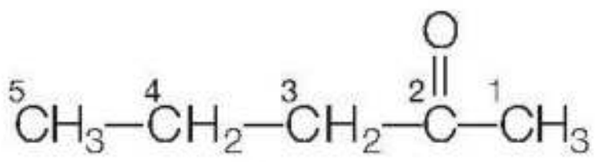
izomery $C_5H_{10}O$



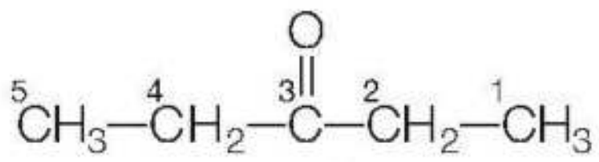
pentanal



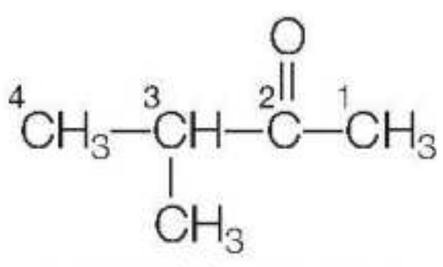
3-metylobutanal



pentan-2-on



pentan-3-on

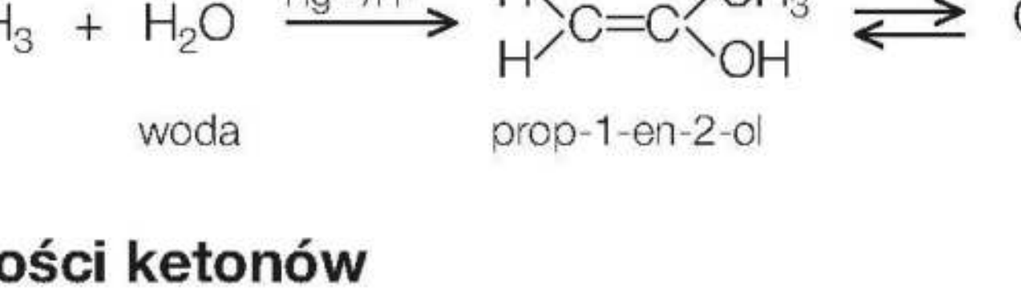


3-metylobutan-2-on

Otrzymywanie ketonów

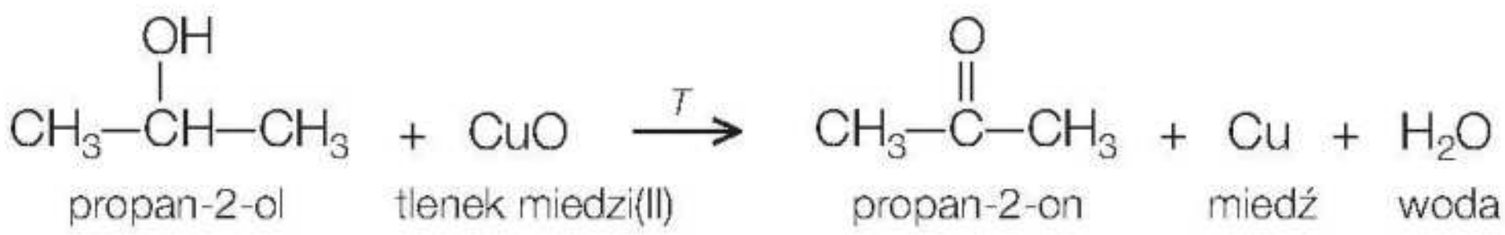
Ketony otrzymuje się:

- w reakcji **utleniania alkoholi drugorzędowych**, np.:

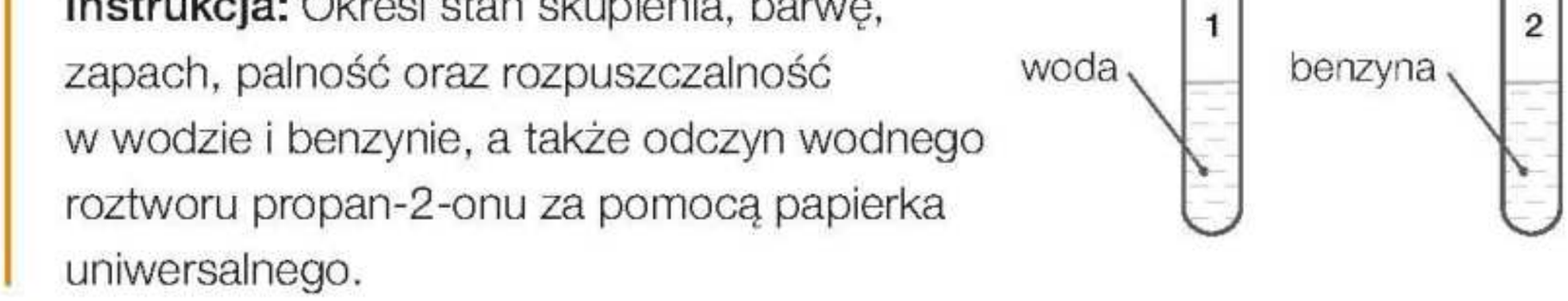


otrzymywanie CH_3COCH_3 w reakcji utleniania alkoholu drugorzędowego

Czynnikiem utleniającym może być np. tlenek miedzi(II) CuO lub dichromian(VI) potasu $K_2Cr_2O_7$ w obecności kwasu siarkowego(VI) H_2SO_4:



- przez **uwodnienie alkinów w obecności katalizatora**, np.:



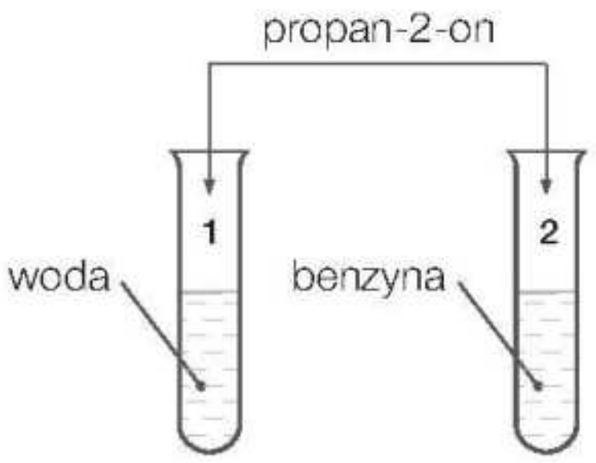
otrzymywanie CH_3COCH_3

Właściwości ketonów

Doświadczenie 37. propan-2-on, benzyna benzyna

Badanie właściwości propan-2-onu (acetonu)

Odczynniki: propan-2-on, woda, benzyna.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: palnik, łuczywo, probówka, uniwersalny papierek wskaźnikowy.
Instrukcja: Określ stan skupienia, barwę, zapach, palność oraz rozpuszczalność w wodzie i benzynie, a także odczyn wodnego roztworu propan-2-onu za pomocą papierka uniwersalnego.



Obserwacje: Propan-2-on w temperaturze pokojowej jest bezbarwną, łatwopalną cieczą o charakterystycznym zapachu. Bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie i benzynie. Uniwersalny papierek wskaźnikowy nie zmienia barwy w wodnym roztworze propan-2-onu.
Wniosek: Propan-2-on jest dobrym rozpuszczalnikiem substancji organicznych. Jego wodny roztwór ma odczyn obojętny. Propan-2-on nie ulega więc reakcji dysocjacji elektrolitycznej.

Wraz ze zwiększaniem się liczby atomów węgla w cząsteczkach ketonów:

- zwiększa się ich gęstość,
- wzrasta ich temperatura topnienia,
- wzrasta ich temperatura wrzenia.

model czaszowy cząsteczki propan-2-onu



Modele atomów:
węgla tlenu
wodoru

Reakcje chemiczne ketonów

Doświadczenie 38.


$AgNO_3$, $NH_3 + H_2O$, $CuSO_4$


$AgNO_3$, $NH_3 + H_2O$, $NaOH$


propan-2-on, $NH_3 + H_2O$

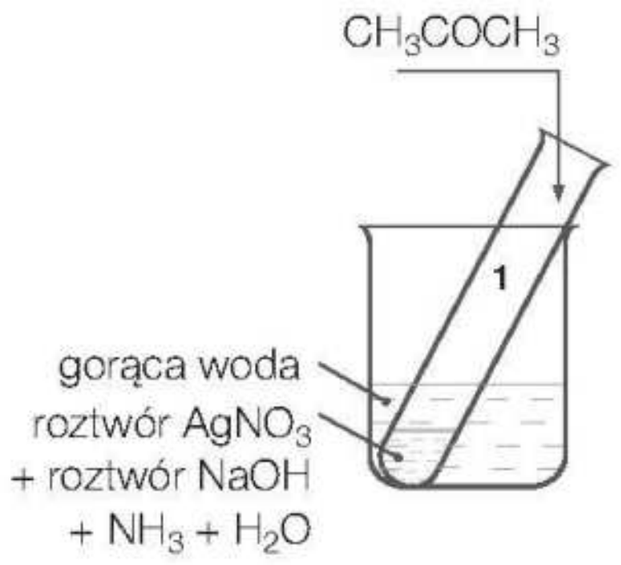

propan-2-on

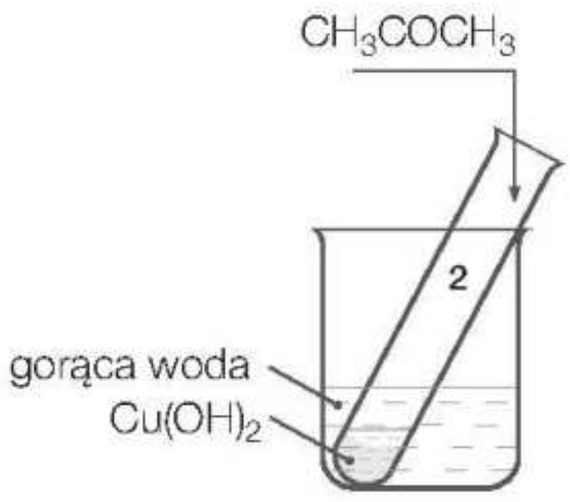
Badanie właściwości redukujących propan-2-onu – próby Tollensa i Trommera

Odczynniki: roztwór azotanu(V) srebra(I), stężony roztwór wodorotlenku sodu, wodny roztwór amoniaku, propan-2-on, woda, roztwór siarczanu(VI) miedzi(II).

Szkło laboratoryjne: probówki, bagietki, zlewki.

Instrukcja: a) Do probówki 1. nalej ok. 3 cm^3 rozcieńczonego roztworu azotanu(V) srebra(I). Dodaj kilka kropli stężonego roztworu wodorotlenku sodu. Następnie, ciągle mieszając, dodawaj kroplami wodny roztwór amoniaku aż do rozpuszczenia się strąconego osadu. Do otrzymanego roztworu dodaj kilka kropli wodnego roztworu propan-2-onu i umieść probówkę w zlewce z gorącą wodą.
b) Do probówki 2. zawierającej ok. 3 cm^3 rozcieńczonego roztworu siarczanu(VI) miedzi(II) dolewaj wodnego roztworu wodorotlenku sodu aż do strącenia się osadu. Następnie dodaj ok. 1 cm^3 propan-2-onu. Ogrzewaj probówkę w zlewce z gorącą wodą (schemat).





Ketony nie ulegają utlenieniu pod wpływem **odczynników Tollensa i Trommera**, dlatego próby te stosuje się **do odróżniania aldehydów od ketonów**.

Obserwacje: W probówce 1. nie widać zmian. W probówce 2. powstaje czarny osad.

Wniosek: Czarny osad jest produktem reakcji termicznego rozkładu wodorotlenku miedzi(II).

Zaszła reakcja chemiczna zgodnie z równaniem:

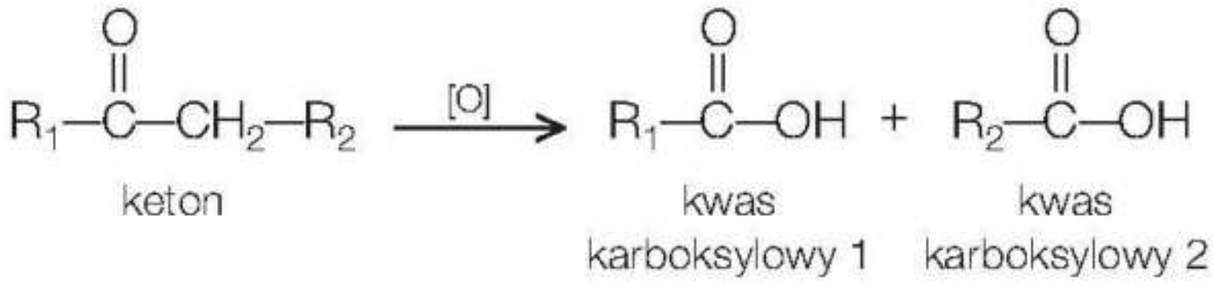
$$\underset{\text{wodorotlenek miedzi(II)}}{Cu(OH)_2} \xrightarrow{T} \underset{\text{tlenek miedzi(II)}}{CuO} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

Ketony nie reagują z odczynnikami w próbach Tollensa i Trommera, więc **nie wykazują właściwości redukujących**, które są charakterystyczne dla aldehydów. Można to wyjaśnić, porównując budowę cząsteczek aldehydów i ketonów.

W aldehydach grupa funkcyjna jest połączona z atomem wodoru i znajduje się na końcu łańcucha węglowego. Utlenianie nie narusza więc szkieletu węglowego cząsteczki – przemianie ulega tylko grupa funkcyjna.

Produktami tej reakcji chemicznej są kwasy karboksylowe. Aldehydy łatwo utleniają się nawet pod wpływem słabych utleniaczy, np. Ag^+ lub Cu^{2+}. Natomiast w ketonach grupa funkcyjna znajduje się wewnątrz łańcucha węglowego. Utlenienie ketonu powoduje więc rozerwanie łańcucha węglowego, a to wymaga dużej ilości energii.

Ketony można utlenić, stosując silne utleniacze, np. dichromian(VI) potasu $K_2Cr_2O_7$ w obecności kwasu siarkowego(VI) H_2SO_4. Powstaje wówczas **mieszanina kwasów karboksylowych o krótszych łańcuchach**:



schemat reakcji utleniania ketonów w obecności silnych utleniaczy

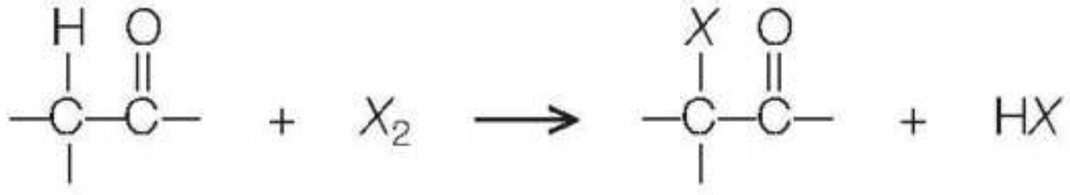
Próby Tollensa i Trommera wykorzystuje się do odróżniania aldehydów od ketonów.

Dzięki obecności podwójnego wiązania w grupie karbonylowej ketony, tak jak aldehydy, ulegają reakcji addycji. Uwodornienie ketonu prowadzi do otrzymania alkoholu drugorzędowego:



reakcja uwodornienia CH_3COCH_3

Grupa karbonylowa $\rangle C{=}O$ zwiększa aktywność chemiczną atomów wodoru w grupie alkilowej znajdującej się przy sąsiednim atomie węgla. Ketony dość łatwo ulegają reakcji substytucji tych atomów wodoru przez atomy fluorowców:

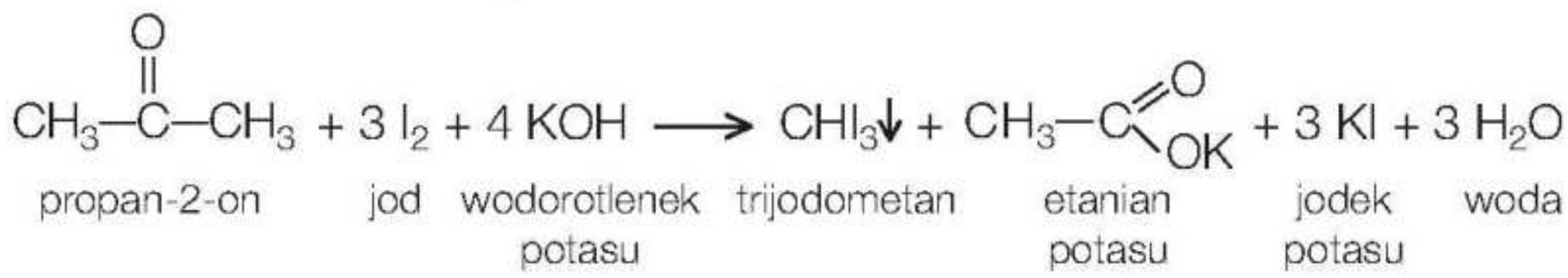


gdzie:
X – fluorowiec.

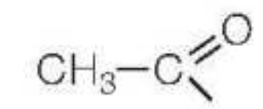
schemat reakcji substytucji fluorowców do ketonów

Reakcja charakterystyczna ketonów

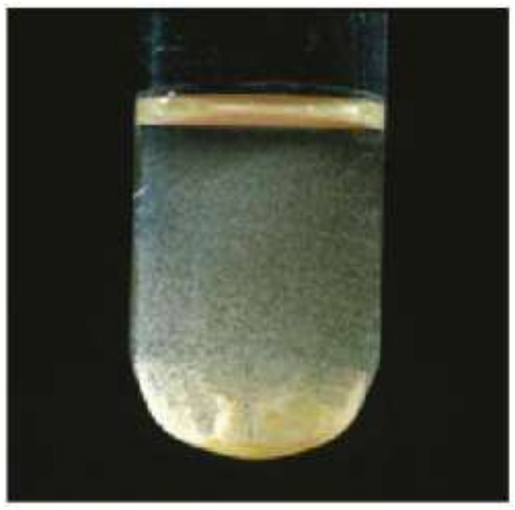
Grupa karbonylowa wywiera również wpływ na właściwości związanych z nią grup węglowodorowych. Przedstawia to **próba jodoformowa** – reakcja jodu z **metyloketonami**, czyli ketonami zawierającymi grupę karbonylową połączoną z grupą metylową $-CH_3$. Do metyloketonów należy m.in. propan-2-on. Próbę jodoformową przeprowadza się w środowisku zasadowym:



Próba jodoformowa umożliwia wykrycie grupy



w cząsteczce związku chemicznego.



Fot. 87. Osad jodoformu CHI_3.

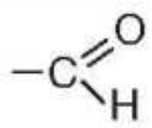
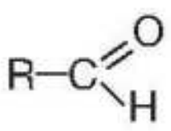
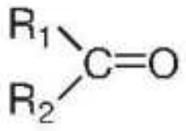
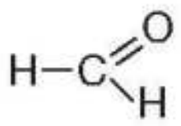
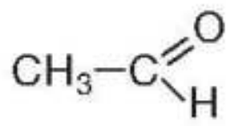
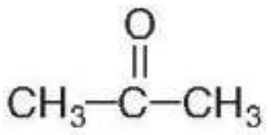
Próba jodoformowa służy do identyfikacji metyloketonów. O obecności takich ketonów świadczy powstający żółty osad (fot. 87.) trijodometanu CHI_3 nazywanego **jodoformem** – związku chemicznego o charakterystycznym zapachu. W podobny sposób mogą reagować inne fluorowce, np. Br_2 lub Cl_2. Opisana reakcja chemiczna nosi ogólną nazwę **reakcji haloformowej**.

Porównanie właściwości aldehydów i ketonów

W odróżnieniu od aldehydów **ketony nie ulegają reakcji polimeryzacji ani polikondensacji**.

Aldehydy i ketony zawierają grupę karbonylową $\rangle C{=}O$, ale są dwiema odrębnymi grupami związków chemicznych (tabela 22.).

Tabela 22. Porównanie budowy oraz właściwości aldehydów i ketonów

Nazwa grupy związków organicznych	aldehydy	ketony
Wzór i nazwa grupy funkcyjnej	 aldehydowa	 ketonowa
Wzór ogólny związku karbonylowego		
Wzory półstrukturalne i nazwy systematyczne przykładowych związków karbonylowych	 metanal  etanal	 propan-2-on
Produkty reakcji utleniania:		
▸ próba Tollensa	▸ powstają kwasy karboksylowe	▸ ketony nie wykazują właściwości redukujących – negatywny wynik próby
▸ próba Trommera	▸ powstają kwasy karboksylowe	▸ ketony nie wykazują właściwości redukujących – negatywny wynik próby
▸ z silnym utleniaczem	▸ powstają kwasy karboksylowe	▸ powstaje mieszanina kwasów karboksylowych o krótszych łańcuchach węglowych
Produkty reakcji redukcji	powstają alkohole pierwszorzędowe	powstają alkohole drugorzędowe
Reakcja polimeryzacji	ulegają niższe aldehydy	nie ulegają
Reakcja polikondensacji	powstają żywice	nie ulegają
Otrzymywanie	▸ utlenianie alkoholi pierwszorzędowych ▸ redukcja kwasów karboksylowych ▸ specyficzne metody, np. etanal otrzymuje się przez utlenianie etenu w obecności katalizatora	▸ utlenianie alkoholi drugorzędowych ▸ addycja wody do alkinów (z wyjątkiem etynu) w obecności katalizatora

Zastosowania

Ketony

Ketony są składnikami kompozycji zapachowych wielu perfum i stanowią nutę, która uwalnia się najdłużej. Najwięcej zastosowań w przemyśle ma jednak najprostszy z ketonów – aceton (propan-2-on).



Przemysł perfumeryjny

Ze względu na trudności związane z pozyskiwaniem naturalnych ketonów (cybetonu i muskonu), wykorzystywanych do produkcji **perfum**, coraz częściej zastępuje się je syntetycznymi odpowiednikami – np. ketonem o nazwie egzalton (cyklopentadekanon).



Przemysł kosmetyczny

Lakiery do paznokci z dodatkiem acetonu szybciej wysychają, a w zmywaczach do paznokci wykorzystuje się jego właściwości jako rozpuszczalnika. Natomiast dzięki obecności benzofenonu (difenylometanonu) lakiery nie blakną z upływem czasu.

Przemysł tekstylny

Lapachol jest jednym z **barwników** stosowanych w produkcji sztucznych tkanin.

Chemia w medycynie

Kamfora, ze względu na działanie rozgrzewające i przeciwbólowe, jest składnikiem preparatów na bóle mięśni i stawów. Natomiast w **leczeniu opryszczki** wykorzystuje się jej właściwości antybakteryjne i antywirusowe. Intensywny zapach kamfory doskonale sprawdza się w leczeniu przeziębień. Kamfora jest też składnikiem preparatów do golenia i depilacji, gdyż łagodzi podrażnienia i zaczerwienienia.



Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Napisz wzory półstrukturalne ketonów o podanych nazwach.

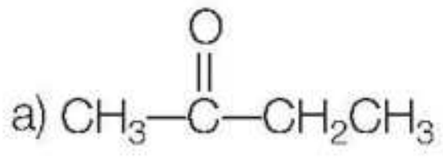
a) pentan-2-on

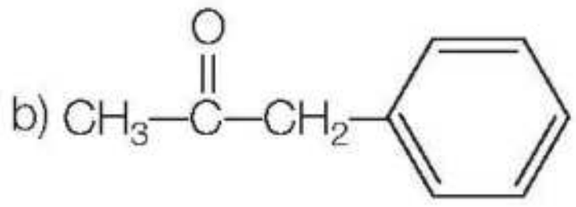
b) cyklopentanon

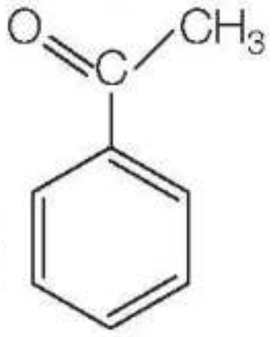
c) heks-3-en-2-on

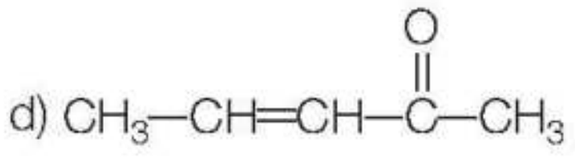
d) keton fenylowo-propylowy

2. Podaj nazwy systematyczne ketonów o podanych wzorach półstrukturalnych.

a) 

b) 

c) 

d) 

3. Napisz równania reakcji chemicznych (1–4) **przedstawionych na schemacie.** Zastosuj wzory półstrukturalne.

propyn $\xrightarrow{1}$ propen $\xrightarrow{2}$ 2-chloropropan $\xrightarrow{3}$ propan-2-ol $\xrightarrow{4}$ propan-2-on

4. Napisz wzory strukturalne i nazwy systematyczne wszystkich izomerycznych aldehydów i ketonów o wzorze sumarycznym:

a) C_4H_8O

b) $C_5H_{10}O$

5. Napisz równanie reakcji utleniania butan-2-olu oraz nazwę systematyczną otrzymanego związku chemicznego.

6. Napisz równanie reakcji uwodornienia butan-2-onu. Podaj nazwę systematyczną otrzymanego związku chemicznego.

7. Napisz równanie reakcji otrzymywania propan-2-onu z odpowiedniego alkoholu z użyciem dichromianu(VI) potasu i kwasu siarkowego(VI), wiedząc, że wśród produktów reakcji są: siarczan(VI) chromu(III), siarczan(VI) potasu i woda. Wskaż utleniacz, reduktor, proces utleniania i proces redukcji. Współczynniki stechiometryczne dobierz metodą bilansu elektronowego.

8. Reakcji jodoformowej ulegają następujące związki: ketony metylowe, etanal oraz alkohole zawierające grupę metylową położoną przy atomie węgla połączonym z grupą hydroksylową. Nie ulega jej trzeciorzędowy butanol. Reakcja ta zachodzi przy udziale jodu i wodorotlenku sodu, w jej wyniku tworzy się żółty osad jodoformu o wzorze CHI_3.

Do reakcji jodoformowej zastosowano następujące związki chemiczne:

A. butan-2-on, **C.** propan-2-ol, **E.** keton fenylowo-metylowy,

B. metanal, **D.** 2-metylopropan, **F.** pentan-3-ol.

Uzupełnij poniższe zdanie.

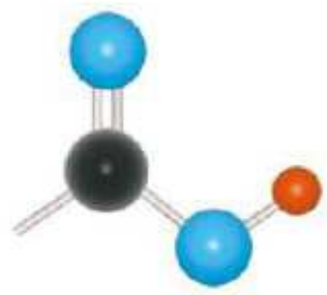
Pozytywny wynik reakcji jodoformowej dają związki oznaczone literami [?], ponieważ należą do [?].

Uzupełnij równanie reakcji, wpisując wzór półstrukturalny (grupowy) alkoholu zawierającego grupę metylową położoną przy atomie węgla połączonym z grupą hydroksylową.

[?] + 4 I_2 + 6 NaOH $\longrightarrow$ $CH_3COONa + CHI_3 + 5\ NaI + 5\ H_2O$

19. Kwasy karboksylowe

Kwasy karboksylowe to pochodne węglowodorów, które w cząsteczkach mają jedną lub kilka **grup karboksylowych** (rys. 41.).



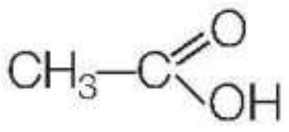
Rys. 41. Model grupy karboksylowej.
Modele atomów:
węgla, tlenu, wodoru

Rodzaje kwasów karboksylowych

Kwasy karboksylowe dzieli się ze względu na **liczbę grup karboksylowych** —COOH w cząsteczce kwasu.

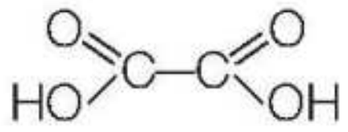
kwasy karboksylowe

monokarboksylowe
zawierają jedną grupę —COOH, np.



kwas etanowy
(octowy)

polikarboksylowe
zawierają przynajmniej dwie grupy —COOH, np.



kwas etanodiowy
(szczawiowy)

Występowanie kwasów karboksylowych

Kwasy karboksylowe występują w przyrodzie głównie w postaci pochodnych o łańcuchach nierozgałęzionych. Wolne kwasy karboksylowe są mniej rozpowszechnione.

Kwas szczawiowy $C_2H_2O_4$ (kwas etanodiowy) znajduje się w liściach szczawiu, porzeczkach i rabarbarze (fot. 88.) oraz w ziarnach kawy i kakao. Kwas malonowy $C_3H_4O_4$ (kwas propanodiowy) występuje w jabłkach. Z kolei w korzeniu kozłka lekarskiego, rośliny o działaniu leczniczym, znajduje się kwas walerianowy $C_5H_{10}O_2$ (kwas pentanowy), a w kwiatach winorośli występuje kwas enantonowy $C_7H_{14}O_2$ (kwas heptanowy). W maśle i oleju kokosowym jest kwas kapronowy $C_6H_{12}O_2$ (kwas heksanowy).



Fot. 88. W rabarbarze znajduje się kwas szczawiowy, którego nadmiar w organizmie może prowadzić do m.in. niedoboru wapnia.

Budowa cząsteczek kwasów karboksylowych

Kwasy karboksylowe to związki organiczne, których cząsteczki składają się z **grupy węglowodorowej** oraz **grupy karboksylowej** —COOH. Często są nazywane kwasami organicznymi.

Grupa karboksylowa składa się z dwóch grup:

- karbonylowej —C(=O)—
- hydroksylowej —OH.



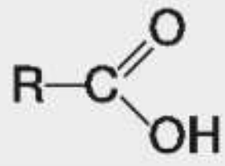
Kwasy karboksylowe – związki chemiczne zawierające grupę karboksylową.

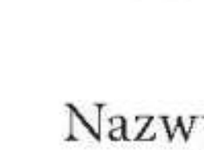
grupa karboksylowa

—COOH

Wzór ogólny kwasów karboksylowych:

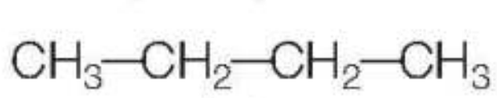
Wzór ogólny kwasów karboksylowych ▶

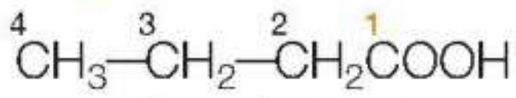


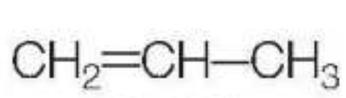
gdzie:
–R – atom wodoru, grupa węglowodorowa (np. alkilowa lub arylowa),
 – grupa karboksylowa.

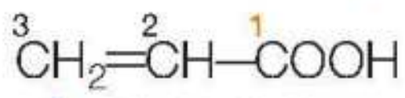
Nazewnictwo kwasów karboksylowych

Nazwy systematyczne alifatycznych kwasów karboksylowych tworzy się przez dodanie słowa **kwas** oraz końcówki **-owy** do nazwy węglowodoru o tej samej liczbie atomów węgla w cząsteczce, łącznie z atomem węgla w grupie karboksylowej. Atom węgla wchodzący w skład grupy karboksylowej ma zawsze lokant **1**:

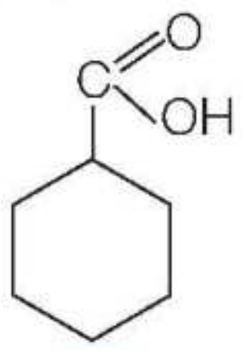

butan

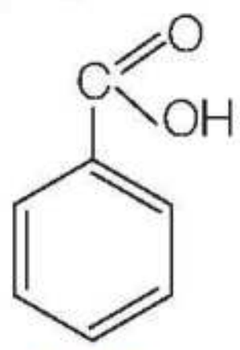

kwas butan**owy**


propen


kwas propen**owy**

Nazwy systematyczne cyklicznych i aromatycznych kwasów karboksylowych tworzy się przez dodanie do słowa **kwas** nazwy węglowodoru i przyrostka -**karboksylowy**, np.:


kwas cykloheksano**karboksylowy**


kwas benzeno**karboksylowy**


kwas benzeno-**1**,**2**-di**karboksylowy**

W przypadku kwasów karboksylowych bardzo często stosuje się **nazwy zwyczajowe**. Są one powszechnie uznawane i używane w literaturze chemicznej, np. dla kwasu benzenokarboksylowego stosuje się nazwę zwyczajową **kwas benzoesowy**, a dla kwasu benzeno-1,2-dikarboksylowego – **kwas ftalowy**.

Szereg homologiczny kwasów karboksylowych

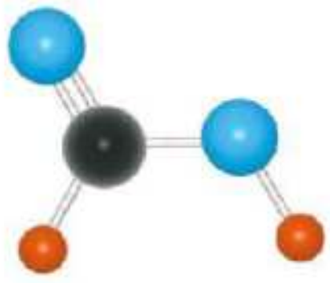
Monokarboksylowe nasycone kwasy alifatyczne, tzw. **kwasy alkanowe**, tworzą szereg homologiczny (patrz tabela 23., s. 223) o wzorze ogólnym:

Wzór ogólny monokarboksylowych nasyconych kwasów alifatycznych ▶

$$C_nH_{2n+1}COOH \qquad n \geq 0$$

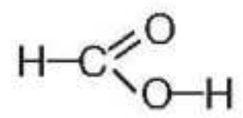
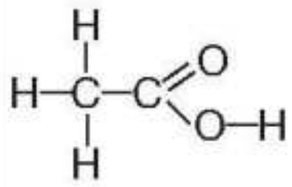
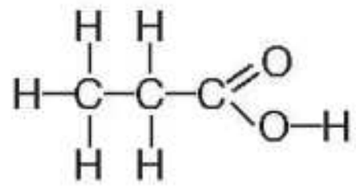
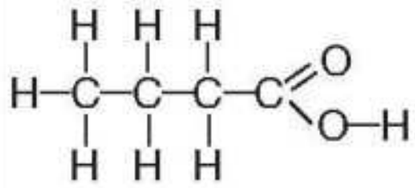
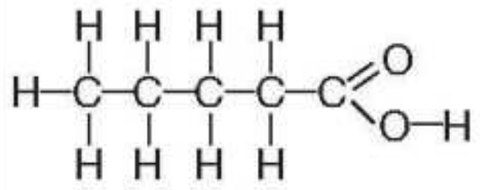
gdzie:
n – kolejna liczba naturalna określająca liczbę atomów węgla w alkilu.

Najprostszym kwasem karboksylowym w tym szeregu homologicznym jest **kwas metanowy** (mrówkowy), będący pochodną metanu, dla którego $n = 0$:



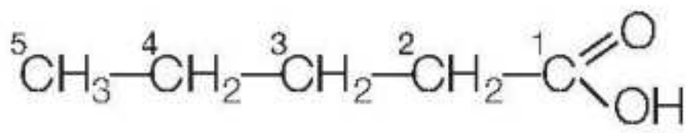
Modele atomów:
węgla, tlenu, wodoru

Tabela 23. Szereg homologiczny monokarboksylowych nasyconych kwasów alifatycznych

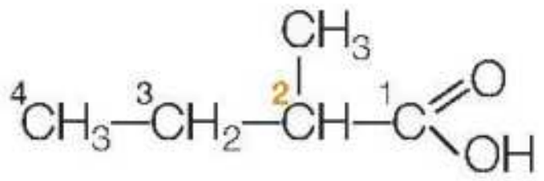
Liczba atomów węgla w cząsteczce	Nazwa		Wzór		
	systematyczna	zwyczajowa	sumaryczny	strukturalny	grupowy
1	kwas metanowy	kwas mrówkowy	CH_2O_2		HCOOH
2	kwas etanowy	kwas octowy	$C_2H_4O_2$		CH_3COOH
3	kwas propanowy	kwas propionowy	$C_3H_6O_2$		CH_3CH_2COOH
4	kwas butanowy	kwas masłowy	$C_4H_8O_2$		$CH_3(CH_2)_2COOH$
5	kwas pentanowy	kwas walerianowy	$C_5H_{10}O_2$		$CH_3(CH_2)_3COOH$

Izomeria szkieletowa kwasów karboksylowych

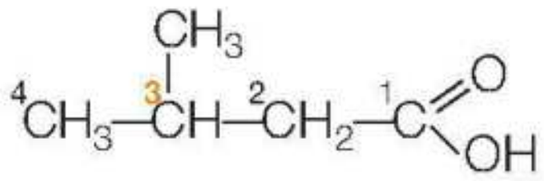
W kwasach karboksylowych występuje **izomeria szkieletowa**. Oznacza to, że łańcuch węglowodorowy w cząsteczkach tych kwasów może być prosty lub rozgałęziony, jak np. w izomerach $C_5H_{10}O_2$:



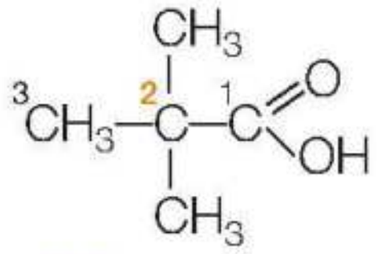
kwas pentanowy



kwas **2**-metylobutanowy



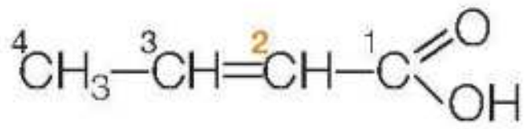
kwas **3**-metylobutanowy



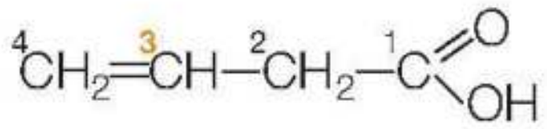
kwas **2,2**-dimetylopropanowy

Izomeria położenia kwasów karboksylowych

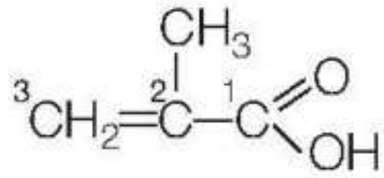
W nienasyconych kwasach karboksylowych występuje **izomeria położenia** wiązania, przykładem są izomery $C_4H_6O_2$:



kwas but-**2**-enowy

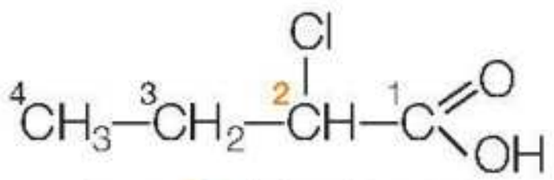


kwas but-**3**-enowy

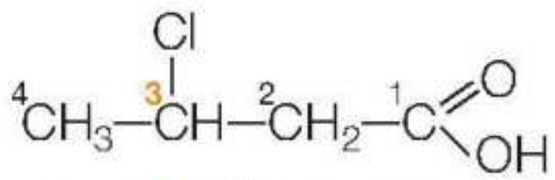


kwas metylopropenowy

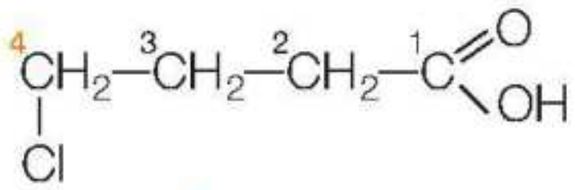
W kwasach karboksylowych występuje też **izomeria położenia** podstawników. Ten rodzaj izomerii uwzględnia różne miejsca połączenia podstawników ze szkieletem węglowym, jak np. w izomerach $C_4H_7ClO_2$:



kwas **2**-chlorobutanowy



kwas **3**-chlorobutanowy



kwas **4**-chlorobutanowy

W aromatycznych kwasach dikarboksylowych występuje **izomeria położenia** grupy funkcyjnej –COOH, np.



kwas benzeno-**1**,**2**-dikarboksylowy



kwas benzeno-**1**,**3**-dikarboksylowy



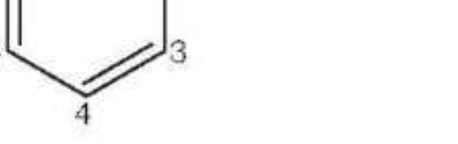
kwas benzeno-**1**,**4**-dikarboksylowy

Izomeria *cis-trans* kwasów karboksylowych

W cząsteczkach nienasyconych kwasów karboksylowych można wyróżnić dwie części, rozdzielone wiązaniem podwójnym, które mogą mieć różne położenie przestrzenne w stosunku do płaszczyzny tego wiązania. Jeśli podstawniki znajdują się **po tej samej stronie** płaszczyzny wiązania podwójnego, związki chemiczne **są izomerami *cis*** (***Z***), a jeśli po jej przeciwnych stronach – **są izomerami *trans*** (***E***). Przykładami są:

płaszczyzna wiązania podwójnego

- izomery $C_4H_6O_2$:

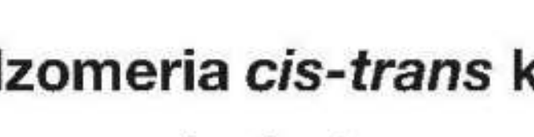


kwas *cis*-but-2-enowy
kwas (*Z*)-but-2-enowy

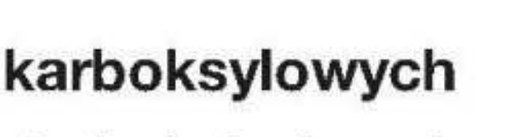


kwas *trans*-but-2-enowy
kwas (*E*)-but-2-enowy

- izomery $C_4H_4O_4$:



kwas *cis*-butenodiowy
kwas (*Z*)-butenodiowy



kwas *trans*-butenodiowy
kwas (*E*)-butenodiowy

Różne ułożenie przestrzenne atomów w cząsteczkach izomerów *cis-trans* (*Z*, *E*) ma szczególne znaczenie w przypadku wyższych nienasyconych kwasów karboksylowych i wpływa na ich właściwości.

Otrzymywanie kwasów karboksylowych

Kwasy karboksylowe otrzymuje się w reakcjach:

- **utleniania** odpowiednich **węglowodorów**, np.:

$$\underset{\text{metan}}{2\,CH_4} + \underset{\text{tlen}}{3\,O_2} \xrightarrow{\text{kat.}} \underset{\text{kwas metanowy}}{2\,HCOOH} + \underset{\text{woda}}{2\,H_2O}$$

- **utleniania alkoholi pierwszorzędowych** z zastosowaniem mocnego utleniacza, m.in. dichromianu(VI) potasu $K_2Cr_2O_7$ w środowisku kwasowym lub manganianu(VII) potasu $KMnO_4$, np.:

$$\underset{\substack{\text{etanol}\\(\text{alkohol 1°})}}{3\,CH_3CH_2OH} + \underset{\substack{\text{manganian(VII)}\\\text{potasu}}}{4\,KMnO_4} \longrightarrow \underset{\text{kwas etanowy}}{3\,CH_3COOH} + \underset{\substack{\text{tlenek}\\\text{manganu(IV)}}}{4\,MnO_2} + \underset{\substack{\text{wodorotlenek}\\\text{potasu}}}{4\,KOH} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

- **utleniania aldehydów** w próbach Tollensa lub Trommera, np.:

$$\underset{\text{metanal}}{HCHO} + 2\,\underset{\substack{\text{kation}\\\text{diaminasrebra(I)}}}{Ag[(NH_3)_2]^+} + \underset{\substack{\text{anion}\\\text{wodorotlenkowy}}}{3\,OH^-} \longrightarrow \underset{\text{srebro}}{2\,Ag\downarrow} + \underset{\substack{\text{anion}\\\text{metanianowy}}}{HCOO^-} + \underset{\text{amoniak}}{4\,NH_3\uparrow} + \underset{\text{woda}}{2\,H_2O}$$

próba Tollensa

dla uproszczenia: $\underset{\text{metanal}}{HCHO} + \underset{\substack{\text{tlenek srebra(I)}}}{Ag_2O} \longrightarrow \underset{\text{kwas metanowy}}{HCOOH} + \underset{\text{srebro}}{2\,Ag\downarrow}$

$$\underset{\text{metanal}}{HCHO} + \underset{\substack{\text{wodorotlenek}\\\text{miedzi(II)}}}{2\,Cu(OH)_2} + \underset{\substack{\text{anion}\\\text{wodorotlenkowy}}}{OH^-} \xrightarrow{T} \underset{\substack{\text{anion}\\\text{metanianowy}}}{HCOO^-} + \underset{\substack{\text{tlenek miedzi(I)}}}{Cu_2O\downarrow} + \underset{\text{woda}}{2\,H_2O}$$

próba Trommera

- **tlenku węgla(II) i węglowodorów nienasyconych**, np.:

$$\underset{\text{propen}}{CH_3{-}CH{=}CH_2} + \underset{\text{tlenek węgla(II)}}{CO} + \underset{\text{woda}}{H_2O} \xrightarrow{\text{kat.}} \underset{\text{kwas butanowy}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2COOH}$$

Kwas metanowy otrzymuje się przez działanie H_2SO_4 na metanian sodu HCOONa, który powstaje w reakcji **CO** z roztworem **NaOH**:

$$\underset{\substack{\text{tlenek}\\\text{węgla(II)}}}{CO} + \underset{\substack{\text{wodorotlenek}\\\text{sodu}}}{NaOH} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{metanian sodu}}{HCOONa}$$

otrzymywanie HCOOH

$$\underset{\text{metanian sodu}}{2\,HCOONa} + \underset{\text{kwas siarkowy(VI)}}{H_2SO_4} \longrightarrow \underset{\text{kwas metanowy}}{2\,HCOOH} + \underset{\text{siarczan(VI) sodu}}{Na_2SO_4}$$

Kwas etanowy otrzymuje się przez **utlenianie etanalu**:

$$\underset{\text{etanal}}{2\,CH_3CHO} + \underset{\text{tlen}}{O_2} \xrightarrow{\text{kat.}} \underset{\text{kwas etanowy}}{2\,CH_3COOH}$$

otrzymywanie CH_3COOH

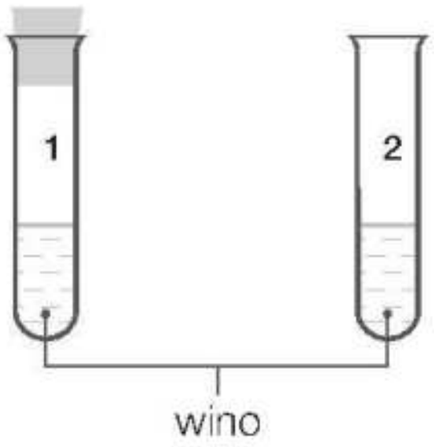
Często stosowaną metodą otrzymywania kwasu etanowego jest też **fermentacja octowa**.

Fermentacja octowa

Doświadczenie 39.

Fermentacja octowa

Odczynniki: wino o zawartości alkoholu 7–8% .
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, korek.
Instrukcja: Do dwóch probówek nalej po ok. 3 cm^3 wina o stężeniu 7–8%. Jedną probówkę zamknij korkiem, drugą pozostaw otwartą (schemat). Po upływie 7 dni zbadaj zapach cieczy znajdujących się w obu probówkach.





Fot. 89. Fermentację octową wykorzystuje się do produkcji octu winnego – popularnej przyprawy.

fermentacja octowa

Obserwacje: W probówce 1., w której wino nie miało kontaktu z powietrzem, nie obserwuje się zmian. Natomiast w probówce 2. wyczuwa się charakterystyczny ostry zapach octu.
Wniosek: W probówce 2. zaszła **fermentacja octowa** (fot. 89.), w której wyniku powstał kwas etanowy (octowy). Fermentacja octowa jest to utlenianie etanolu do kwasu etanowego pod wpływem enzymów wytwarzanych przez bakterie octowe.

Sumaryczny zapis procesu fermentacji octowej przedstawia równanie:

$$\underset{\text{etanol}}{CH_3{-}CH_2OH} + \underset{\text{tlen}}{O_2} \xrightarrow{\text{bakterie}} \underset{\text{kwas etanowy}}{CH_3COOH} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

Właściwości kwasów karboksylowych

Doświadczenie 40.

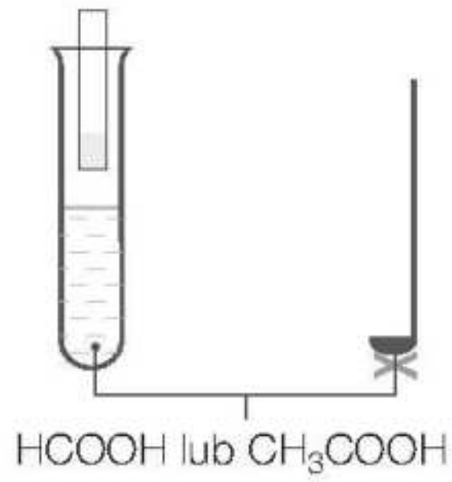

HCOOH, CH_3COOH

HCOOH

Badanie właściwości kwasów metanowego i etanowego

Kwas metanowy jest toksyczny. Powoduje oparzenia, a jego pary drażnią błony śluzowe.

Odczynniki: roztwór kwasu metanowego, roztwór kwasu etanowego.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, uniwersalny papierek wskaźnikowy, łyżeczka do spalań, palnik.
Instrukcja: a) Do dwóch probówek nalej odpowiednio po ok. 2 cm^3 wodnego roztworu kwasu metanowego i ok. 2 cm^3 wodnego roztworu kwasu etanowego. Określ stan skupienia, barwę, zapach i rozpuszczalność w wodzie obu kwasów karboksylowych.
b) Zbadaj odczyn kwasów za pomocą uniwersalnego papierka wskaźnikowego (schemat).
c) Łyżeczkę do spalań ze stężonym roztworem kwasu metanowego i drugą – ze stężonym roztworem kwasu etanowego umieść na chwilę w płomieniu palnika (schemat). Zgaś palnik.


HCOOH lub CH_3COOH

Obserwacje: Kwas metanowy jest bezbarwną cieczą o ostrym, duszącym zapachu. Kwas etanowy to bezbarwna ciecz o ostrym zapachu. Uniwersalny papierek wskaźnikowy w roztworach obu tych kwasów zabarwił się na czerwono. Badane kwasy karboksylowe dobrze rozpuszczają się w wodzie. Spalają się niebieskim płomieniem (fot. 90.).



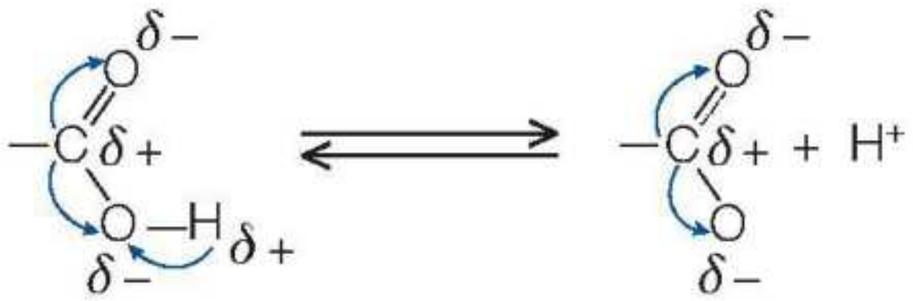
Fot. 90. Spalanie kwasu etanowego.

Pary kwasów metanowego i etanowego drażnią błony śluzowe, a ich stężone roztwory powodują silne oparzenia skóry.

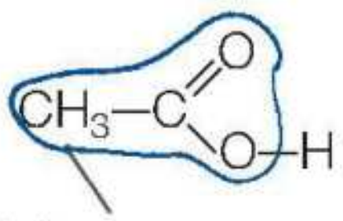
Wniosek: Rozpuszczalne kwasy karboksylowe ulegają w wodzie **dysocjacji z odszczepieniem kationów H^+ z grupy karboksylowej**.

Odszczepienie wodoru jest konsekwencją polaryzacji wiązania podwójnego C=O w grupie karbonylowej i wynikającego z tego przesunięcia elektronów wiązania O—H w kierunku atomu tlenu. Wiązanie w grupie hydroksylowej słabnie, umożliwiając odszczepienie kationu H^+:





W wodnych roztworach kwasów metanowego i etanowego zachodzi reakcja dysocjacji jonowej:



$$HCOOH \overset{H_2O}{\rightleftharpoons} HCOO^- + H^+$$

kwas metanowy (mrówkowy) — anion metanianowy (mrówczanowy) — kation wodoru

$$CH_3COOH \overset{H_2O}{\rightleftharpoons} CH_3COO^- + H^+$$

kwas etanowy (octowy) — anion etanianowy (octanowy) — kation wodoru

Kwasy karboksylowe są słabymi elektrolitami i są palne.

Reakcje spalania całkowitego kwasów metanowego i etanowego przedstawiają równania:

$$2\,HCOOH + O_2 \longrightarrow 2\,CO_2 + 2\,H_2O$$

kwas metanowy — tlen — tlenek węgla(IV) — woda

spalanie całkowite HCOOH

$$CH_3COOH + 2\,O_2 \longrightarrow 2\,CO_2 + 2\,H_2O$$

kwas etanowy — tlen — tlenek węgla(IV) — woda

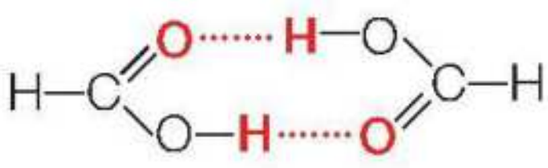
spalanie całkowite CH_3COOH

Wraz z wydłużaniem się łańcucha węglowego zmienia się ich stan skupienia – z ciekłego na stały (dla wyższych kwasów karboksylowych), a zmniejszają lotność i rozpuszczalność w wodzie.

W temperaturze 16,6°C czysty (100%) kwas etanowy krzepnie, tworząc kryształy podobne do lodu. Stąd często stosowana nazwa zestalonego kwasu etanowego – **lodowaty kwas octowy**.

Właściwości kwasów karboksylowych zależą od struktury grupy funkcyjnej oraz budowy i długości łańcucha węglowego. Polarność wiązania w grupie karbonylowej oraz w grupie hydroksylowej powoduje **asocjację kwasów karboksylowych** przez tworzenie wiązań wodorowych.

Wiązania wodorowe między cząsteczkami kwasu metanowego:



Asocjacja cząsteczek kwasów karboksylowych

Asocjacja cząsteczek kwasów karboksylowych jest przyczyną stosunkowo wysokich temperatur wrzenia (tabela 24.) tych związków chemicznych. Ma także wpływ na ich rozpuszczalność w wodzie. Kwasy karboksylowe zawierające do czterech atomów węgla w cząsteczce dobrze rozpuszczają się w wodzie. W miarę wydłużania się łańcucha węglowego zmniejsza się wpływ hydrofilowej grupy karboksylowej —COOH na właściwości kwasu, a zwiększa wpływ grupy węglowodorowej, która jest hydrofobowa.

Tabela 24. Temperatury wrzenia i topnienia wybranych kwasów karboksylowych

Liczba atomów węgla w cząsteczce	Nazwa i wzór kwasu	Masa cząsteczkowa, u	Temperatura		Stan skupienia kwasu
			topnienia*, °C	wrzenia*, °C	
1	kwas metanowy $HCOOH$	46	8,3	100,7	ciecz
2	kwas etanowy CH_3COOH	60	16,6	117,9	ciecz
3	kwas propanowy C_2H_5COOH	74	–20,7	141,0	ciecz
11	kwas undekanowy $C_{10}H_{21}COOH$	186	28,5	284,0	substancja stała

* Temperatury topnienia i wrzenia wyznaczone dla p = 1013 hPa.

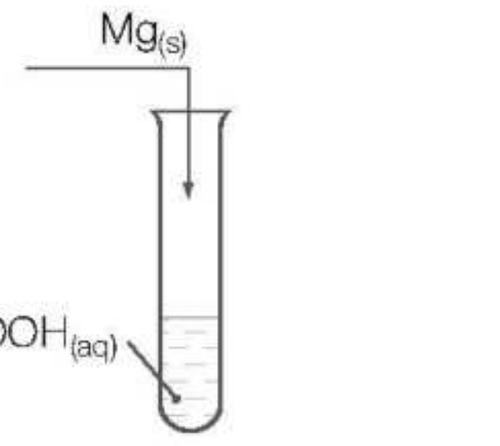
Według: W. Mizerski, *Tablice chemiczne*, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2013.

Reakcje chemiczne kwasów karboksylowych

Doświadczenie 41. CH_3COOH, Mg CH_3COOH

Reakcja kwasu etanowego z magnezem

Odczynniki: roztwór kwasu etanowego, magnez.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, łuczywo.
Instrukcja: Do probówki, w której znajdują się 3 cm^3 roztworu kwasu etanowego, wrzuć wióry magnezu (schemat). Do wylotu probówki zbliż zapalone łuczywo.





Fot. 91. Reakcja kwasu etanowego z magnezem.

Obserwacje: Z probówki wydzielają się pęcherzyki gazu (fot. 91.). Probówka staje się gorąca. Otrzymany gaz zapala się z charakterystycznym dźwiękiem.

Wniosek: Gazem otrzymanym w doświadczeniu jest wodór.

Zachodzi gwałtowna reakcja egzotermiczna zgodnie z równaniem:

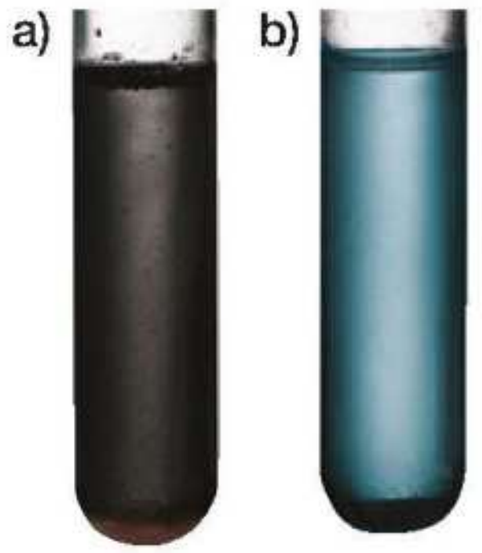
$$\underset{\text{kwas etanowy}}{2\,CH_3COOH} + \underset{\text{magnez}}{Mg} \longrightarrow \underset{\text{etanian magnezu}}{(CH_3COO)_2Mg} + \underset{\text{wodór}}{H_2\uparrow}$$

Doświadczenie 42. CH_3COOH CuO

Reakcja kwasu etanowego z tlenkiem miedzi(II)

Odczynniki: roztwór kwasu etanowego, tlenek miedzi(II).
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, palnik.
Instrukcja: Do probówki, w której znajdują się 3 cm^3 roztworu kwasu etanowego, wsyp niewielką ilość tlenku miedzi(II). Probówkę ogrzewaj (schemat).





Fot. 92. Pod wpływem ogrzewania kwasu etanowego z tlenkiem miedzi(II) (a) powstaje roztwór o barwie niebieskiej (b).

Obserwacje: W trakcie ogrzewania zawartość probówki zmienia barwę z czarnej na niebieską (fot. 92.).
Wniosek: Zmiana barwy roztworu świadczy o pojawieniu się w nim jonów Cu^{2+}. W wyniku reakcji chemicznej powstaje sól – etanian miedzi(II).

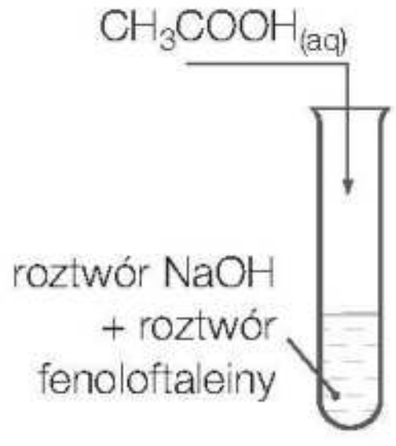
Zachodzi reakcja chemiczna zgodnie z równaniem:

$$\underset{\text{kwas etanowy}}{2\,CH_3COOH} + \underset{\text{tlenek miedzi(II)}}{CuO} \longrightarrow \underset{\text{etanian miedzi(II)}}{(CH_3COO)_2Cu} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

Doświadczenie 43. CH_3COOH, NaOH CH_3COOH

Reakcja kwasu etanowego z wodorotlenkiem sodu

Odczynniki: roztwór wodorotlenku sodu, roztwór kwasu etanowego, roztwór fenoloftaleiny.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, wkraplacze.
Instrukcja: Do probówki z 2 cm^3 roztworu wodorotlenku sodu dodaj kroplę roztworu fenoloftaleiny. Następnie wkraplaj kwas etanowy (schemat) aż do odbarwienia roztworu.



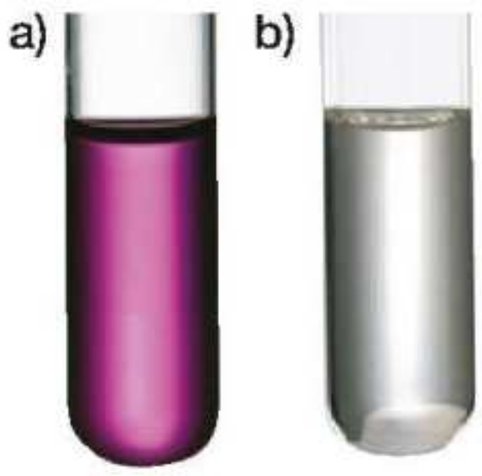
Obserwacje: Po dodaniu roztworu fenoloftaleiny roztwór w probówce zabarwił się na malinowo, a po dodaniu nadmiaru roztworu kwasu etanowego – odbarwił się (fot. 93.).
Wniosek: Odbarwienie roztworu świadczy o zajściu reakcji zobojętniania.

Zachodzi ona zgodnie z równaniem:

$$\underset{\text{kwas etanowy}}{CH_3COOH} + \underset{\text{wodorotlenek sodu}}{NaOH} \longrightarrow \underset{\text{etanian sodu}}{CH_3COONa} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

Produktem reakcji zobojętniania jest dobrze rozpuszczalna sól – **etanian sodu** (octan sodu).

Kwasy karboksylowe, podobnie jak kwasy nieorganiczne, reagują z metalami, tlenkami metali i wodorotlenkami. Produktami tych reakcji chemicznych są sole.

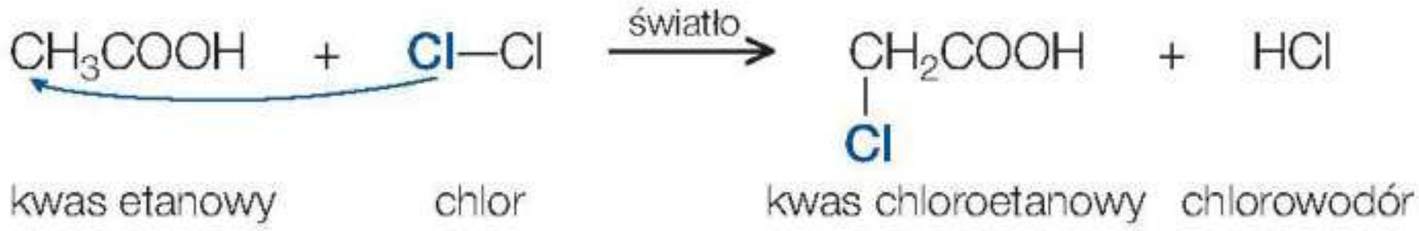


Fot. 93. Reakcja kwasu etanowego z wodorotlenkiem sodu:
a) fenoloftaleina w roztworze zasady sodowej ma barwę malinową,
b) pod wpływem kwasu etanowego roztwór odbarwia się.

Nazwy soli kwasów karboksylowych tworzy się podobnie jak nazwy soli tlenowych kwasów nieorganicznych, dodając końcówkę -**an** do nazwy reszty kwasowej, np. sól kwasu metanowego – metani**an**.

Nasycone kwasy karboksylowe ulegają fluorowcowaniu. Substytucji ulega atom wodoru z grupy alkilowej, np.:

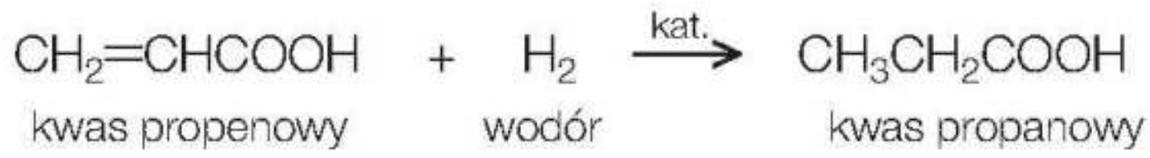
substytucja



Otrzymany kwas chloroetanowy (chlorooctowy) jest znacznie mocniejszy od kwasu etanowego.

Nienasycone kwasy karboksylowe ulegają reakcji addycji – przyłączają atomy wodoru, atomy fluorowców, cząsteczki fluorowcowodorów lub wody, np.:

addycja H_2



Porównanie właściwości kwasów nieorganicznych i kwasów karboksylowych

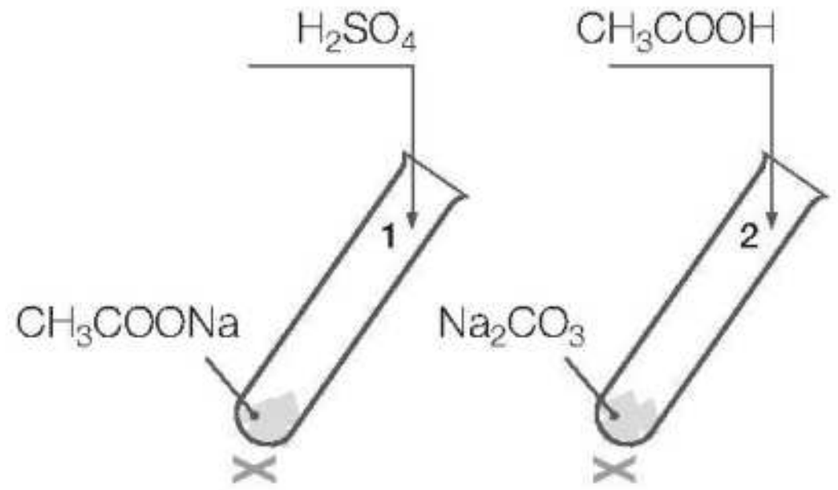
Doświadczenie 44. CH_3COOH, H_2SO_4 CH_3COOH Na_2CO_3

Porównanie mocy kwasów: etanowego, węglowego i siarkowego(VI)

Odczynniki: etanian sodu, węglan sodu, roztwór kwasu siarkowego(VI), roztwór kwasu etanowego.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, palnik.

Instrukcja: W probówce 1. umieść kilka kryształów etanianu sodu, a w probówce 2. – kilka kryształów węglanu sodu. Następnie do probówki 1. dodaj 3 cm^3 roztworu kwasu siarkowego(VI), a do probówki 2. – 3 cm^3 roztworu kwasu etanowego. Lekko ogrzej zawartość obu probówek w płomieniu palnika (schemat).



Obserwacje: W probówce 1. powstaje substancja o charakterystycznym zapachu octu. Zawartość probówki 2. intensywnie się pieni.

Wniosek: Kwas siarkowy(VI) reaguje z etanianem sodu. Jednym z produktów tej reakcji chemicznej jest kwas etanowy.

Reakcja chemiczna zachodzi zgodnie z równaniem:

$$2\,CH_3COONa + H_2SO_4 \longrightarrow Na_2SO_4 + 2\,CH_3COOH$$

etanian sodu — kwas siarkowy(VI) — siarczan(VI) sodu — kwas etanowy

W probówce 2. powstaje tlenek węgla(IV).
Reakcja chemiczna zachodzi zgodnie z równaniem:

$$Na_2CO_3 + 2\,CH_3COOH \longrightarrow 2\,CH_3COONa + CO_2\uparrow + H_2O$$

węglan sodu — kwas etanowy — etanian sodu — tlenek węgla(IV) — woda

Kwas etanowy jest słabszy od kwasu siarkowego(VI), ale mocniejszy od kwasu węglowego, ponieważ wypiera go z węglanu sodu:

H_2CO_3 CH_3COOH H_2SO_4

zwiększanie się mocy kwasu

Kwasy karboksylowe, podobnie jak kwasy nieorganiczne, ulegają reakcjom:

- dysocjacji elektrolitycznej,
- z metalami,
- z tlenkami metali,
- z wodorotlenkami.

Ulegają także reakcjom z solami pochodzącymi od kwasów słabszych niż kwasy karboksylowe (tabela 25.).

Tabela 25. Porównanie przebiegu reakcji kwasów nieorganicznych i kwasów karboksylowych

Rodzaj reakcji chemicznej	Równania reakcji kwasów	
	nieorganicznych, np. kwasu chlorowodorowego HCl	karboksylowych, np. kwasu etanowego CH_3COOH
dysocjacja elektrolityczna	$HCl \xrightarrow{H_2O} H^+ + Cl^-$	$CH_3COOH \overset{H_2O}{\rightleftharpoons} CH_3COO^- + H^+$
reakcja z metalami aktywnymi chemicznie	$2\,HCl + Mg \longrightarrow MgCl_2 + H_2\uparrow$ $2\,H^+ + Mg \longrightarrow Mg^{2+} + H_2\uparrow$	$2\,CH_3COOH + Mg \longrightarrow (CH_3COO)_2Mg + H_2\uparrow$ $2\,H^+ + Mg \longrightarrow Mg^{2+} + H_2\uparrow$
reakcja z tlenkami metali	$2\,HCl + CuO \longrightarrow CuCl_2 + H_2O$ $2\,H^+ + CuO \longrightarrow Cu^{2+} + H_2O$	$2\,CH_3COOH + CuO \longrightarrow (CH_3COO)_2Cu + H_2O$ $2\,H^+ + CuO \longrightarrow Cu^{2+} + H_2O$
reakcja z wodorotlenkami metali	$HCl + KOH \longrightarrow KCl + H_2O$ $H^+ + OH^- \longrightarrow H_2O$	$CH_3COOH + KOH \longrightarrow CH_3COOK + H_2O$ $H^+ + OH^- \longrightarrow H_2O$
reakcja z solami słabszych kwasów	$2\,HCl + Na_2CO_3 \longrightarrow 2\,NaCl + CO_2\uparrow + H_2O$ $2\,H^+ + CO_3^{2-} \longrightarrow CO_2\uparrow + H_2O$	$2\,CH_3COOH + Na_2CO_3 \longrightarrow 2\,CH_3COONa + CO_2\uparrow + H_2O$ $2\,H^+ + CO_3^{2-} \longrightarrow CO_2\uparrow + H_2O$

Moc kwasów karboksylowych

Stała dysocjacji elektrolitycznej K_a – stosunek iloczynu stężeń jonów, powstających podczas dysocjacji elektrolitycznej, do stężenia cząsteczek niezdysocjowanych, pozostających w równowadze chemicznej z jonami.

Moc elektrolitów określają stała dysocjacji elektrolitycznej K_a oraz stopień dysocjacji elektrolitycznej α (patrz *To jest chemia*, cz. 1, s. 336). Stała dysocjacji elektrolitycznej K_a jest to wielkość charakterystyczna dla danego elektrolitu i ma stałą wartość w określonej temperaturze. Im wyższa jest wartość stałej dysocjacji, tym bardziej zdysocjowany (mocniejszy) jest elektrolit. Dlatego stała dysocjacji jest miarą mocy elektrolitu.

Rozpuszczalne w wodzie kwasy karboksylowe ulegają dysocjacji elektrolitycznej, która polega na odłączeniu kationu H^+ od grupy karboksylowej. **Większość kwasów karboksylowych należy do słabych elektrolitów**, a ich stałe dysocjacji przyjmują wartości od 10^{-8} do 10^{-4}.

Kwasy karboksylowe są zazwyczaj **słabsze od kwasów nieorganicznych**. Wynika to z budowy ich cząsteczek, w których można wyróżnić część **niepolarną** (hydrofobową), czyli grupę węglowodorową, oraz część **polarną** (hydrofilową), którą jest grupa karboksylowa:

część niepolarna — $CH_3—CH_2—CH_2$ — $COOH$ — część polarna

Obecność grupy niepolarnej w cząsteczce kwasu karboksylowego utrudnia odłączenie kationu H^+, ponieważ grupa ta, dostarczając elektrony do cząsteczki związku chemicznego, **wzmacnia wiązanie między tlenem i wodorem** w grupie —COOH.

Zapisy wzoru kwasu węglowego:
H_2CO_3
$H_2O + CO_2$

Jednak nie wszystkie kwasy nieorganiczne są mocniejsze od kwasów karboksylowych, np. kwas etanowy CH_3COOH jest mocniejszy m.in. od kwasu siarkowodorowego H_2S i kwasu węglowego H_2CO_3:

HClO	H_2S	H_2CO_3	CH_3COOH	HNO_2	HCl
$K_a = 5{,}0 \cdot 10^{-8}$	$K_a = 1{,}02 \cdot 10^{-7}$	$K_a = 4{,}5 \cdot 10^{-7}$	$K_a = 1{,}75 \cdot 10^{-5}$	$K_a = 2{,}0 \cdot 10^{-4}$	$K_a = 1{,}0 \cdot 10^{7}$

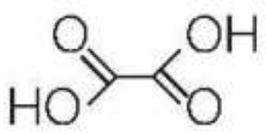
zwiększanie się mocy kwasu

Na moc kwasu karboksylowego **wpływa** również **długość łańcucha** węglowego, który stanowi część niepolarną jego cząsteczki. Im dłuższy jest łańcuch węglowodorowy, tym mniejsza jest moc kwasu karboksylowego. W związku z tym najmocniejszym z szeregu monohydroksylowych kwasów alifatycznych jest kwas metanowy, zaliczany do kwasów słabych. Kwas etanowy jest od niego znacznie słabszy, a pozostałe kwasy w tym szeregu homologicznym mają moc zbliżoną do mocy kwasu etanowego:

CH_3CH_2COOH	$CH_3CH_2CH_2COOH$	CH_3COOH	HCOOH
$K_a = 1{,}34 \cdot 10^{-5}$	$K_a = 1{,}53 \cdot 10^{-5}$	$K_a = 1{,}75 \cdot 10^{-5}$	$K_a = 1{,}84 \cdot 10^{-4}$

zwiększanie się mocy kwasu

kwas etanodiowy



$K_a = 5{,}4 \cdot 10^{-2}$

O mocy kwasu decyduje także **liczba grup karboksylowych** w jego cząsteczce – **im jest ich więcej**, tym kwas jest **mocniejszy**.

Wpływ podstawnika na moc kwasu karboksylowego

Obecność podstawnika w grupie alkilowej cząsteczki kwasu karboksylowego może znacząco wpłynąć na jego moc. Wpływ podstawników **zależy od ich rodzaju, liczby i położenia** w cząsteczce kwasu karboksylowego.

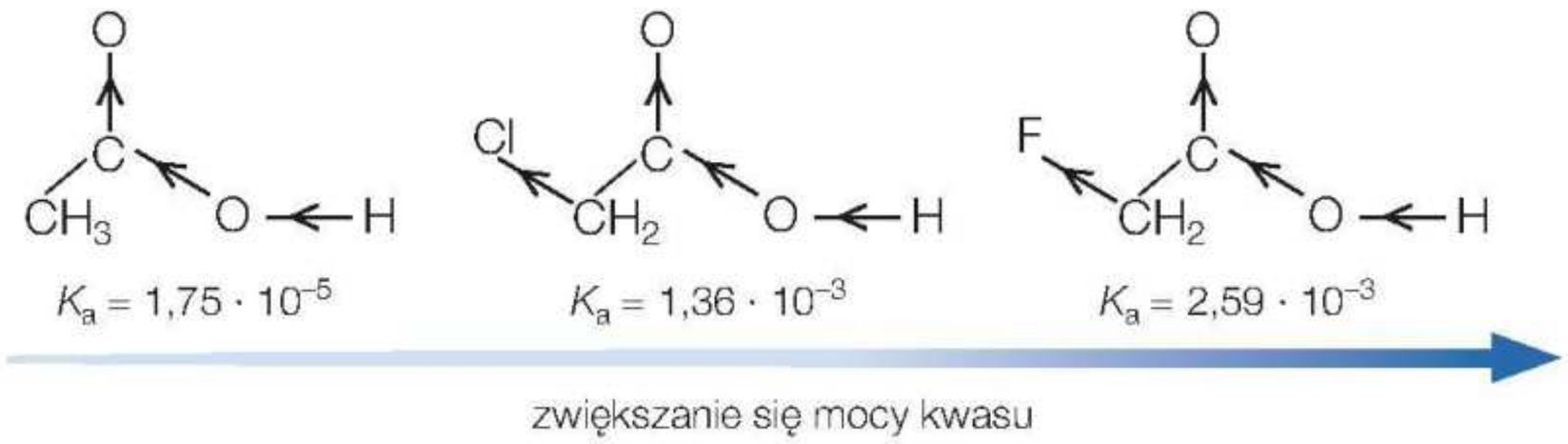
Podstawniki o charakterze **elektronoakceptorowym** (EA) powodują przemieszczanie się elektronów w kierunku podstawnika. Zmniejszają w ten sposób gęstość elektronów w obrębie wiązania O—H grupy karboksylowej, przez co osłabiają to wiązanie i ułatwiają oderwanie kationu H^+.

Podstawniki elektronoakceptorowe (EA) są to podstawniki, które „wyciągają" elektrony.

Podstawniki **elektronoakceptorowe zwiększają moc kwasu karboksylowego** (rys. 42.).

Przykłady podstawników elektronoakceptorowych:

- atom chlorowca, np. —Cl, —Br,
- grupa nitrowa —NO_2.

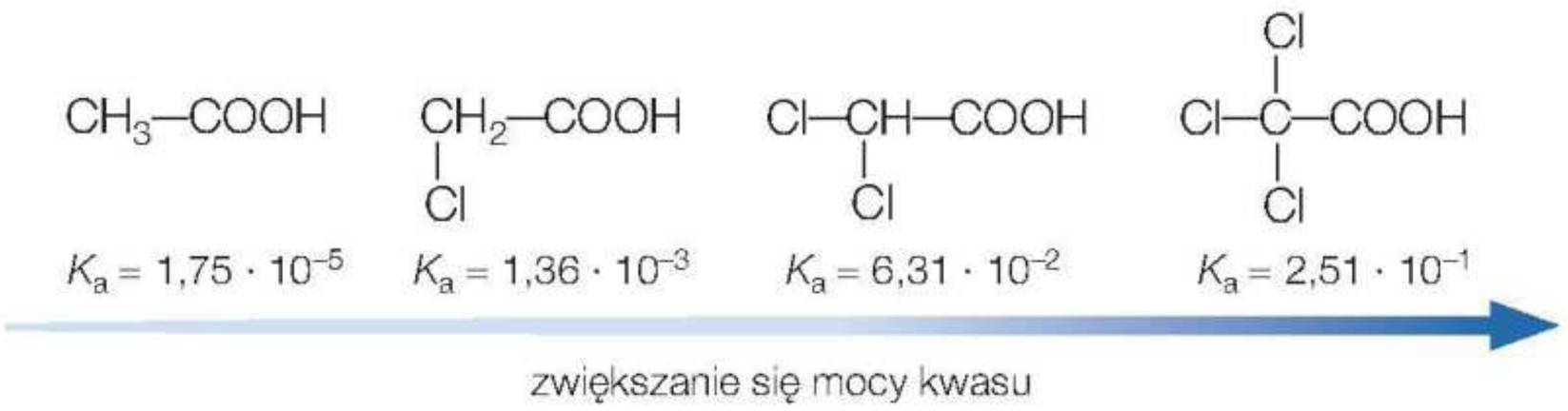


Rys. 42. Kierunek przemieszczania się elektronów w cząsteczkach kwasów: etanowego, chloroetanowego oraz fluoroetanowego.

Kwas fluoroetanowy jest mocniejszy od kwasu chloroetanowego, ponieważ elektroujemność fluoru jest większa niż elektroujemność chloru.

Na zwiększanie mocy kwasu wpływają także:

- **liczba podstawników** – im jest ich więcej, tym kwas jest mocniejszy, np.:



- **miejsce przyłączenia podstawnika** – kwas jest mocniejszy, jeśli podstawnik znajduje się bliżej grupy —COOH, np.:

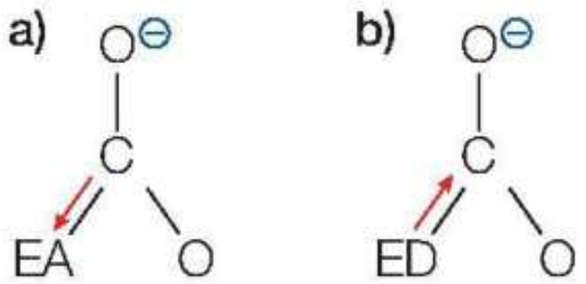


- **elektroujemność podstawnika** – kwas jest mocniejszy jeżeli elektroujemność podstawnika jest większa.

Podstawniki elektronodonorowe (ED) są to podstawniki, które „dostarczają" elektrony.

Z kolei **podstawniki elektronodonorowe** (ED) powodują odwrotny ruch elektronów niż podstawniki elektronoakceptorowe. Zwiększają one gęstość elektronów w obrębie wiązania O—H grupy karboksylowej. Powoduje to wzmocnienie wiązania i utrudnia oderwanie protonu H^+ (rys. 43.). **Podstawniki elektronodonorowe zmniejszają moc kwasów karboksylowych**.

Przykłady podstawników elektronodonorowych:
- grupy alkilowe, np. $-CH_3$,
- grupa hydroksylowa —OH.



Rys. 43. Kierunek przemieszczania się elektronów w anionie karboksylanowym podstawionym:
a) stabilizującą grupą elektronoakceptorową,
b) destabilizującą grupą elektronodonorową.

Podstawniki elektronoakceptorowe (EA) zwiększają moc kwasów karboksylowych, kiedy:
- znajdują się bliżej grupy —COOH w cząsteczce,
- jest ich więcej w cząsteczce,
- mają większą elektroujemność.

Natomiast podstawniki elektronodonorowe (ED) w wymienionych przypadkach odpowiednio zmniejszają moc kwasów karboksylowych, czyli im bliżej znajdują się grupy —COOH w cząsteczce, im więcej jest ich w cząsteczce albo im mają większą elektrojemność, tym moc kwasu karboksylowego jest mniejsza.

Hydroliza soli kwasów karboksylowych

CH_3COONa to sól **słabego kwasu** CH_3COOH i **mocnej zasady** NaOH

Sole kwasów karboksylowych na ogół dobrze rozpuszczają się w wodzie. Wodny roztwór etanianu sodu, podobnie jak roztwory soli innych kwasów karboksylowych, ma **odczyn zasadowy**. Między jonami etanianowymi, pochodzącymi z dysocjacji tej soli, i wodą zachodzi reakcja hydrolizy anionowej:

$$\underset{\text{etanian sodu}}{CH_3COONa} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{anion etanianowy}}{CH_3COO^-} + \underset{\text{kation sodu}}{Na^+}$$

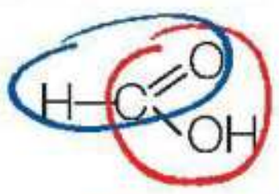
$$\underset{\text{anion etanianowy}}{CH_3COO^-} + \underset{\text{woda}}{H_2O} \rightleftharpoons \underset{\text{kwas etanowy}}{CH_3COOH} + \underset{\text{anion wodorotlenkowy}}{OH^-}$$

odczyn zasadowy

Właściwości chemiczne kwasu metanowego

Szczególne właściwości chemiczne wykazuje kwas metanowy. W jego cząsteczce występują:

grupa aldehydowa



grupa karboksylowa

- grupa karboksylowa $-C(=O)-OH$
- grupa aldehydowa $H-C(=O)-$.

Taka budowa cząsteczki powoduje, że w reakcjach chemicznych zachodzących w środowisku słabo zasadowym lub kwasowym kwas metanowy, podobnie jak aldehydy, wykazuje właściwości redukujące. Można to sprawdzić doświadczalnie (patrz doświadczenie 45., s. 235).

Doświadczenie 45.

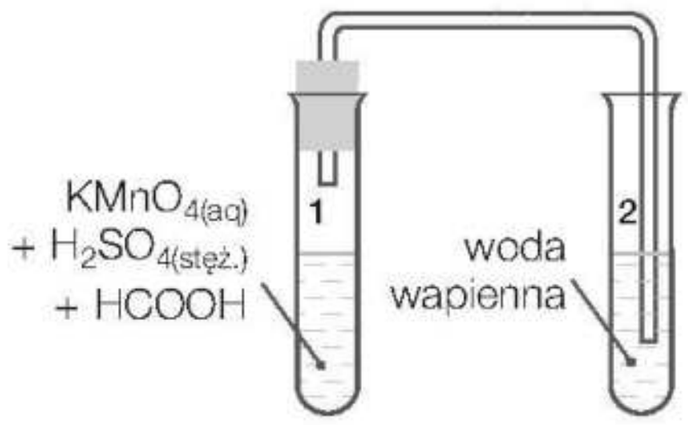


Reakcja kwasu metanowego z wodnym roztworem manganianu(VII) potasu i kwasem siarkowym(VI)

Odczynniki: wodny roztwór manganianu(VII) potasu, stężony roztwór kwasu siarkowego(VI), roztwór kwasu metanowego, woda wapienna.

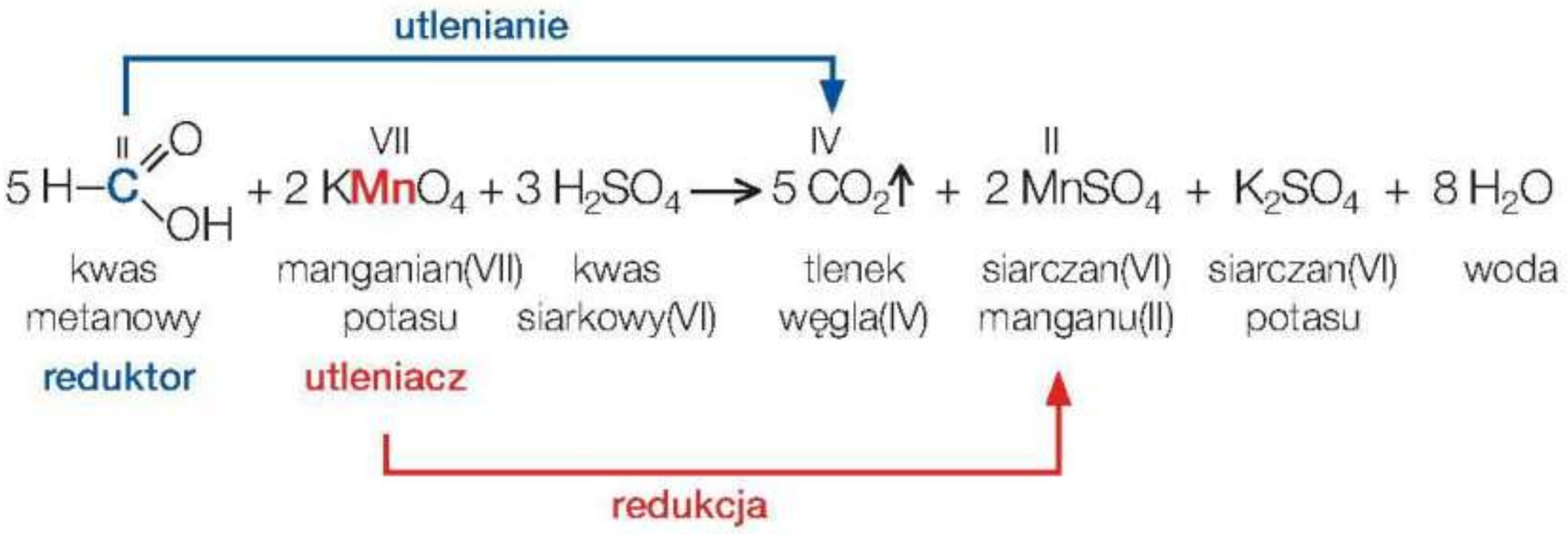
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, korek z rurką odprowadzającą.

Instrukcja: Do probówki 1. z roztworem manganianu(VII) potasu i stężonym roztworem kwasu siarkowego(VI) dodaj ostrożnie roztwór kwasu metanowego. Wydzielający się gaz wprowadź do probówki 2. z wodą wapienną (schemat).



Obserwacje: Roztwór w probówce 1. odbarwił się. Woda wapienna w probówce 2. zmętniała pod wpływem wydzielającego się gazu.

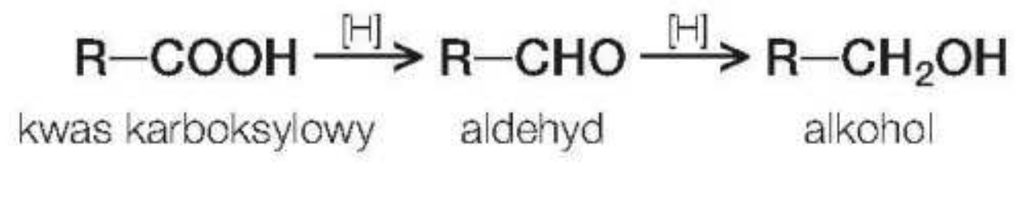
Wniosek: Zaszła reakcja utleniania-redukcji zgodnie z równaniem:



Współczynniki stechiometryczne w tej reakcji chemicznej można ustalić metodą bilansu elektronowego lub bilansu jonowo-elektronowego.

Inne kwasy karboksylowe nie wykazują właściwości redukujących, ponieważ ich cząsteczki nie zawierają grupy aldehydowej $-C(=O)-H$.

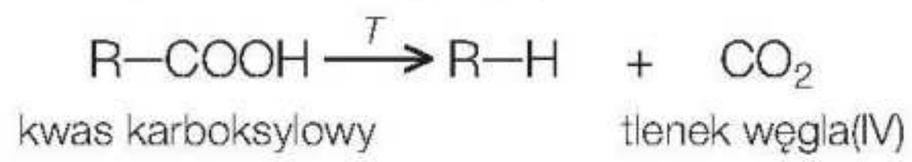
Kwasy karboksylowe mogą ulegać redukcji zgodnie ze schematem:



Reakcja dekarboksylacji

Reakcją chemiczną, w której cała grupa karboksylowa –COOH zostaje zastąpiona atomem wodoru, przy czym wydziela się tlenek węgla(IV), jest **reakcja dekarboksylacji**.

Ogólny zapis reakcji dekarboksylacji przedstawia równanie:



ogólny zapis reakcji dekarboksylacji

Zastosowania

Kwasy karboksylowe

Kwas octowy (kwas etanowy) stosuje się jako rozpuszczalnik w rafinacji kwasu benzeno-1,4-dikarboksylowego, używanego do produkcji poli(tereftalanu etylenu) (PET), z którego wykonane są butelki.
Natomiast właściwości przeciwbakteryjne i przeciwgrzybiczne kwasu benzoesowego wykorzystuje się w odżywczych kremach do twarzy oraz w maściach.





■ Przemysł tworzyw sztucznych

Z kwasu akrylowego otrzymuje się estry (tzw. akrylany) stosowane do produkcji m.in. **soczewek kontaktowych**, aparatów słuchowych oraz wypełnień zębowych.



■ Przemysł kosmetyczny

Kwas azelainowy, ze względu na działanie przeciwzapalne i antybakteryjne, wykorzystuje się jako składnik **peelingów** oczyszczających skórę.

■ Przemysł spożywczy

Kwasy benzoesowy (oznaczany numerem E 210), mrówkowy (metanowy – E 236) i octowy (etanowy – E 260) są wykorzystywane jako substancje konserwujące np. **napoje gazowane**, ogórki konserwowe i soki owocowe.

Chemia w medycynie

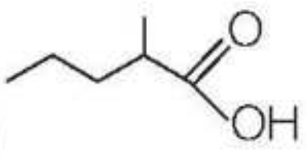
Kwas cynamonowy wykorzystuje się do produkcji acemetacyny – **niesteroidowego leku przeciwzapalnego (NLPZ)**, który stosuje się głównie do uśmierzania bólu związanego z przewlekłym zapaleniem mięśni i ścięgien, a także chorobą zwyrodnieniową stawów.

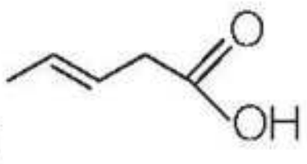


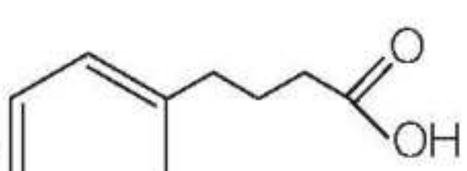
Zadania

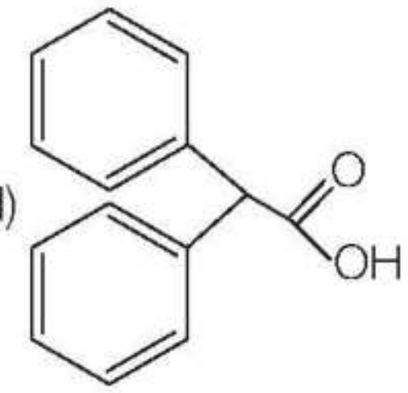
ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Podaj nazwy systematyczne kwasów karboksylowych o podanych wzorach kreskowych.

a) 

b) 

c) 

d) 

2. Napisz wzory sumaryczne alkoholi, które należy utlenić, aby otrzymać kwasy karboksylowe o podanych nazwach.

a) kwas benzenokarboksylowy
b) kwas 3-fenylopropanowy
c) kwas 2-metylopropanowy
d) kwas 2,3-dimetylobutanowy

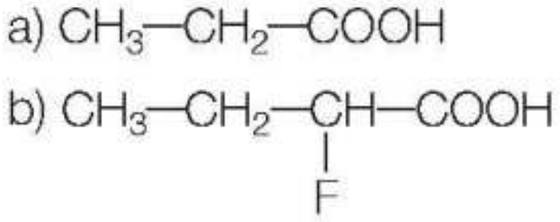
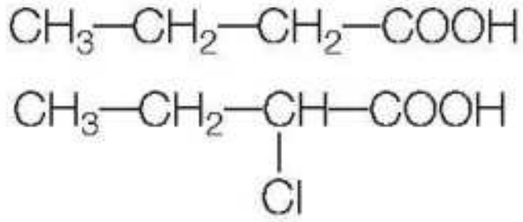
3. Napisz wzory półstrukturalne i nazwy systematyczne substancji chemicznych oznaczonych literami *A*–*D*. Napisz równania reakcji chemicznych oznaczonych cyframi 1–4.

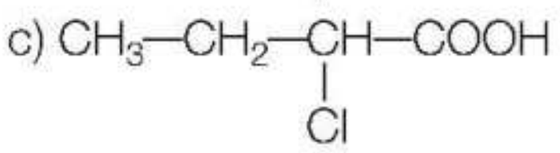
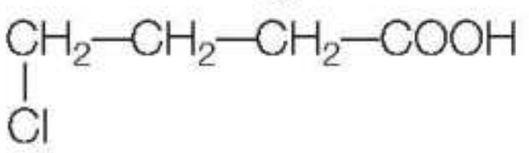
$$A \xrightarrow[1]{Cl_2,\ \text{światło}} B \xrightarrow[2]{KOH_{(aq)}} C \xrightarrow[3]{[O]} D \xrightarrow[4]{[O]} CH_3COOH$$

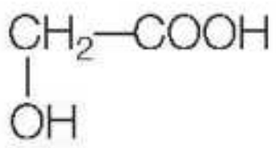
4. Oblicz, ile centymetrów sześciennych wody należy dolać do 200 g 10-procentowego roztworu kwasu etanowego (octu), aby powstał roztwór 6-procentowy.

5. Wskaż, który z kwasów o podanych wzorach ma większą moc. Odpowiedź uzasadnij.

a) $CH_3—CH_2—COOH$ czy $CH_3—CH_2—CH_2—COOH$

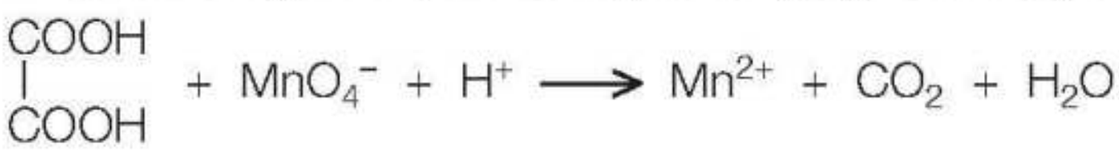
b)  czy 

c)  czy 

d) $CH_3—COOH$ czy 

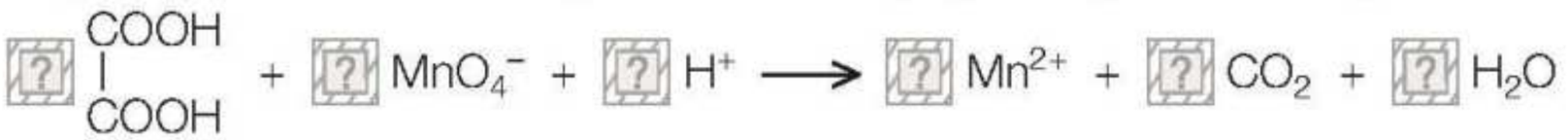
Informacja do zadań 6.–8.

Kwas szczawiowy (etanodiowy), podobnie jak kwas mrówkowy (metanowy), w obecności zakwaszonego roztworu manganianu(VII) potasu wykazuje właściwości redukujące.

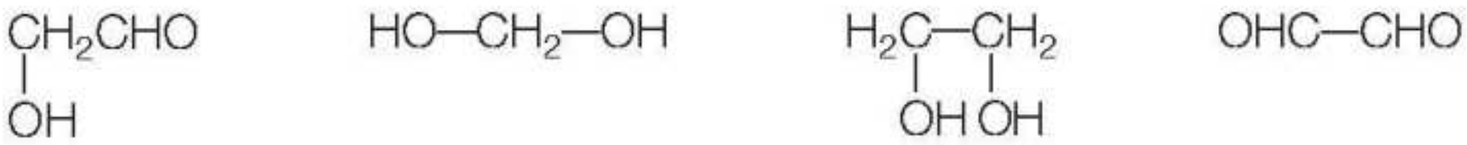


6. Napisz, jakie obserwacje towarzyszą reakcji chemicznej opisanej powyższym równaniem.

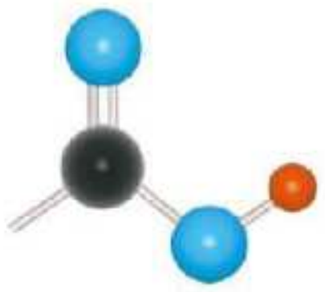
7. Napisz w formie jonowej z uwzględnieniem liczby oddawanych lub pobieranych elektronów (zapis jonowo-elektronowy) równania reakcji utleniania i redukcji zachodzące podczas reakcji kwasu szczawiowego z zakwaszonym roztworem $KMnO_4$, a następnie uzupełnij na schemacie współczynniki stechiometryczne zachodzącej reakcji chemicznej.



8. Wskaż wzory związków chemicznych, których utlenienie w odpowiednich warunkach przy pomocy zakwaszonego roztworu dichromianu(VI) potasu prowadzi do otrzymania kwasu szczawiowego. Opisz, jak zmienia się barwa mieszaniny reakcyjnej w tej reakcji chemicznej.



20. Wyższe kwasy karboksylowe



Rys. 44. Model grupy karboksylowej.

Modele atomów:
węgla tlenu
wodoru

Wśród kwasów karboksylowych szczególną grupę stanowią związki chemiczne zbudowane z długich łańcuchów węglowych, zawierających od kilkunastu atomów węgla w cząsteczce, oraz grupy karboksylowej (rys. 44.), tzw. **wyższe kwasy karboksylowe**.

Występowanie wyższych kwasów karboksylowych

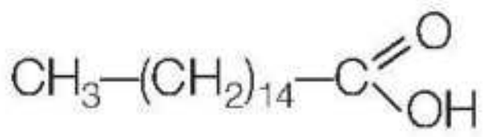
Wyższe kwasy karboksylowe są składnikami zarówno organizmów roślin, jak i zwierząt. Powszechnie występują w roślinach, które są surowcem do wytwarzania olejów. Kwas palmitynowy $C_{15}H_{31}COOH$ to składnik oleju palmowego uzyskiwanego z nasion lub miąższu olejowca gwinejskiego (fot. 94.), czyli palmy oleistej. Składnikiem olejów: lnianego – wytwarzanego z nasion lnu, sojowego – otrzymywanego z nasion soi oraz rzepakowego – uzyskiwanego z nasion rzepaku jest kwas linolenowy $C_{17}H_{29}COOH$. Kwas ten występuje też w żółtkach jaj. Z kolei głównym składnikiem m.in. nasion słonecznika jest kwas linolowy $C_{17}H_{31}COOH$. Natomiast kwas stearynowy $C_{17}H_{35}COOH$ znajduje się w maśle kakaowym, a także w łoju baranim i wołowym. Większość naturalnych kwasów tłuszczowych to kwasy nienasycone. Nienasycone wyższe kwasy karboksylowe, np. kwas linolowy lub linolenowy, pełnią szczególne funkcje w funkcjonowaniu organizmu i nazywane są niezbędnymi, nienasyconymi kwasami tłuszczowymi (NNKT).



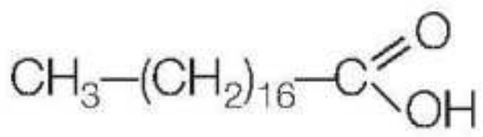
Fot. 94. Uprawa palm oleistych często nie jest prowadzona w sposób zrównoważony i jest przyczyną wycinania lasów deszczowych – ma to negatywny wpływ na środowisko przyrodnicze.

Budowa cząsteczek wyższych kwasów karboksylowych

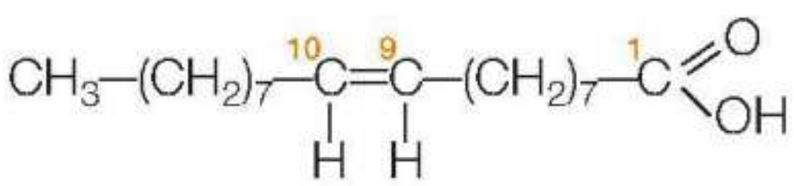
Wyższe kwasy karboksylowe mają długie łańcuchy węglowe. Są **składnikami naturalnych tłuszczów** i dlatego noszą nazwę **kwasów tłuszczowych**. Do najbardziej znanych kwasów tłuszczowych należą:



$C_{15}H_{31}COOH$
kwas heksadekanowy
kwas palmitynowy



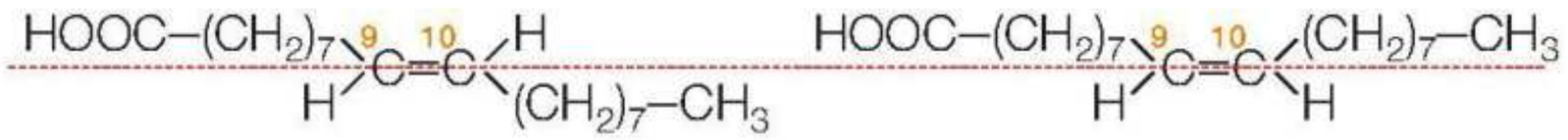
$C_{17}H_{35}COOH$
kwas oktadekanowy
kwas stearynowy



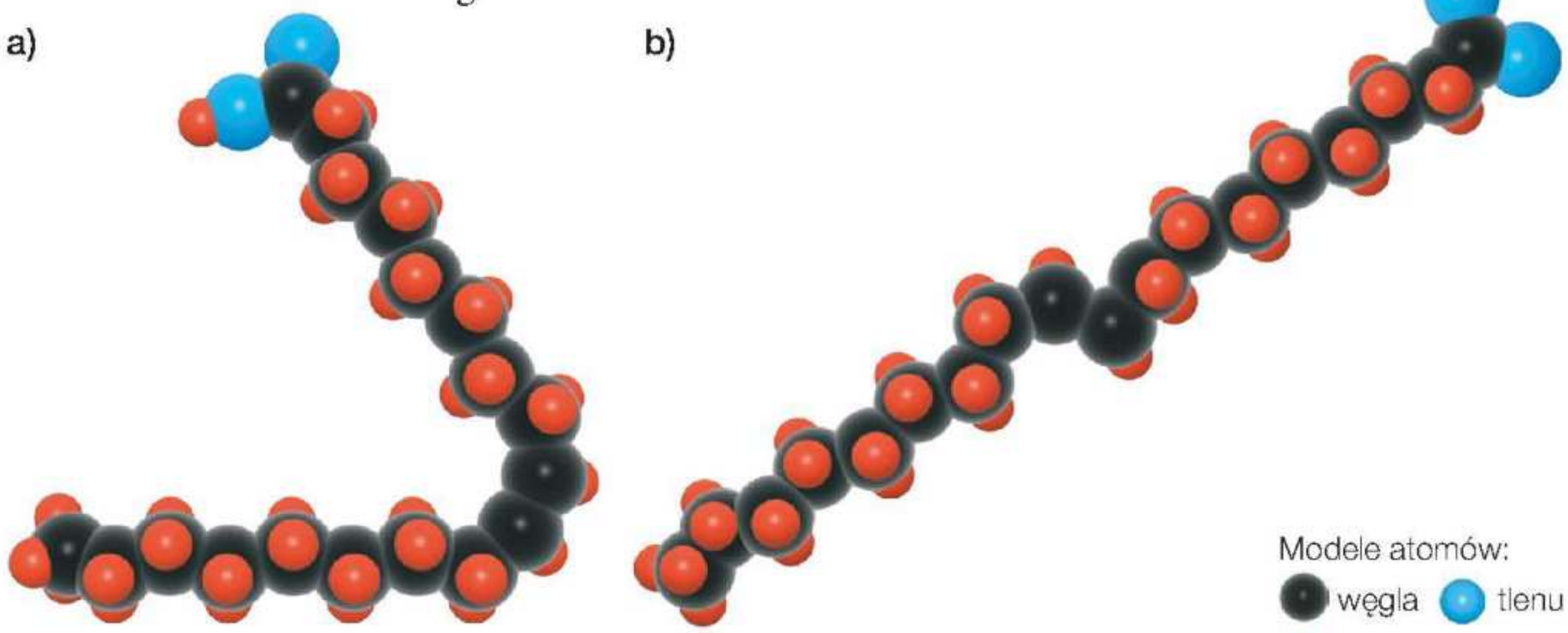
$C_{17}H_{33}COOH$
kwas oktadek-9-enowy
kwas oleinowy

Izomeria wyższych kwasów karboksylowych

Kwas oleinowy jest **nienasyconym kwasem tłuszczowym** – zawiera wiązanie podwójne między 9. a 10. atomem węgla w cząsteczce. Nienasycone kwasy tłuszczowe ze względu na obecność wiązań podwójnych występują w postaci izomerów *cis-trans* (*Z*, *E*):



W miejscu wiązania podwójnego cząsteczka kwasu oleinowego **o konfiguracji przestrzennej *cis* (*Z*) jest zgięta, a cząsteczka o konfiguracji *trans* (*E*) ma strukturę liniową** (rys. 45.). Struktury przestrzenne *cis-trans* (*Z*, *E*) cząsteczek nienasyconych kwasów tłuszczowych mają istotny wpływ na ich właściwości i działanie biologiczne.



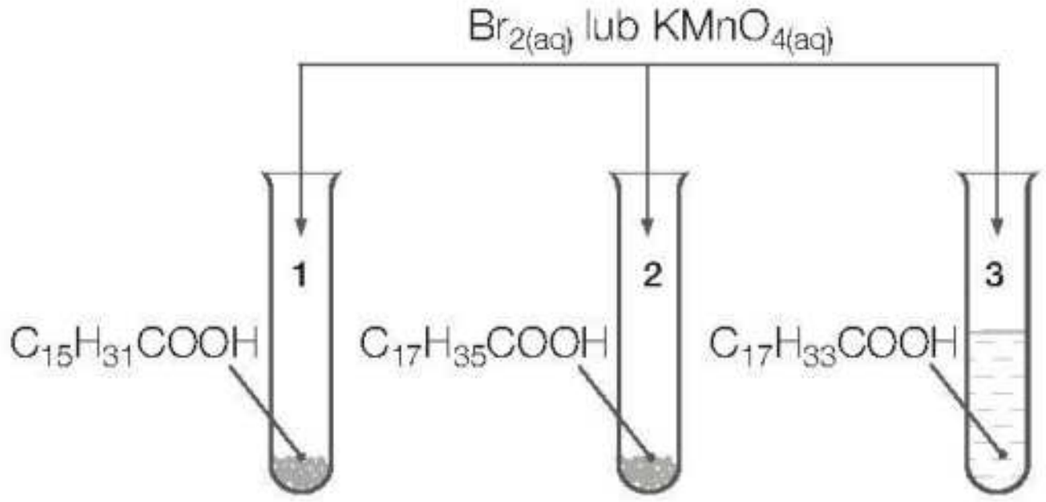
Rys. 45. Modele cząsteczek kwasów: a) *cis*-oleinowego, b) *trans*-oleinowego.

Właściwości wyższych kwasów karboksylowych

Doświadczenie 46. $KMnO_4$ $Br_{2(aq)}$

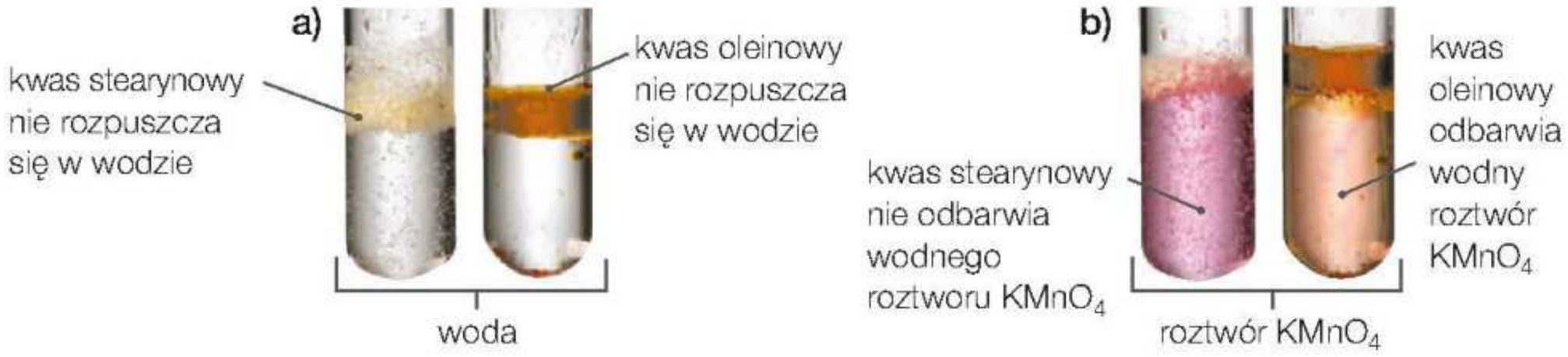
Badanie właściwości wyższych kwasów karboksylowych

Odczynniki: kwas palmitynowy, kwas stearynowy, kwas oleinowy, woda bromowa, rozcieńczony wodny roztwór manganianu(VII) potasu.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, palnik, łyżki do spalań.
Instrukcja: a) Określ stan skupienia, barwę, zapach i rozpuszczalność w wodzie kwasów: palmitynowego, stearynowego i oleinowego.
b) Nabierz kolejno małe ilości każdego z tych kwasów na łyżkę do spalań. Łyżkę umieść w płomieniu palnika, a następnie zgaś palnik.
c) Do probówek z badanymi kwasami dodaj wodę bromową lub rozcieńczony wodny roztwór manganianu(VII) potasu (schemat) i wstrząsaj.



Obserwacje: Kwasy stearynowy i palmitynowy są to białe substancje stałe. Natomiast kwas oleinowy jest bezbarwną, oleistą cieczą (patrz fot. 96., s. 240).

Wszystkie badane wyższe kwasy karboksylowe są nierozpuszczalne w wodzie (fot. 95.). Wszystkie kwasy użyte w tym doświadczeniu chemicznym spalają się żółtym płomieniem.



Fot. 95. Rozpuszczanie $C_{17}H_{35}COOH$ i $C_{17}H_{33}COOH$ w wodzie (a). Reakcje chemiczne wyższych kwasów karboksylowych z wodnym roztworem manganianu(VII) potasu (b).



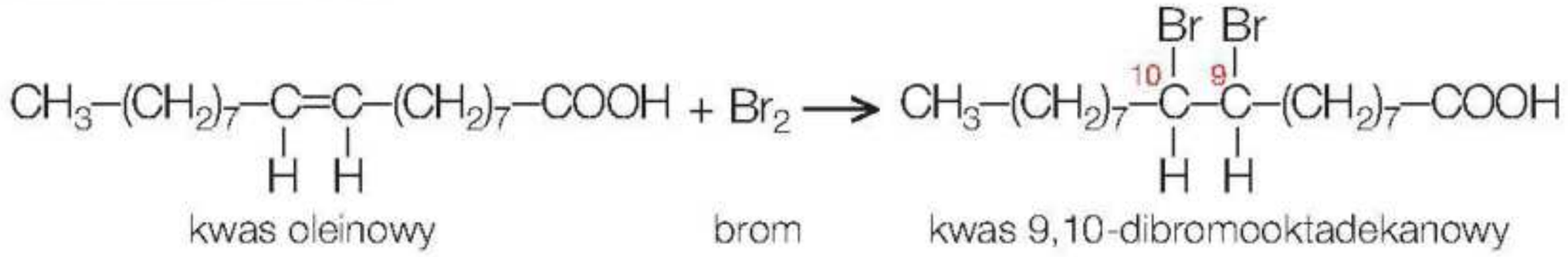
Fot. 96. Wyższe kwasy karboksylowe.

Wodę bromową lub rozcieńczony roztwór manganianu(VII) potasu odbarwił jedynie kwas oleinowy (fot. 95.). Powstała substancja ma stały stan skupienia.

Wniosek: Odbarwienie wody bromowej i powstanie substancji stałej w probówce 3. świadczy o obecności wiązania wielokrotnego (podwójnego) w cząsteczce kwasu oleinowego.

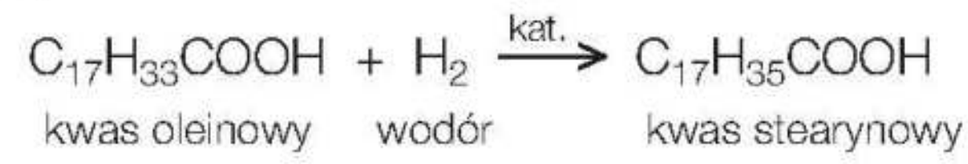
Reakcja chemiczna z bromem jest reakcją addycji i przebiega zgodnie z równaniem:

addycja Br_2



Do nienasyconego kwasu oleinowego mogą przyłączać się także inne substancje, np. wodór. W wyniku reakcji addycji wodoru, przeprowadzonej w obecności katalizatora (Ni, Pt lub Pd), otrzymuje się nasycony kwas stearynowy:

addycja H_2



Reakcja addycji wodoru do kwasu oleinowego jest stosowana w przemyśle spożywczym do **utwardzania tłuszczów** (patrz s. 265), czyli otrzymywania tłuszczów stałych z ciekłych olejów roślinnych:



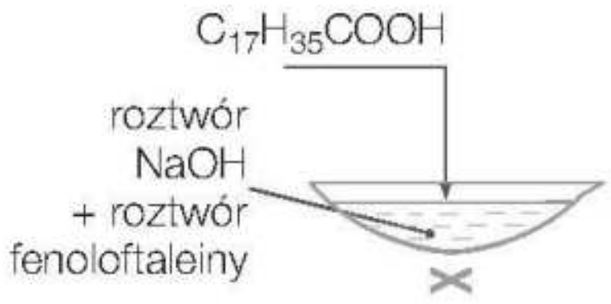
Doświadczenie 47. NaOH

Reakcja kwasu stearynowego z zasadą sodową

Odczynniki: stężony roztwór wodorotlenku sodu, roztwór fenoloftaleiny, kwas stearynowy.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: parownica, palnik, bagietka.

Instrukcja: W parownicy umieść ok. 3 cm^3 stężonego roztworu zasady sodowej. Dodaj kroplę roztworu fenoloftaleiny. Dosypuj kwasu stearynowego aż do powstania gęstej papki i odbarwienia się substancji. Parownicę ostrożnie ogrzewaj (schemat) i mieszaj jej zawartość bagietką. Po ostudzeniu produktu sprawdź, jaki jest w dotyku, i umyj ręce.





Fot. 97. Reakcja kwasu stearynowego z wodorotlenkiem sodu: a) ogrzewanie mieszaniny w parownicy, b) produkt reakcji chemicznej.

Obserwacje: Substancja ogrzewana w parownicy intensywnie się pieni (fot. 97.a). Roztwór fenoloftaleiny odbarwia się. Po ostudzeniu powstaje biała, śliska w dotyku masa (fot. 97.b), która rozpuszcza się w wodzie.

Wniosek: Kwas stearynowy reaguje z wodorotlenkiem sodu. W tej reakcji chemicznej kwas stearynowy zachowuje się jak inne kwasy, tworząc z zasadami sole.

Sole kwasów tłuszczowych nazywane są mydłami. Produktem reakcji chemicznej jest **sól kwasu stearynowego – stearynian sodu** (oktadekanian sodu), czyli **mydło sodowe**:

$$\underset{\text{kwas stearynowy}}{C_{17}H_{35}COOH} + \underset{\text{wodorotlenek sodu}}{NaOH} \longrightarrow \underset{\substack{\text{stearynian sodu}\\(\text{mydło})}}{C_{17}H_{35}COONa} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

reakcja otrzymywania mydła

Podobnie reagują kwasy palmitynowy i oleinowy. W wyniku reakcji tych kwasów z zasadą sodową powstają sole – **palmitynian sodu** (heksadekanian sodu) $C_{15}H_{31}COONa$ i **oleinian sodu** (oktadek-9-enian sodu) $C_{17}H_{33}COONa$.

Zastosowania

Wyższe kwasy karboksylowe

Mieszanina kwasów stearynowego i palmitynowego, czyli stearyna, to jedna z najbardziej cenionych substancji wykorzystywanych do produkcji świec. Świece stearynowe podczas spalania nie uwalniają szkodliwych substancji.





Przemysł kosmetyczny

Sole sodu i potasu kwasów stearynowego, palmitynowego oraz oleinowego są powszechnie stosowane do produkcji **mydeł**. Ze względu na właściwości regenerujące i łagodzące kwasy γ-linolenowy i arachidonowy wchodzą w skład kosmetyków nawilżających i przeciwzmarszczkowych.



Przemysł gumowy

Związki wyższych kwasów tłuszczowych, np. stearyna, wykorzystywane są do produkcji wyrobów gumowych, m.in. opon i **uszczelek**. Pełnią funkcję zmiękczacza, dzięki czemu zwiększają elastyczność oraz wytrzymałość gotowego produktu na rozciąganie.

Przemysł lakierniczy

Olej tungowy, którego głównym składnikiem jest kwas oleostearynowy, wykorzystuje się do produkcji lakierów i bardzo trwałych **impregnatów do drewna**. Służą one np. do zabezpieczania łodzi przed działaniem wody morskiej.

Chemia w medycynie

Składnikiem preparatów stosowanych w **leczeniu trądziku** i stanów zapalnych skóry jest kwas laurynowy, który ma właściwości przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze i przeciwwirusowe. Używa się go też jako suplementu wspomagającego układ odpornościowy i regulującego poziom cholesterolu w organizmie.



Mydła – sole wyższych kwasów karboksylowych

Sole sodowe i potasowe wyższych kwasów karboksylowych (mydła sodowe i potasowe) są dobrze rozpuszczalne w wodzie. W wodnym roztworze dysocjują na jony, np.:

Mydła – sole sodu lub potasu wyższych kwasów karboksylowych, głównie stearynowego i palmitynowego.

$$\underset{\text{stearynian sodu}}{C_{17}H_{35}COONa} \xrightarrow{H_2O} \underset{\substack{\text{anion stearynianowy}\\(\text{oktadekanianowy})}}{C_{17}H_{35}COO^-} + \underset{\text{kation sodu}}{Na^+}$$

$$\underset{\text{palmitynian potasu}}{C_{15}H_{31}COOK} \xrightarrow{H_2O} \underset{\substack{\text{anion palmitynianowy}\\(\text{heksadekanianowy})}}{C_{15}H_{31}COO^-} + \underset{\text{kation potasu}}{K^+}$$

Aniony pochodzące od wyższych kwasów karboksylowych w wodnym roztworze ulegają reakcji hydrolizy anionowej – roztwory takie wykazują odczyn zasadowy:

odczyn zasadowy

$$\underset{\text{anion stearynianowy}}{C_{17}H_{35}COO^-} + \underset{\text{woda}}{H_2O} \rightleftharpoons \underset{\text{kwas stearynowy}}{C_{17}H_{35}COOH} + \underset{\text{anion wodorotlenkowy}}{OH^-}$$

$$\underset{\text{anion palmitynianowy}}{C_{15}H_{31}COO^-} + \underset{\text{woda}}{H_2O} \rightleftharpoons \underset{\text{kwas palmitynowy}}{C_{15}H_{31}COOH} + \underset{\text{anion wodorotlenkowy}}{OH^-}$$

Mydła sodowe są twarde i białe, a mydła potasowe mają kolor szary i są maziste.

Wodne roztwory mydeł mają odczyn zasadowy.

Sole wapnia i magnezu wyższych kwasów karboksylowych to związki chemiczne trudno rozpuszczalne w wodzie. Ich osady strącają się jeżeli do wody zawierającej jony Ca^{2+} lub Mg^{2+} (wody twardej) doda się mydła sodowego lub potasowego (fot. 98.a):

Twarda woda – woda, która zawiera jony Ca^{2+} i Mg^{2+}.

$$\underset{\substack{2\ \text{anion stearynianowy}}}{2\ C_{17}H_{35}COO^-} + \underset{\text{kation wapnia}}{Ca^{2+}} \longrightarrow \underset{\text{stearynian wapnia}}{(C_{17}H_{35}COO)_2Ca\downarrow}$$

$$\underset{\substack{2\ \text{anion palmitynianowy}}}{2\ C_{15}H_{31}COO^-} + \underset{\text{kation magnezu}}{Mg^{2+}} \longrightarrow \underset{\text{palmitynian magnezu}}{(C_{15}H_{31}COO)_2Mg\downarrow}$$



Fot. 98. Zachowanie mydła w wodzie: a) twardej, b) miękkiej.

Osady utrudniają powstawanie piany i mycie oraz pranie w wodzie twardej.

W wodzie, która nie zawiera jonów Ca^{2+} i Mg^{2+} lub zawiera niewielkie ich stężenie, mydło pieni się bardzo dobrze i nie powstaje osad (fot. 98.b).

Substancje powierzchniowo czynne

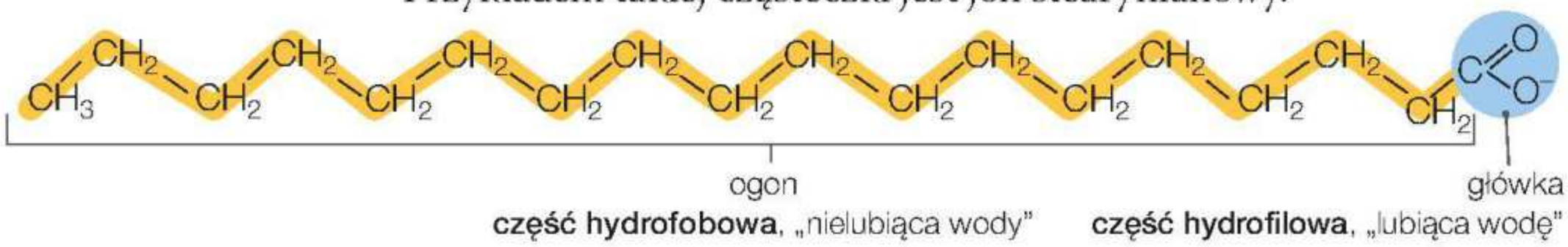
Detergenty – syntetyczne środki piorące i czyszczące.

Mydła, płyny do mycia naczyń i proszki do prania są zaliczane do substancji powierzchniowo czynnych, które obniżają napięcie powierzchniowe wody. Nazywane są także surfaktantami i detergentami.

Ich cząsteczki (patrz rys. 46., s. 244) są zbudowane z dwóch elementów:

- część niepolarna to **hydrofobowy** łańcuch węglowodorowy – ogon,
- część polarna to **hydrofilowa** jonowa grupa funkcyjna, np. $-COO^-$ – główka.

Przykładem takiej cząsteczki jest jon stearynianowy.



Rys. 46. Dwuczłonowa budowa jonu stearynianowego.

Mydła są zaliczane do **anionowych substancji powierzchniowo czynnych**, ponieważ ich część hydrofilowa ma ładunek ujemny.

Mechanizm mycia i prania



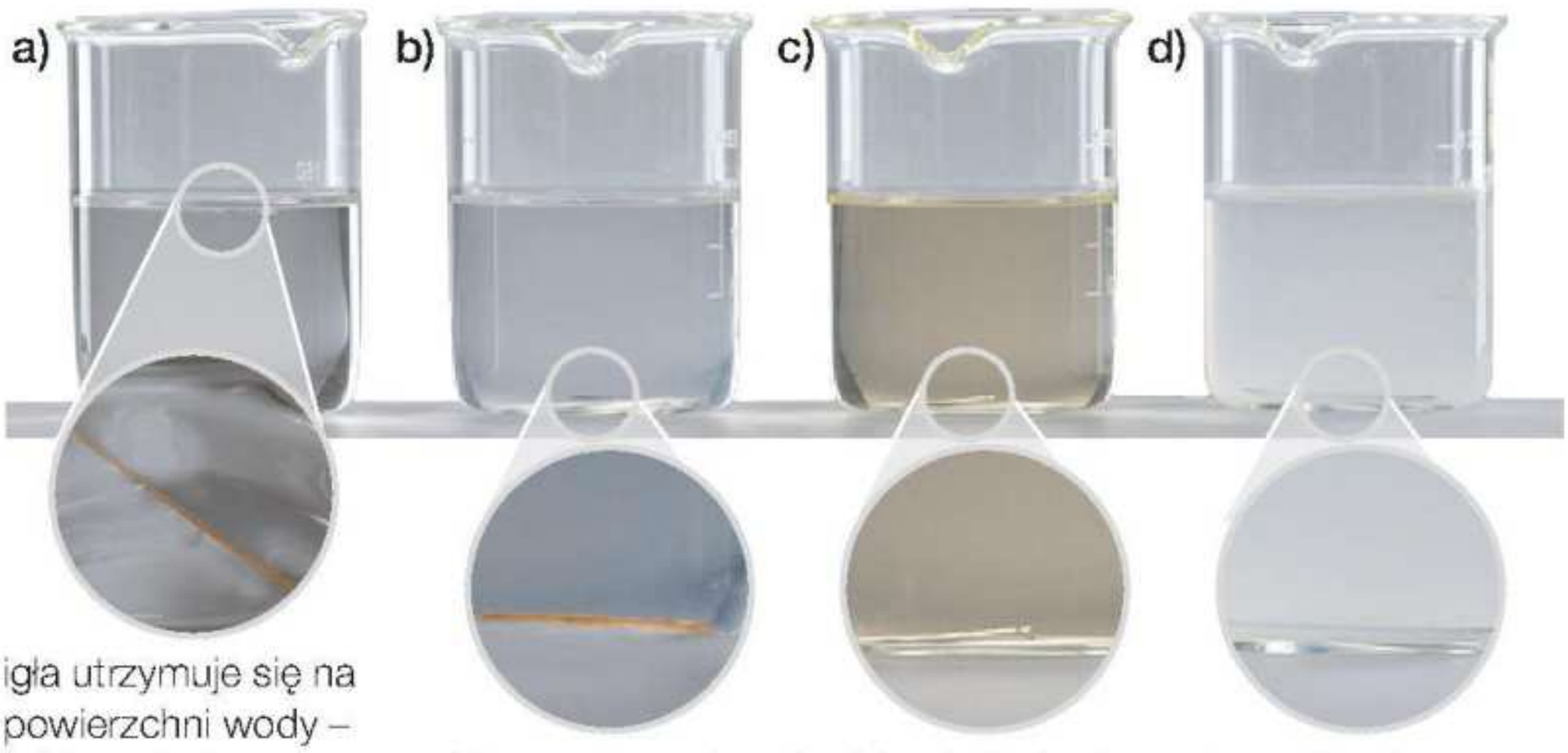
Fot. 100. Woda nie wnika w pory materiałów niezwilżalnych, dlatego są one wykorzystywane m.in. w parasolach.

Czysta woda rozpuszcza wiele składników brudu, jednak nie nadaje się do usuwania tłustych plam. Woda (fot. 99.) zwilża substancje zbudowane z cząsteczek o budowie polarnej, czyli takiej, jaką ma cząsteczka wody. Powierzchnie i materiały **łatwo zwilżalne** przez wodę nazywa się **hydrofilowymi** (to znaczy „lubiącymi wodę"), należą do nich np. kreda, drewno i tkanina bawełniana. Natomiast te **słabo zwilżalne** przez wodę nazywamy **hydrofobowymi** („nielubiącymi wody") i są to np. tworzywa sztuczne (fot. 100.), guma i tłuszcze.



Fot. 99. W wodzie dobrze rozpuszczają się substancje o budowie polarnej. Substancje niepolarne dobrze rozpuszczają się w rozpuszczalnikach o budowie niepolarnej, np. w heksanie.

Woda ma duże napięcie powierzchniowe (patrz *To jest chemia*, cz. 1, s. 85), dlatego tworzy krople, a na jej powierzchni mogą utrzymywać się lekkie przedmioty (fot. 101.).



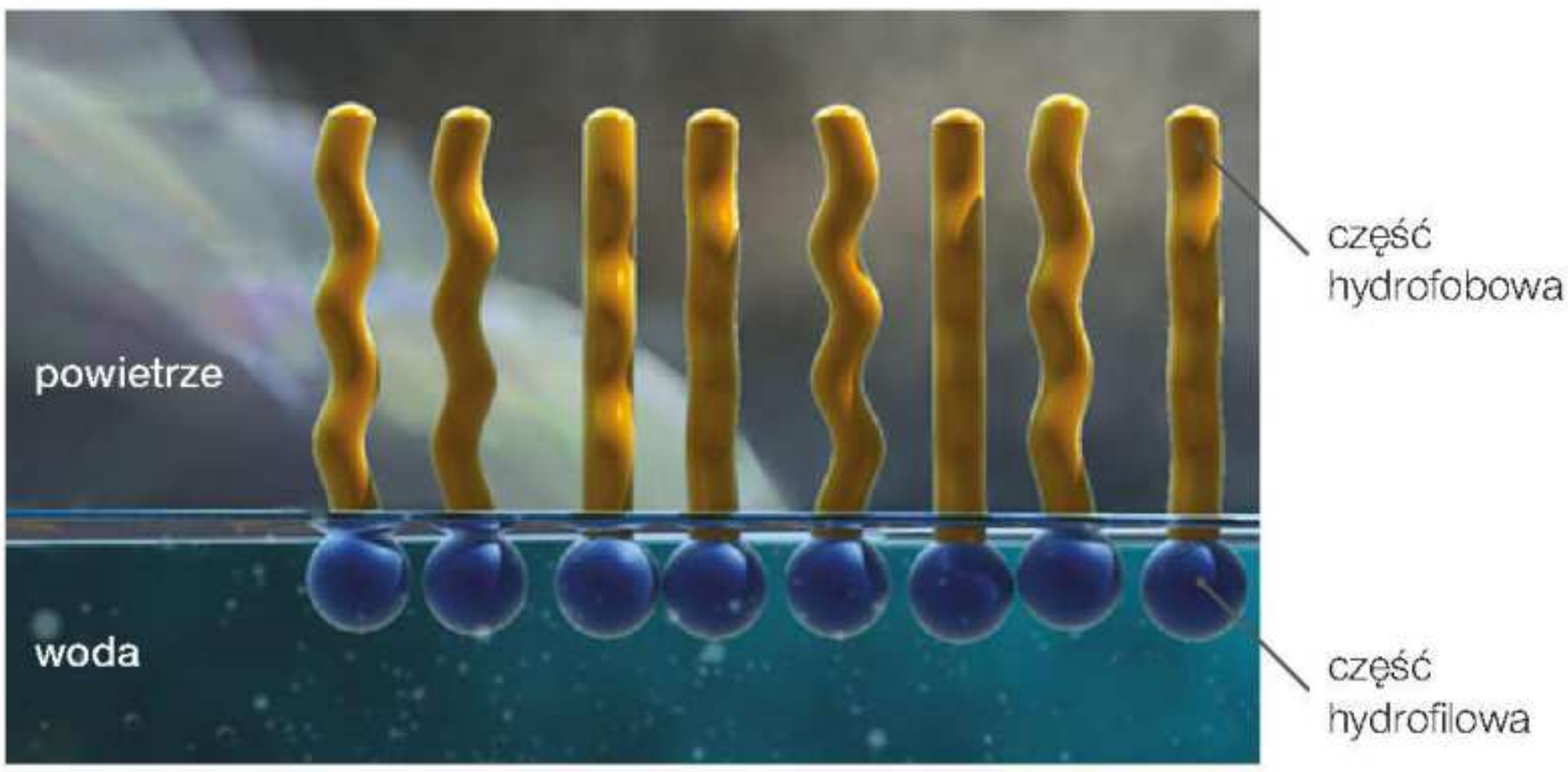
igła utrzymuje się na powierzchni wody – tutaj napięcie powierzchniowe jest największe

igła opada na dno zlewki – dodanie do wody mydła, płynu do mycia naczyń czy proszku do prania zmniejsza jej napięcie powierzchniowe

Fot. 101. Zachowanie igły na powierzchni wody destylowanej (a) oraz na powierzchni wody z dodatkami: mydła (b), płynu do mycia naczyń (c) i proszku do prania (d).

Cząsteczki substancji powierzchniowo czynnych ustawiają się na powierzchni wodnych roztworów **częścią hydrofilową** (polarną) do wody, a częścią hydrofobową (niepolarną) w kierunku powietrza (rys. 47.). Tym samym „rozciąga się" granica faz woda–powietrze i **zmniejsza się napięcie powierzchniowe wody**. Zwiększa to zdolność wody do zwilżania powierzchni hydrofobowych.

Napięcie powierzchniowe – sprężysta, napięta błona wytwarzana przez warstwę powierzchniową cieczy na granicy faz, np. woda–powietrze.



Rys. 47. Ustawienie cząsteczek substancji powierzchniowo czynnej na granicy faz woda–powietrze.

Woda z mydłem łatwiej wnika w głąb tkaniny czy skóry i dlatego lepiej wymywa cząsteczki brudu, który jest mieszaniną różnych związków chemicznych, np. sadzy, krzemionki, soli mineralnych, barwników, składników potu, tłuszczu lub białka. Brud ściśle przylega do powierzchni tkaniny lub skóry i nie daje się łatwo usunąć ani mechanicznie, ani za pomocą słabo zwilżającej go wody. Piana z mydła ułatwia przemieszczenie się cząsteczek brudu i ich utrzymanie na powierzchni, a tym samym ułatwia ich usunięcie i uniemożliwia ich ponowne przywieranie do czyszczonej powierzchni.

Odkrycia, które zmieniły świat – materiały niezwilżalne

Materiały, na których powierzchni woda nie rozpływa się i w których pory nie wnika, to materiały niezwilżalne. Aby nadać tkaninom właściwości hydrofobowe, stosuje się impregnaty (fot. 102.). Są to najczęściej roztwory (rozpuszczalnikiem jest związek organiczny) lub emulsje wodne. Rozpuszczalnik odparowuje po naniesieniu impregnatu na powierzchnię impregnowaną.

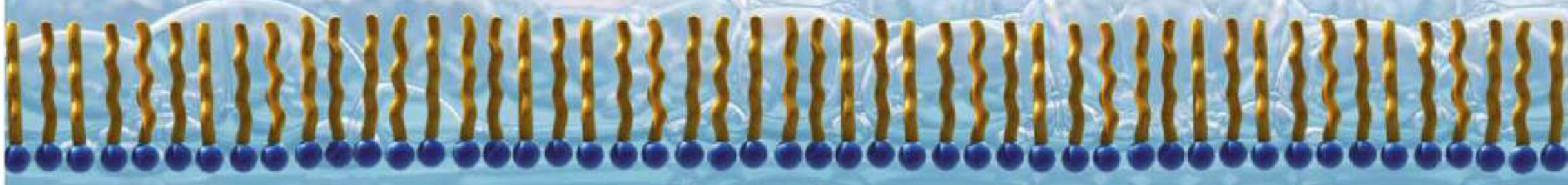


Fot. 102. Tkaniny impregnuje się, aby były nieprzemakalne i się nie gniotły.

Krok po kroku

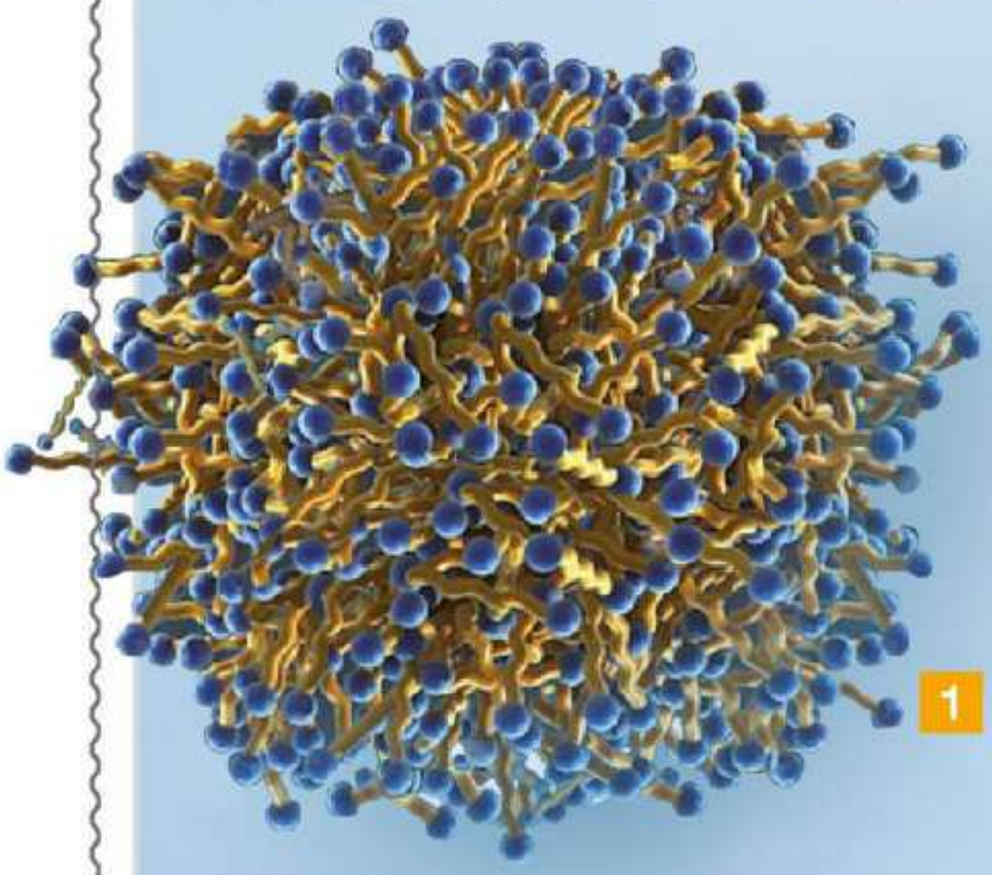
Mechanizm usuwania brudu

Dodanie do wody **substancji powierzchniowo czynnej** (surfaktantu, detergentu), np. mydła, powoduje zmniejszenie jej napięcia powierzchniowego. Lepiej zwilża ona powierzchnie hydrofobowe i łatwiej wnika w tkaninę, dzięki temu skuteczniej usuwa brud.

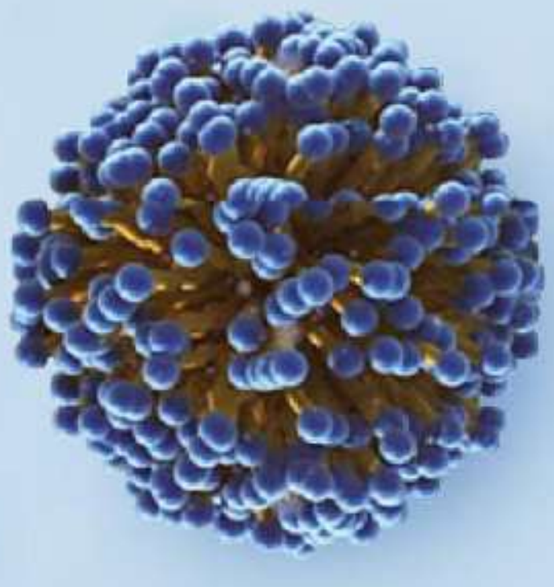


W jaki sposób powstaje piana?

Podczas prania roztwór zostaje napowietrzony. Jony mydła, skupiając się, tworzą micele o hydrofobowym wnętrzu, w których są zamknięte pęcherzyki powietrza – powstaje piana.



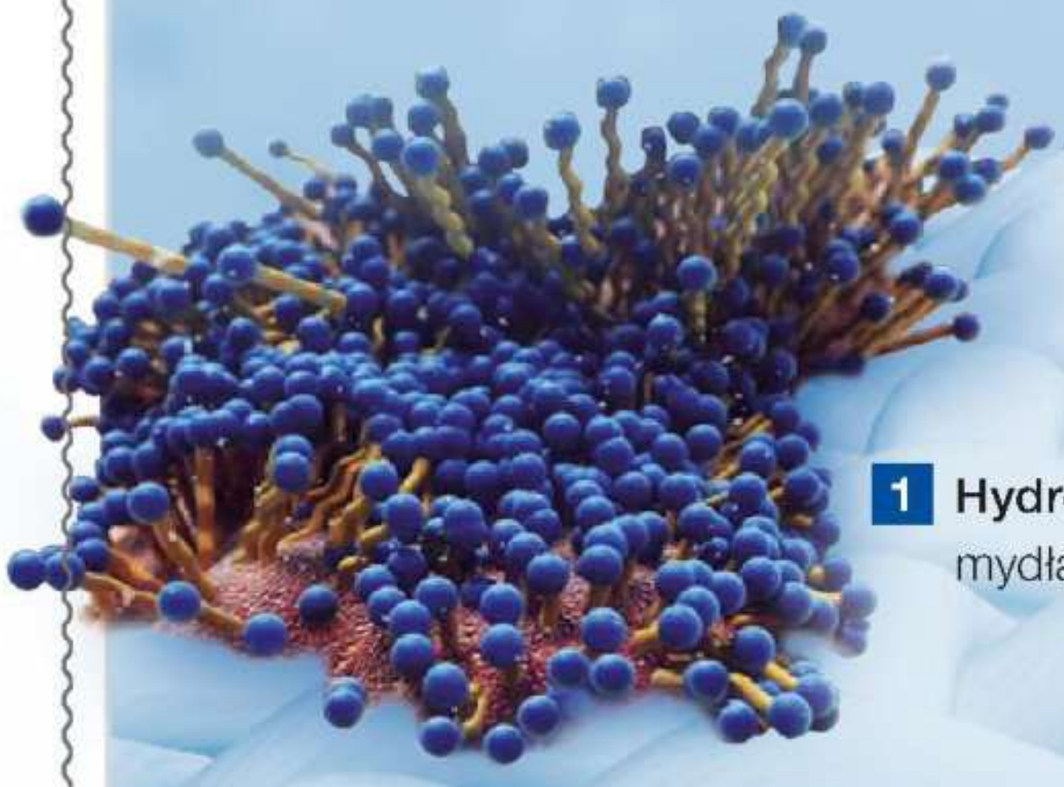
1 Jony mydła tworzą w wodzie skupiska zwane **micelami**.



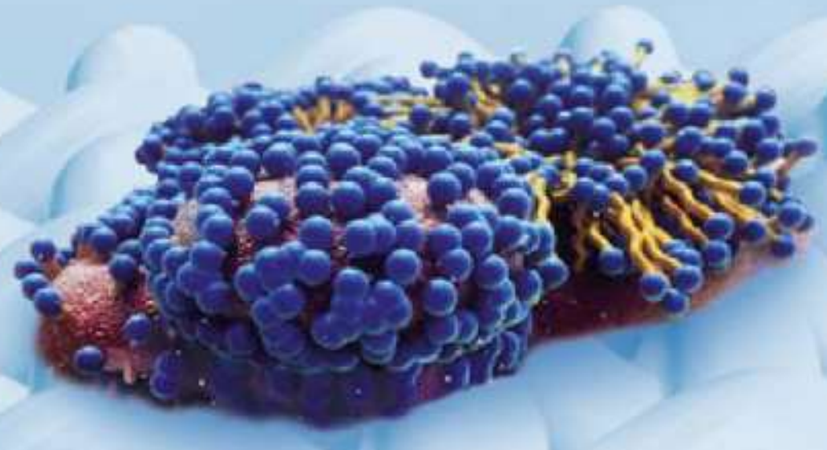
2 We wnętrzu miceli jest zamknięty **pęcherzyk powietrza**.

W jaki sposób usuwa się brud z tkaniny?

Mydło tworzy otoczkę wokół cząstki brudu, a pęcherzyki piany ułatwiają unoszenie go na powierzchnię wody.



1 **Hydrofobowe ogony** jonów mydła wnikają w cząstki brudu.



2 **Tarcie** i **mieszanie** ułatwia oderwanie cząstek brudu z tkaniny.

powietrze

4 **Pianę** na powierzchni tworzą pęcherzyki powietrza zamknięte z obu stron jonami mydła.

woda

hydrofobowe wnętrze miceli i powietrze

3 Micela unosi się na powierzchnię wody.

4 Brud zostaje usunięty z tkaniny.

3 **Jony mydła** zamykają w miceli oderwany brud.

Rodzaje środków czystości i ich zastosowania

Środki czystości to substancje przeznaczone do usuwania brudu z różnego rodzaju powierzchni. W ich skład wchodzi wiele związków chemicznych, np. fosforany(V), związki chloru, SiO_2, NaOH, jednak najważniejszymi składnikami są anionowe lub kationowe substancje powierzchniowo czynne.

Środków zawierających anionowe i kationowe substancje powierzchniowo czynne nie można łączyć, ponieważ tracą swoje właściwości.

Do **anionowych substancji powierzchniowo czynnych** zalicza się mydła. Substancje te są głównymi składnikami proszków do prania oraz szamponów. Natomiast w płynach do płukania tkanin (jako substancje zmiękczające) oraz w środkach do mycia urządzeń sanitarnych (jako substancje dezynfekujące) wykorzystuje się **kationowe substancje powierzchniowo czynne**. Ich część hydrofilowa ma ładunek dodatni.

Składu środków czystości w znacznym stopniu zależy od rodzaju powierzchni, do której są przeznaczone. **Środki do mycia m.in. szyb i luster** mają najczęściej postać roztworu właściwego substancji powierzchniowo czynnej w wodzie i nie zawierają środków ściernych. Składnikami płynów do czyszczenia szklanych powierzchni są też substancje szybko odparowujące (lotne), np. NH_3, CH_3COOH i CH_3CH_2OH, dzięki którym na szybach i lustrach nie pozostają smugi.

Środków przeznaczonych do zmywarek **nie można** używać do ręcznego mycia naczyń, ponieważ powstający NaOH jest substancją silnie żrącą!



Fot. 103. Środki stosowane do mycia szkła laboratoryjnego nie powinny zawierać substancji ściernych, gdyż pozostawione przez nie rysy mogą spowodować pęknięcie naczynia, np. podczas ogrzewania.

Głównymi składnikami **środków myjących używanych w zmywarkach** (fot. 103.) są związki sodu. Usuwanie brudu przy użyciu środków zawierających krzemian sodu przebiega w trzech etapach. W pierwszym etapie krzemian sodu Na_2SiO_3 reaguje z wodą. Jednym z produktów tej reakcji chemicznej jest żrący wodorotlenek sodu. W drugim etapie reaguje on z cząsteczką tłuszczu (patrz s. 265), a produktami są mydło i glicerol. Są one usuwane przez silny strumień wody w zmywarce w trzecim etapie mycia.

Do **udrożniania rur** odprowadzających ścieki komunalne, m.in. z gospodarstw domowych, stosuje się NaOH w postaci granulek lub stężonego roztworu. Tak jak w przypadku środków do zmywarek, wodorotlenek sodu bierze udział w reakcji zmydlania tłuszczu (składnika zanieczyszczeń). Wszystkie produkty tej reakcji chemicznej są dobrze rozpuszczalne w wodzie, dzięki czemu łatwo się wypłukują. Substancji zawierających NaOH nie wolno używać do udrożniania rur wykonanych z aluminium (stopu o 90–99% zawartości Al). W wyniku reakcji glinu z wodorotlenkiem sodu mogą one ulec korozji. Nie każdy zator w rurach można jednak usunąć za pomocą NaOH – niektóre substancje nie reagują z tym wodorotlenkiem. Przykładem jest skrobia, która jest m.in. głównym składnikiem kisielu. Taki zator skutecznie usunie gorąca woda.

NaOH i KOH – główne składniki środków do udrożniania rur – są substancjami silnie żrącymi. Dlatego podczas stosowania tych preparatów najlepiej używać gumowych rękawic.

Powierzchnie metalowe ulegają zanieczyszczeniom fizycznym i chemicznym. Fizycznymi źródłami zanieczyszczeń są tłuszcz i inne związki chemiczne, zawarte w wodzie i powietrzu, które osadzają się przede wszystkim na przedmiotach wykonanych z metali szlachetnych oraz pokrytych powłoką ochronną wykonaną np. z Zn lub Cr. Do ich usuwania stosowane są środki rozpuszczające składniki brudu, środki zawierające

substancję ścierną (np. rozdrobnioną krzemionkę), a także szczotki, które umożliwiają mechaniczne usunięcie zanieczyszczeń. Z kolei zanieczyszczenia chemiczne (tabela 26.) powstają w wyniku reakcji powierzchni metalu ze składnikami otoczenia, w którym znajduje się przedmiot. Do ich usuwania stosuje się środki czyszczące, których składniki reagują ze składnikami zanieczyszczeń (fot. 104.).

Tabela 26. Przykłady chemicznych zanieczyszczeń powierzchni metalowych i metody ich usuwania

Rodzaje zanieczyszczeń	Sposób powstawania	Metoda usuwania
rdza	przedmioty wykonane ze stali nieszlachetnej, pod wpływem tlenu i pary wodnej zawartej w powietrzu, ulegają korozji, pokrywając się czerwonobrunatną lub czarną warstwą zawierającą tlenki i wodorotlenki żelaza(II) i żelaza(III)	czyszczenie 10-procentowymi roztworami HCl lub NaOH, a następnie opłukanie wodą i roztworem sody oczyszczonej ($NaHCO_3$)
czarny nalot	przedmioty wykonane ze srebra, na skutek jego reakcji ze związkami siarki zawartymi w zanieczyszczonym powietrzu, pokrywają się czarną warstwą siarczku srebra(I) Ag_2S	czyszczenie gorącą wodą z CH_3COOH i $NaHCO_3$
patyna (śniedź)	powierzchnie wykonane z miedzi i jej stopów, takich jak mosiądz czy brąz, w wyniku reakcji miedzi z CO_2 i H_2O zawartymi w powietrzu pokrywają się zielonym nalotem węglanu wodorotlenku miedzi(II)	stosowanie roztworów amoniaku lub NaCl i CH_3COOH w ciepłej wodzie

Preparaty do usuwania rdzy mogą zawierać także kwas fosforowy(V) H_3PO_4, który reaguje ze składnikami rdzy. W reakcji tego kwasu z tlenkiem żelaza(III) tworzy się sól – fosforan(V) żelaza(III).

Kwas fosforowy(V) zawierają napoje typu cola, dlatego można je stosować jako odrdzewiacze np. do oczyszczania skorodowanych gwoździ. Ze względu na te właściwości, a także dużą zawartość cukru, picie napojów typu cola może powodować próchnicę.

Wpływ środków czystości na środowisko przyrodnicze

Środki piorące, oprócz substancji powierzchniowo czynnych, barwników i substancji zapachowych, zawierają też składniki zmiękczające wodę – fosforany(V). Mogą one stanowić nawet do 50% (procent objętościowy) proszków i płynów po prania. Środki piorące trafiają razem z wodą do ścieków komunalnych, a często wprost do rzek, jezior czy wód gruntowych, co przyczynia się do coraz większego zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego. Zwiększenie zawartości fosforanów(V) powoduje intensywny rozwój roślin i mikroorganizmów wodnych, które zużywają dużą ilość tlenu rozpuszczonego w wodzie.



Fot. 104. Do czyszczenia srebra można wykorzystać metodę redukcji elektrochemicznej, która polega na umieszczeniu srebrnych przedmiotów w roztworze chlorku sodu w naczyniu wyłożonym folią aluminiową.



Oznaczenie produktu wytworzonego przez firmę, która dobrowolnie zobowiązała się do ciągłego podwyższania standardów produkcji w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego.

Efektem zmniejszania się zawartości tlenu w wodzie jest wymieranie tych organizmów. Dalszy rozkład materii zachodzi w warunkach beztlenowych. Powstają wówczas toksyczne związki chemiczne o nieprzyjemnym zapachu, m.in. siarkowodór, amoniak, aminy. Obumarłe rośliny i drobne organizmy zwierzęce opadają na dno zbiornika wodnego. W efekcie zaczyna gromadzić się tam muł. Proces ten jest nazywany **eutrofizacją** (gr. *eutrophia* – dobre odżywienie) lub **zakwitem wód** (fot. 105.).



Fot. 105. Barwa wód, w których zachodzi proces eutrofizacji, zależy od rodzaju rozwijających się w nich organizmów. Mogą być one zielone, niebieskozielone, brunatne lub czerwone.

Ze względu na szkodliwy wpływ fosforanów(V) na środowisko przyrodnicze zastępuje się je innymi substancjami zmiękczającymi wodę, np. węglanami (sodą). Usuwają one twardość wody, reagując z zawartymi w niej jonami Ca^{2+} i Mg^{2+}, jednak tworzą trudno rozpuszczalne węglany wapnia $CaCO_3$ i magnezu $MgCO_3$. Substancje te osadzają się np. na grzałkach pralek w postaci kamienia kotłowego i powodują szybsze zużywanie się tych urządzeń.



Odkrycia, które zmieniły świat – pestycydy

Syntetyczne lub naturalne substancje stosowane do zwalczania organizmów szkodliwych bądź niepożądanych nazywane są pestycydami (łac. *pestis* – zaraza, *occido* – zabijam). Już w starożytności stosowano np. siarkę lub ekstrakty z trujących roślin, aby chronić zwierzęta hodowlane oraz rośliny uprawne (fot. 106.) przed insektami. Pestycydy chronią także m.in. drewno, preparaty biologiczne oraz dzieła sztuki. Ze względu na działanie wyróżnia się kilka rodzajów pestycydów: fungicydy – zwalczające grzyby, algicydy – glony, herbicydy – chwasty, moluskocydy – mięczaki, akarycydy – roztocza, insektycydy – owady, rodentycydy – gryzonie. Składnikami pestycydów są często pochodne kwasów karboksylowych, amin czy amidów. Wiele z tych związków może stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka, dlatego ważne jest zrównoważone użycie pestycydów. Na obszarze Unii Europejskiej obowiązują wspólne normy w zakresie dopuszczalnego poziomu pestycydów w żywności.

Fot. 106. Zastosowanie pestycydów w rolnictwie przyczyniło się do wzrostu wydajności produkcji żywności. Substancje te są również wykorzystywane w czasie transportu, a następnie przechowywania plonów – do zabezpieczania ich przed szkodnikami.

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Podaj nazwy i wzory substancji oznaczonych literami *A–D*. Napisz równania reakcji chemicznych (1–3), które przedstawia chemograf.

$$A + Mg(OH)_2 \xrightarrow{1} (C_{15}H_{31}COO)_2Mg + B$$

$$+$$

$$NaOH + C_{17}H_{35}COOH \xrightarrow{2} B + C$$

$$\downarrow 3$$

$$B + D$$

2. Zbadano odczyny wodnych roztworów kwasu etanowego i palmitynianu sodu. **Ustal, jak zabarwiły się uniwersalne papierki wskaźnikowe w roztworach tych substancji. Uzasadnij odpowiedź, pisząc w formie jonowej odpowiednie równania reakcji chemicznych.**

3. Do trzech probówek z roztworem stearynianu sodu dodano:

- do probówki 1. – wodny roztwór chlorku wapnia,
- do probówki 2. – wodny roztwór siarczanu(VI) żelaza(III),
- do probówki 3. – wodę destylowaną.

Zaobserwowano, że: w probówce 1. pojawiły się biały, kłaczkowaty osad i niewielka ilość piany, w probówce 2. – brunatny osad i brak piany, w probówce 3. roztwór się pienił.

a) **Narysuj schemat doświadczenia chemicznego.**

b) **Napisz równania zachodzących reakcji chemicznych w zapisie jonowym skróconym.**

c) **Sformułuj wniosek wynikający z obserwacji i równań reakcji chemicznych.**

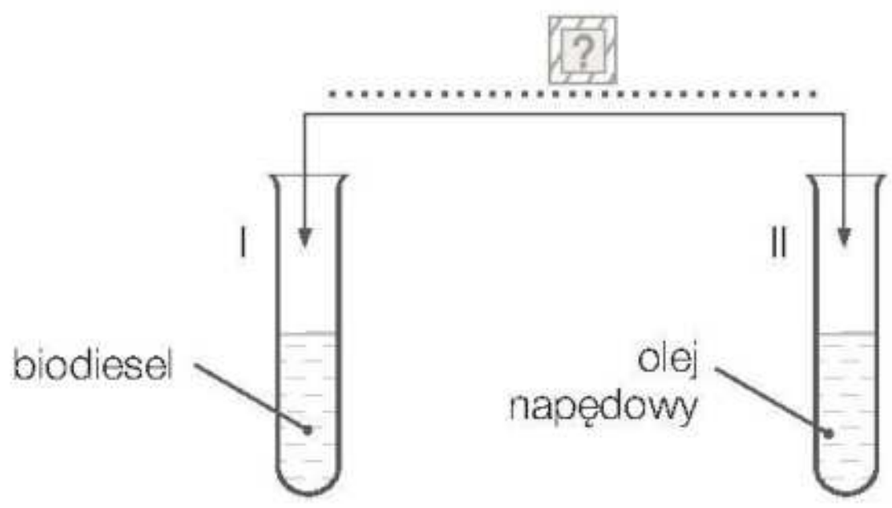
4. W reakcji kwasu stearynowego z zasadą sodową powstaje związek chemiczny, który można zaliczyć do środków powierzchniowo czynnych. **Narysuj wzór półstrukturalny produktu opisanej reakcji chemicznej stosowanego jako środek powierzchniowo czynny. Wzór produktu wpisz w odpowiednie pola poniższego schematu.**

część hydrofobowa	część hydrofilowa
?	?

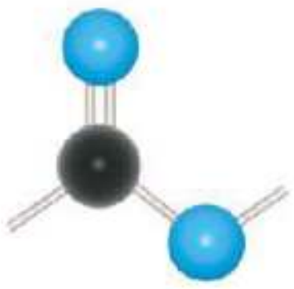
5. W celu otrzymania biodiesla użyto oleju, którego głównym składnikiem był związek chemiczny (gliceryd) złożony z reszt kwasów: oleinowego (oktadek-9-enowego), linolowego (oktadeka-9,12-dienowego) i linolenowego (oktadeka-9,12,15-trienowego).

Zaproponuj doświadczenie, za pomocą którego odróżnisz biodiesel od oleju napędowego, będącego mieszaniną węglowodorów nasyconych zawierających od 15 do 18 atomów węgla w cząsteczce. **Na schemacie doświadczenia wpisz nazwę użytego odczynnika, wybraną spośród podanych. Napisz obserwacje.**

roztwór $CuSO_4$, wodny roztwór $KMnO_4$, Zn, H_2O



21. Estry



Rys. 48. Model grupy estrowej.

Modele atomów:
węgla tlenu

Estry, czyli jednofunkcyjne pochodne węglowodorów, które **zawierają grupę estrową** (rys. 48.), stanowią ważną grupę związków organicznych. Są to **pochodne kwasów karboksylowych** i **alkoholi**.

Występowanie estrów

Estry są związkami chemicznymi rozpowszechnionymi w środowisku przyrodniczym. Występują w organizmach roślinnych i zwierzęcych. Zazwyczaj mają konsystencję przypominającą tłuszcz lub wosk. Wiele estrów to substancje zapachowe występujące w kwiatach i owocach. Głównym składnikiem olejku jojoba, otrzymywanego z nasion krzewu o nazwie simondsja kalifornijska (fot. 107.), jest palmitynian cetylu $C_{32}H_{64}O_2$. Z kolei palmitynian mirycylu $C_{46}H_{92}O_2$ występuje w wosku pszczelim. Oba estry są również składnikami wosków, które pokrywają jabłka, chroniąc je przed wysychaniem.

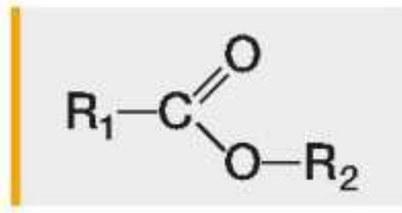


Fot. 107. Z nasion simondsji kalifornijskiej otrzymuje się olejek jojoba.

Budowa cząsteczek estrów

Wzór ogólny estrów alifatycznych kwasów karboksylowych:

Wzór ogólny estrów ▶

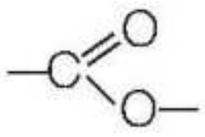


Estry – związki chemiczne zawierające grupę estrową, która łączy dwie grupy węglowodorowe. Wyjątek stanowią estry kwasu metanowego.

gdzie:

$-R_1$ – atom wodoru, grupa węglowodorowa (np. alkilowa lub arylowa) pochodząca od kwasów karboksylowych,

$-R_2$ – grupa węglowodorowa (np. alkilowa lub arylowa) pochodząca od alkoholi,

 – grupa estrowa.

grupa estrowa
—COO—

Nazewnictwo estrów

Nazwy systematyczne estrów składają się z dwóch wyrazów. Pierwszy człon nazwy pochodzi od **nazwy systematycznej lub zwyczajowej kwasu karboksylowego**, z którego powstał ester. Drugi człon określa **alkil pochodzący od alkoholu** (patrz tabela 27., s. 253).

W nazewnictwie estrów stosuje się także nazwy zgodnie ze schematem: **„ester …owy kwasu …owego"**, np.

$CH_3COOC_3H_7$
ester propyl**owy kwasu** etan**owego**

$HCOOC_4H_9$
ester butyl**owy kwasu** metan**owego**

Tabela 27. Tworzenie nazw systematycznych i zwyczajowych estrów

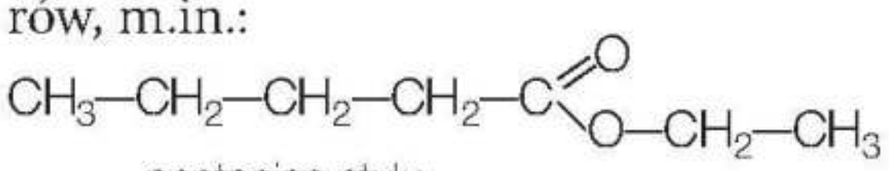
Nazwa					
systematyczna kwasu karboksylowego	zwyczajowa kwasu karboksylowego	systema-tyczna alkoholu	zwyczajowa alkoholu	systematyczna estru	zwyczajowa estru
kwas metanowy	kwas mrówkowy	metanol	alkohol metylowy	metanian metylu	mrówczan metylu, ester metylowy kwasu mrówkowego
kwas etanowy	kwas octowy	etanol	alkohol etylowy	etanian etylu	octan etylu, ester etylowy kwasu octowego
kwas propanowy	kwas propionowy	propanol	alkohol propylowy	propanian propylu	propionian propylu, ester propylowy kwasu propionowego
kwas butanowy	kwas masłowy	butanol	alkohol butylowy	butanian butylu	maślan butylu, ester butylowy kwasu masłowego

Izomeria konstytucyjna estrów

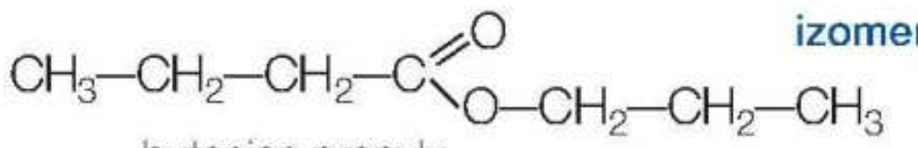
Podobnie jak w przypadku innych związków organicznych również wśród estrów występuje zjawisko izomerii.

Ester o wzorze sumarycznym $C_7H_{14}O_2$ może tworzyć kilka izomerów, m.in.:

izomery $C_7H_{14}O_2$



pentanian etylu



butanian propylu

Otrzymywanie estrów kwasów karboksylowych – reakcja estryfikacji

Doświadczenie 48.



CH_3CH_2OH, CH_3COOH



CH_3COOH, H_2SO_4



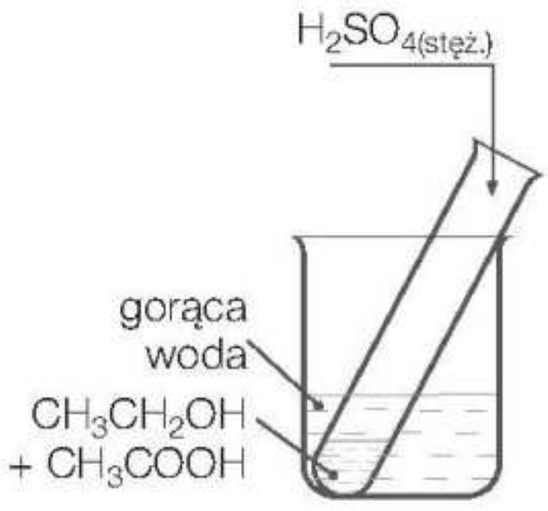
CH_3CH_2OH

Reakcja etanolu z kwasem etanowym

Odczynniki: etanol, kwas etanowy, stężony roztwór kwasu siarkowego(VI), zimna i gorąca woda.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, bagietka, zlewka, szalka Petriego.

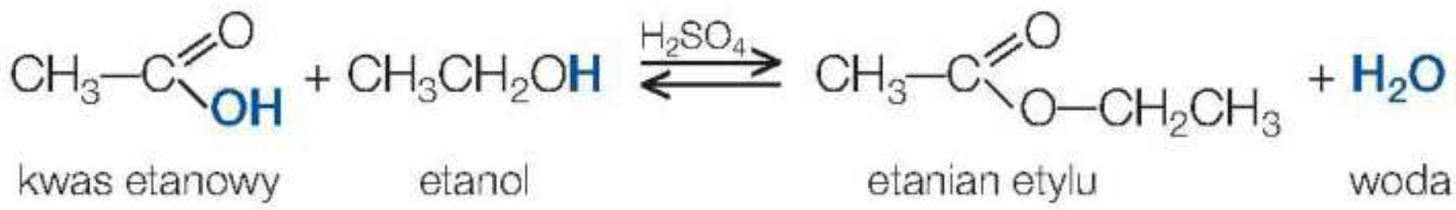
Instrukcja: Do probówki nalej po ok. 2 cm^3 etanolu i kwasu etanowego. Dodaj kilka kropel stężonego roztworu kwasu siarkowego(VI). Zawartość probówki wymieszaj ostrożnie bagietką. Probówkę umieść w zlewce z gorącą wodą (schemat). Następnie przelej ciecz z probówki do zlewki lub szalki Petriego z zimną wodą. Sprawdź zapach roztworu.



Obserwacje: Otrzymany produkt nie rozpuszcza się w wodzie – tworzy na jej powierzchni tłustą plamę (fot. 108.). Wyczuwalny jest owocowy zapach.

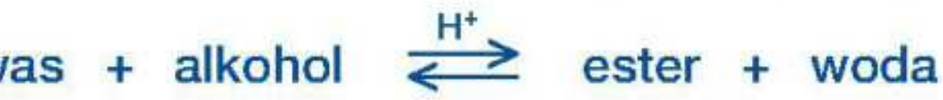
Wniosek: W reakcji chemicznej etanolu z kwasem etanowym powstały: **ester** – etanian etylu (octan etylu) – i woda. Przebieg tej reakcji chemicznej przedstawia równanie:

otrzymywanie $CH_3COOCH_2CH_3$



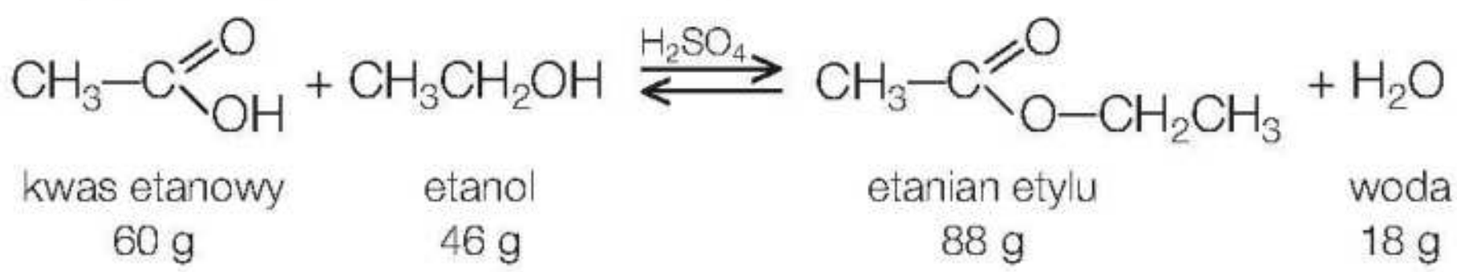
Reakcja estryfikacji – reakcja chemiczna alkoholu z kwasem, której produktami są ester i woda.

Reakcja powstawania estrów nosi nazwę **reakcji estryfikacji**:



Reakcję estryfikacji katalizują kationy wodoru H^+ pochodzące z dysocjacji elektrolitycznej mocnych kwasów nieorganicznych, np. H_2SO_4.

Z równania reakcji wynika, że z 1 mola kwasu etanowego i 1 mola etanolu powstają 1 mol etanianu etylu (fot. 108.) i 1 mol wody:





Fot. 108. Produkt reakcji estryfikacji jest cieczą o gęstości mniejszej od gęstości wody – pływa po jej powierzchni.

Pod wpływem wody powstającej podczas procesu estryfikacji ester zaczyna rozkładać się na substraty wyjściowe – alkohol i kwas. **Estryfikacja jest więc reakcją odwracalną, w której po pewnym czasie ustala się stan równowagi chemicznej**. Jej wydajność jest mniejsza niż 100%.

Wzór na obliczanie wydajności reakcji chemicznej ▶

$$W = \frac{P_r}{P_t} \cdot 100\%$$

gdzie:

W – wydajność reakcji, %,

P_r – rzeczywista ilość produktu, g lub dm^3, lub mol,

P_t – teoretyczna ilość produktu, g lub dm^3, lub mol.

Wydajność reakcji chemicznej – stosunek ilości produktu otrzymanego w reakcji chemicznej do teoretycznej ilości tego produktu obliczonej z równania tej reakcji, wyrażany często w procentach.

Aby zapobiec reakcji odwrotnej i **zwiększyć wydajność powstawania estru**, należy przesunąć równowagę reakcji w prawo, czyli w kierunku powstawania produktu. Można to osiągnąć albo przez usuwanie powstającego produktu ze środowiska reakcji chemicznej, albo przez dodawanie substratu (np. alkoholu). W praktyce najczęściej usuwa się ester, np. w procesie destylacji.

Stężony roztwór kwasu siarkowego(VI) H_2SO_4 ma właściwości higroskopijne, wiąże więc powstającą wodę. Jednocześnie dostarcza jonów H^+ katalizujących reakcję estryfikacji.

Przykład 16.

Wyznaczanie wydajności reakcji chemicznej

Wyznaczanie wydajności reakcji otrzymywania octanu etylu

1 **Odczynniki:** 40 cm^3 100% etanolu ($d = 0{,}79 \frac{g}{cm^3}$), 30 cm^3 lodowatego kwasu octowego ($d = 1{,}04 \frac{g}{cm^3}$), 15 cm^3 stężonego roztworu kwasu siarkowego(VI), ok. 5 g bezwodnego chlorku wapnia.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: cylinder miarowy, 2 kolby okrągłodenne ze szlifem (jedna z korkiem) o pojemności 250 cm^3, kamyczki wrzenne, kolba stożkowa ze szlifem i korkiem o pojemności 100 cm^3, zestaw do destylacji (patrz s. 29) zaopatrzony w nasadkę z termometrem i wkraplaczem.

Instrukcja: W kolbie okrągłodennej zestawu destylacyjnego umieść dokładnie odmierzoną objętość CH_3CH_2OH i stężonego roztworu H_2SO_4 i ogrzewaj je stopniowo ze znaną objętością CH_3COOH, dodawanego kroplami z wkraplacza. Reakcję chemiczną prowadź aż do całkowitego przereagowania zawartości wkraplacza. Destylat zbieraj do kolby okrągłodennej.
Gdy temperatura par zacznie rosnąć, zmień odbieralnik i wyłącz ogrzewanie. Aby usunąć nieprzereagowany etanol, po wystudzeniu destylat z bezwodnym $CaCl_2$, wytrząsaj przez ok. minutę, a następnie oddestyluj z niego ester, zbierając frakcję wrzącą w zakresie temperatur 76–77,5°C do zważonej kolby stożkowej ze szlifem.

2 Zważ zamkniętą korkiem i całkowicie wystudzoną kolbę stożkową z otrzymanym estrem.

3 Napisz równanie zachodzącej reakcji chemicznej:

$$CH_3COOH + CH_3CH_2OH \rightleftharpoons CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O$$

4 Oblicz wydajność estryfikacji na podstawie masy otrzymanego estru oraz początkowej ilości etanolu użytego do reakcji chemicznej.
Gdyby wydajność reakcji chemicznej wynosiła 100%, to:

$$\underset{1\ mol}{CH_3COOH} + CH_3CH_2OH \rightleftharpoons \underset{1\ mol}{CH_3COOCH_2CH_3} + H_2O$$

czyli:
z 1 mola ($M_{alkoholu} = 46{,}07$ g) CH_3CH_2OH powstałby 1 mol $CH_3COOCH_2CH_3$ ($M_{estru} = 88{,}11$ g)
a więc z m_A g etanolu – substratu powinno powstać m_B g estru – produktu

$$m_B = \frac{m_A \cdot 88{,}11\ g}{46{,}07\ g}$$

Ilość estru otrzymana w reakcji m_E wynosi: $m_E = m_c - m_k$
gdzie: m_c – całkowita masa kolby z destylatem,
m_k – masa pustej kolby.
Wydajność reakcji estryfikacji: $W = \frac{m_E}{m_B} \cdot 100\%$

Plan rozwiązywania

1 Przeprowadź doświadczenie zgodnie z instrukcją.
2 Ustal masę produktu.
3 Napisz równanie reakcji chemicznej.
4 Oblicz wydajność.

Reakcja odwrotna do reakcji estryfikacji to reakcja hydrolizy estru. Polega ona na rozkładzie estru pod wpływem wody na kwas i alkohol:

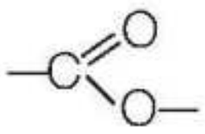
ogólne równanie reakcji estryfikacji i hydrolizy estru



gdzie:

$-R_1$ – atom wodoru, grupa węglowodorowa (np. alkilowa lub arylowa) pochodząca od kwasów karboksylowych,

$-R_2$ – grupa węglowodorowa (np. alkilowa lub arylowa) pochodząca od alkoholi,

 – grupa estrowa.

Estryfikacja jest reakcją odwracalną, w której po pewnym czasie ustala się stan równowagi chemicznej. Stała równowagi reakcji estryfikacji ma postać:

Wyrażenie na stałą równowagi chemicznej reakcji estryfikacji

$$K_C = \frac{[R_1COOR_2] \cdot [H_2O]}{[R_1COOH] \cdot [R_2OH]}$$

[...] – oznaczenie stężenia molowego substancji w stanie równowagi chemicznej; jednostką stężenia molowego jest $\frac{mol}{dm^3}$.

Znając wartość stałej równowagi reakcji estryfikacji, można obliczyć skład mieszaniny reakcyjnej w danych warunkach. Stałe równowagi chemicznej przyjmują różne wartości zależnie od reakcji chemicznej i temperatury.

Właściwości estrów

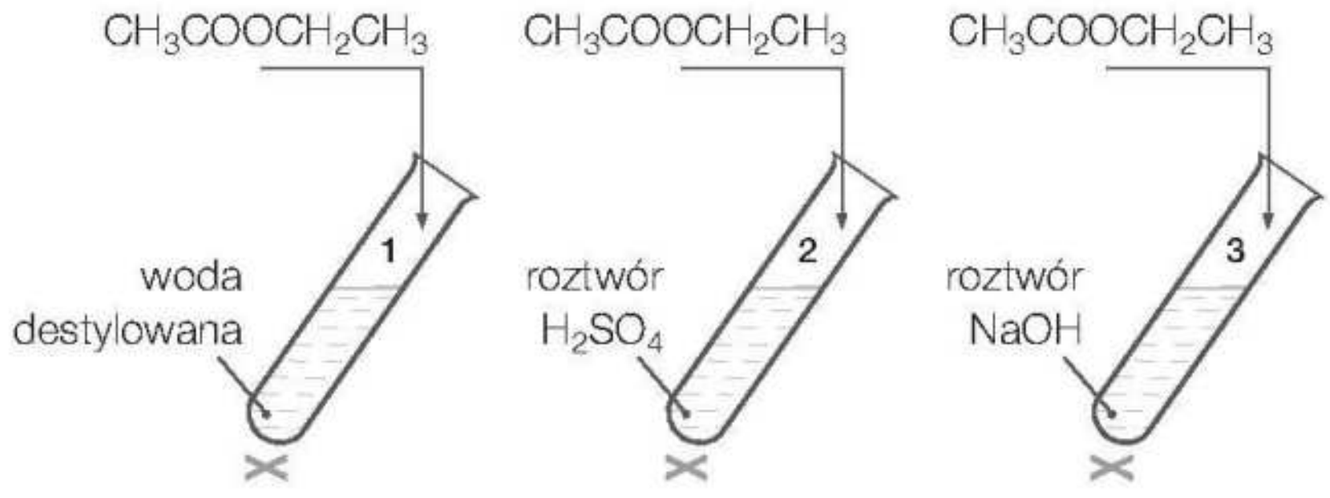
Doświadczenie 49. H_2SO_4, NaOH

Badanie właściwości etanianu etylu

Odczynniki: etanian etylu, woda destylowana, 5-procentowy roztwór kwasu siarkowego(VI), 5-procentowy roztwór wodorotlenku sodu.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, łaźnia wodna.

Instrukcja: Do probówki 1. nalej ok. 3 cm^3 wody destylowanej, do probówki 2. – ok. 3 cm^3 5-procentowego roztworu kwasu siarkowego(VI), a do probówki 3. – ok. 3 cm^3 5-procentowego roztworu wodorotlenku sodu. Do każdej probówki dodaj po kilka kropli etanianu etylu (schemat). Probówki ogrzewaj w łaźni wodnej w temperaturze ok. 60°C. Co jakiś czas sprawdzaj zapach substancji.



Obserwacje: Zawartość probówki 1. nie uległa zmianie. W probówce 2. zanikł zapach estru, a pojawił się charakterystyczny zapach octu. W probówce 3. pojawił się zapach alkoholu.

Wniosek: W środowisku kwasowym (probówka 2.) etanian etylu ulega reakcji hydrolizy zgodnie z równaniem:

$$\underset{\text{etanian etylu}}{CH_3COOCH_2CH_3} + \underset{\text{woda}}{H_2O} \overset{H^+}{\rightleftharpoons} \underset{\text{kwas etanowy}}{CH_3COOH} + \underset{\text{etanol}}{CH_3CH_2OH}$$

hydroliza kwasowa estru

Produktami hydrolizy estru w środowisku kwasowym są kwas karboksylowy i alkohol. W środowisku zasadowym (probówka 3.) etanian etylu ulega reakcji hydrolizy zgodnie z równaniem:

$$\underset{\text{etanian etylu}}{CH_3COOCH_2CH_3} + \underset{\text{wodorotlenek sodu}}{NaOH} \longrightarrow \underset{\text{etanian sodu}}{CH_3COONa} + \underset{\text{etanol}}{CH_3CH_2OH}$$

hydroliza zasadowa estru

Produktami hydrolizy estru w środowisku zasadowym są sól kwasu karboksylowego i alkohol.

W środowisku kwasowym i obojętnym w reakcji hydrolizy estrów ustala się stan równowagi chemicznej. Natomiast w środowisku zasadowym ta reakcja chemiczna jest praktycznie nieodwracalna i prowadzi do otrzymania soli.

Estry kwasów karboksylowych są na ogół cieczami o gęstości mniejszej od gęstości wody. Ich właściwości fizyczne zmieniają się wraz z wydłużaniem się łańcucha węglowego. W miarę zwiększania się jego długości rosną temperatura topnienia oraz temperatura wrzenia estrów. Estry kwasów karboksylowych trudno rozpuszczają się w wodzie. Natomiast same często są bardzo dobrymi rozpuszczalnikami innych związków organicznych.

Estry kwasów nieorganicznych

Estry powstają także w reakcji chemicznej alkoholi z niektórymi tlenowymi kwasami nieorganicznymi. Przykładem takiego estru jest **triazotan(V) glicerolu**, nazywany potocznie **nitrogliceryną**. Nazwa „nitrogliceryna" jest niepoprawna, gdyż ten związek chemiczny nie jest pochodną nitrową, a produktem reakcji estryfikacji glicerolu ze stężonym roztworem HNO_3 w obecności stężonego roztworu H_2SO_4:

Reakcja estryfikacji glicerolu ze stężonym roztworem HNO_3 w obecności stężonego roztworu H_2SO_4 **nie jest reakcją nitrowania**.

$$\underset{\text{glicerol}}{CH_2(OH)-CH(OH)-CH_2(OH)} + 3\,\underset{\text{kwas azotowy(V)}}{HO-NO_2} \xrightarrow{H_2SO_4} \underset{\text{triazotan(V) glicerolu}}{CH_2(O-NO_2)-CH(O-NO_2)-CH_2(O-NO_2)} + 3\,\underset{\text{woda}}{H_2O}$$

otrzymywanie $C_3H_5(ONO_2)_3$

Kwasy nieorganiczne, które tworzą estry, to m.in.:

- kwas azotowy(III) HNO_2,
- kwas siarkowy(VI) H_2SO_4,
- kwas borowy H_3BO_3,
- kwas fosforowy(V) H_3PO_4.

Estry kwasów nieorganicznych, np. azotan(III) etylu CH_3CH_2ONO czy azotan(III) *n*-pentylu $C_5H_{11}ONO$, stosuje się w medycynie jako środki rozszerzające naczynia krwionośne i obniżające ciśnienie krwi.

Estry kwasu siarkowego(VI) i alkoholi o długich nierozgałęzionych łańcuchach węglowych wykorzystuje się w produkcji detergentów. Z kolei estry kwasu fosforowego(V) biorą udział w skomplikowanych procesach biochemicznych w organizmach.

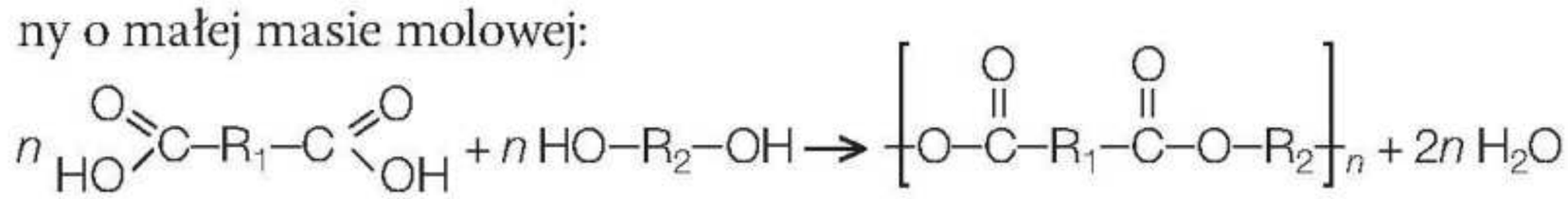
Polimeryzacja i polikondensacja estrów kwasów karboksylowych

Polikondensacja – reakcja chemiczna polegająca na łączeniu się wielu cząsteczek związków chemicznych w długi łańcuch z jednoczesną eliminacją małych cząsteczek związków nieorganicznych.

W wyniku reakcji estryfikacji kwasu dikarboksylowego i alkoholu dihydroksylowego powstają **tworzywa sztuczne** nazywane **poliestrami**.

Poliestry powstają w **reakcji polikondensacji**, która polega na łączeniu się małych cząsteczek związków organicznych w makrocząsteczki. Podczas tego procesu wydziela się woda lub inny związek nieorganiczny o małej masie molowej:

ogólne równanie reakcji polikondensacji

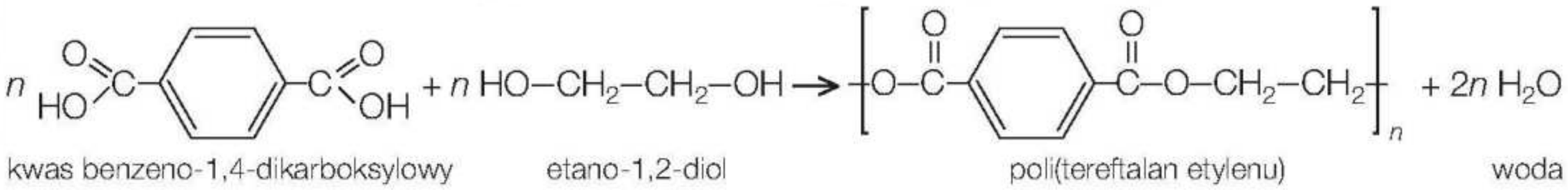


kwas dikarboksylowy — alkohol dihydroksylowy — poliester — woda

Poliestry stosuje się m.in. do produkcji włókien. Są one wytrzymałe i odporne na działanie większości czynników chemicznych. Nie gniotą się, łatwo je wyprać i szybko wysychają. Służą m.in. do produkcji odzieży, firanek, lin oraz protez naczyń krwionośnych (fot. 109.). Przykładem tworzywa sztucznego, z którego wytwarza się włókna poliestrowe, jest poli(tereftalan etylenu), w skrócie PET. Polimer ten powstaje w reakcji **polikondensacji** kwasu benzeno-1,4-dikarboksylowego (kwasu tereftalowego) i etano-1,2-diolu (glikolu etylenowego):

Oznaczenie poli(tereftalanu etylenu):





kwas benzeno-1,4-dikarboksylowy — etano-1,2-diol — poli(tereftalan etylenu) — woda

Poli(tereftalan etylenu) stosuje się także jako surowiec do produkcji różnego rodzaju opakowań (fot. 110.).

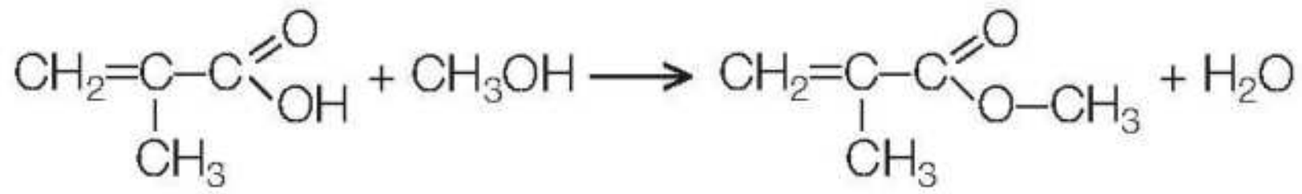


Fot. 109. Włókna poliestrowe o handlowej nazwie *Dacron*® stosuje się do produkcji protez naczyń krwionośnych.



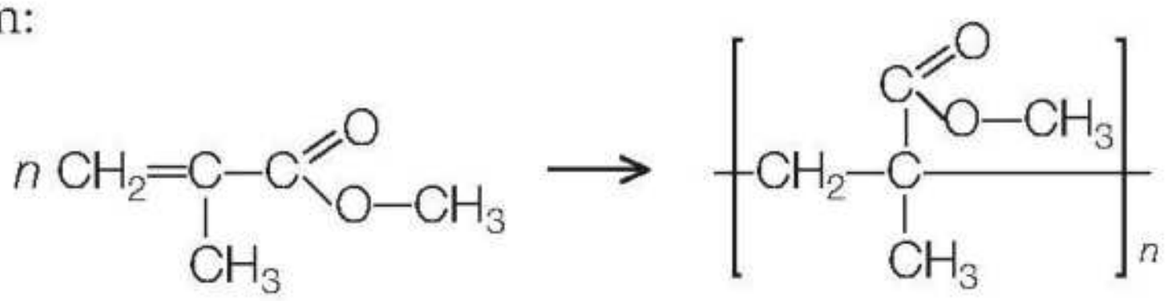
Fot. 110. Z PET wytwarza się m.in. butelki do napojów gazowanych i wody.

Poli(metakrylan metylu), w skrócie PMMA, to produkt reakcji polimeryzacji **metakrylanu metylu**, czyli **estru metylowego kwasu 2-metylopropenowego**. Substrat wyjściowy tej reakcji chemicznej powstaje w wyniku estryfikacji kwasu 2-metylopropenowego z metanolem:



kwas 2-metylopropenowy metanol metakrylan metylu woda

Reakcja polimeryzacji metakrylanu metylu przebiega zgodnie z równaniem:



metakrylan metylu poli(metakrylan metylu) PMMA

Poli(metakrylan metylu) jest przezroczystym tworzywem sztucznym o dobrej wytrzymałości mechanicznej, odpornym na temperaturę do 100°C. Stosuje się go w produkcji szkła bezpiecznego, które po rozbiciu nie tworzy ostrych odłamków, oraz soczewek, protez dentystycznych, protez kości i pokryć dachowych (fot. 111.).



Fot. 111. Sklepienie Stadionu Olimpijskiego w Monachium wykonano w całości z PMMA.

Odkrycia, które zmieniły świat – dynamit

Triazotan(V) glicerolu, nazywany potocznie nitrogliceryną, jest toksyczną, oleistą cieczą o gęstości 1,5 raza większej od gęstości wody. Wstrząs lub ogrzanie powodują jej gwałtowny rozkład połączony z wewnętrznym spalaniem. W 1867 r. Alfred Nobel opatentował metodę stabilizacji nitrogliceryny – po dodaniu ziemi okrzemkowej nitrogliceryna wybucha dopiero przy zastosowaniu detonatora. Materiał ten został nazwany **dynamitem** (fot. 112.). Odkrywca zdobytą na produkcji dynamitu fortunę przeznaczył na fundusz wspierający naukę, sztukę i działania pokojowe. Od 1901 r. za wybitne osiągnięcia w tych dziedzinach przyznaje się Nagrodę Nobla. W ten sposób wynalazca chciał zrekompensować szkodliwe skutki militarnego zastosowania wynalazku.



Fot. 112. Dynamit stosowano przy budowie dróg i kolei, w górnictwie, kamieniołomach oraz podczas działań wojennych.

Zastosowania

Estry

Estry słabo rozpuszczają się w wodzie, ale same są dobrymi rozpuszczalnikami. Powszechnie stosuje się je do produkcji substancji zapachowych, np. perfum, mydeł oraz esencji zapachowych wykorzystywanych w cukiernictwie.



■ **Przemysł spożywczy**

Substancje zapachowe, które są składnikami **aromatów do ciast** i innych słodyczy, to m.in. mrówczan etylu o zapachu rumu i octan propylu o zapachu gruszek.



■ **Przemysł kosmetyczny**

Preparaty stosowane na rozstępy oraz **stymulujące wzrost włosów** zawierają ester benzylowy kwasu nikotynowego.



■ **Przemysł chemiczny**

W reakcji polimeryzacji octanu winylu powstaje poli(octan winylu). Ze względu na dobrą przyczepność stosuje się go jako **substancję wiążącą w klejach i masach szpachlowych**.

Chemia w medycynie

Ze względu na właściwości przeciwzapalne estry kwasu fumarowego, czyli monometylofumaran, dimetylofumaran i monoetylofumaran, są substratami w produkcji doustnych leków stosowanych w **leczeniu łuszczycy**.



Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Napisz wzory półstrukturalne estrów o podanych nazwach.

a) metanian butylu b) etanian propylu c) propanian propylu

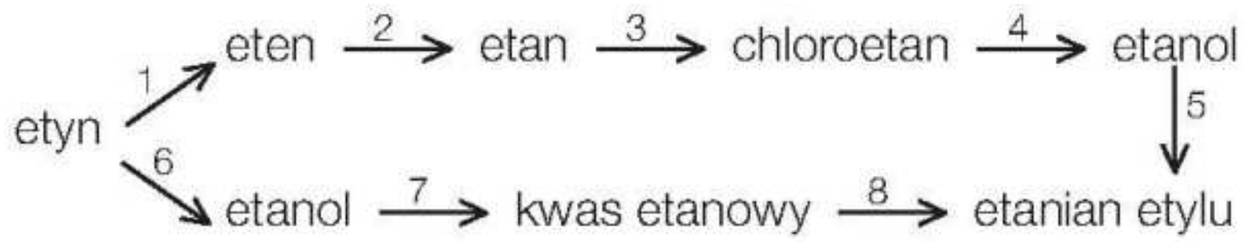
2. Napisz równania reakcji otrzymywania estrów o podanych nazwach.

a) heksadekanian metylu b) propanian etylu c) etanian propylu

3. Napisz równania reakcji hydrolizy estrów o podanych nazwach.

a) etanian butylu b) oktadekanian metylu c) metanian propylu

4. Napisz równania reakcji chemicznych (1–8) przedstawionych na schemacie.



5. Napisz wzory strukturalne i nazwy systematyczne czterech estrów o wzorze sumarycznym $C_5H_{10}O_2$. Określ rodzaj izomerii.

6. W wyniku hydrolizy pewnego estru otrzymano kwas karboksylowy o masie cząsteczkowej 60 u oraz alkohol. Po utlenieniu otrzymanego alkoholu powstał związek chemiczny, który nie ulegał reakcji Trommera. Po przepuszczeniu tego alkoholu przez ogrzany tlenek glinu otrzymano propen. **Napisz wzór półstrukturalny i nazwę systematyczną estru, który poddano hydrolizie.**

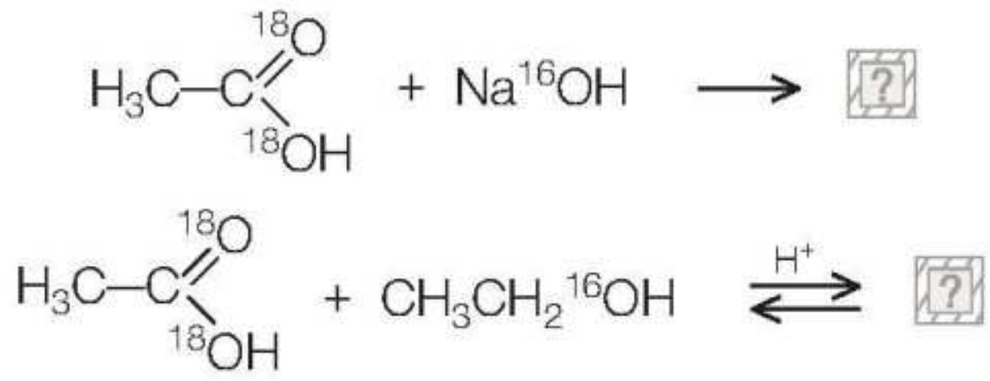
7. Przeprowadzono reakcję estryfikacji w roztworze zawierającym 2 mole kwasu metanowego i 2 mole etanolu. **Oblicz liczby moli substratów i produktów w stanie równowagi chemicznej, jeżeli stała równowagi chemicznej tej reakcji wynosi 2.**

8. Znakowanie izotopowe to metoda umożliwiająca zbadanie mechanizmu reakcji chemicznej. Fenol znakowany izotopowo, czyli zawierający atomy izotopu ^{18}O zamiast atomów tlenu ^{16}O, reaguje z zasadą sodową zawierającą atomy tlenu ^{16}O. Poniżej przedstawiono zapis tej reakcji chemicznej.

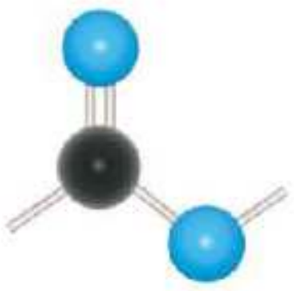


Powstają fenoksylan sodu zawierający izotopy tlenu ^{18}O oraz cząsteczka wody zbudowana z izotopów tlenu ^{16}O. Oznacza to, że w trakcie reakcji od cząsteczki fenolu odłączany jest tylko kation wodoru H^+, który następnie łączy się z anionem OH^- pochodzącym z zasady sodowej, tworząc cząsteczkę wody.

Wykorzystując metodę znakowania izotopowego, zbadano mechanizmy reakcji kwasów karboksylowych z alkoholami i zasadami. **Dokończ poniższe równania reakcji w formie cząsteczkowej, stosując wzory półstrukturalne związków organicznych. Przy wszystkich atomach tlenu wpisz ich liczby masowe.**



22. Tłuszcze



Rys. 49. Model grupy estrowej.
Modele atomów:
węgla tlenu

Tłuszcze (glicerydy) są to **estry propano-1,2,3-triolu** (glicerolu) i **wyższych kwasów karboksylowych** (nazywanych kwasami tłuszczowymi) (rys. 49.).

Rodzaje tłuszczów

W skład większości tłuszczów stałych, które mogą być twarde lub maziste (fot. 113.), wchodzą reszty kwasów nasyconych. Natomiast cząsteczki tłuszczów ciekłych zawierają reszty kwasów nienasyconych.

Podział **tłuszczów** ze względu na:



Fot. 113. Przykładem tłuszczu mazistego stałego jest smalec.

- **pochodzenie**
  - **roślinne, np.**
    - olej słonecznikowy
    - olej rzepakowy
    - oliwa z oliwek
  - **zwierzęce, np.**
    - smalec
    - tran
    - łój
- **stan skupienia**
  - **ciekłe, np.**
    - oleje
    - oliwy
    - tran
  - **stałe, np.**
    - masło
    - smalec
    - łój

Występowanie tłuszczów



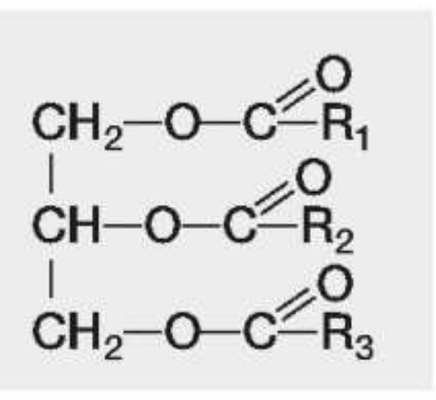
Fot. 114. W temperaturze poniżej 25°C olej kokosowy zmienia stan skupienia na stały – masło kokosowe.

Tłuszcze są bardzo rozpowszechnione w przyrodzie. Występują w tkankach zwierzęcych i nasionach roślin. Najważniejsze tłuszcze pochodzenia zwierzęcego to: smalec, masło i łój. Tłuszcze roślinne to przede wszystkim oleje: rzepakowy, sojowy, słonecznikowy i lniany. Z miąższu orzechów palmy kokosowej (fot. 114.) otrzymuje się olej kokosowy.

Budowa cząsteczek tłuszczów

Ponieważ tłuszcze to estry propano-1,2,3-triolu i wyższych kwasów karboksylowych, ich wzór ogólny ma postać:

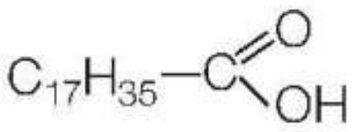
Wzór ogólny tłuszczów ▶



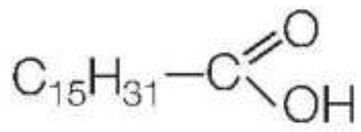
gdzie:

$-R_1$, $-R_2$, $-R_3$ – grupy węglowodorowe (np. alkilowe), takie same lub różne, w zależności od rodzajów kwasów karboksylowych.

Propano-1,2,3-triol ma trzy grupy hydroksylowe —OH w cząsteczce, więc tworzy estry z trzema cząsteczkami kwasów karboksylowych. Mogą to być cząsteczki różnych lub takich samych nasyconych lub nienasyconych kwasów karboksylowych, np.:

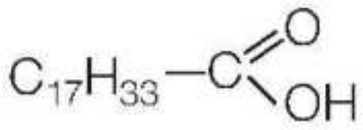


kwas stearynowy
kwas oktadekanowy

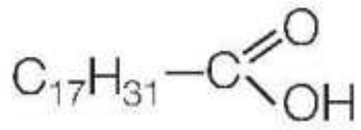


kwas palmitynowy
kwas heksadekanowy

nasycone kwasy tłuszczowe



kwas oleinowy
kwas oktadek-9-enowy



kwas linolowy
kwas oktadeka-9,12-dienowy

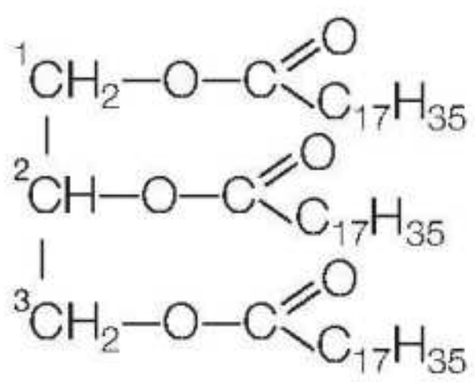
nienasycone kwasy tłuszczowe

O właściwościach tłuszczu decydują rodzaje kwasów tłuszczowych, wchodzących w skład cząsteczki tłuszczu.

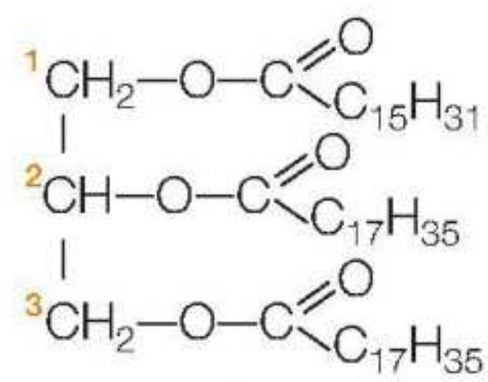
Tłuszcze pochodzenia naturalnego zawierają najczęściej reszty różnych kwasów tłuszczowych. Tłuszcze wydzielane z materiałów roślinnych i zwierzęcych są mieszaninami wielu różnych glicerydów.

Nazewnictwo tłuszczów

W nazewnictwie tłuszczów stosuje się identyczne zasady jak w nazewnictwie estrów, gdyż **tłuszcze są estrami**, np.:



tristearynian glicerolu
trioktadekanian
propano-1,2,3-triolu

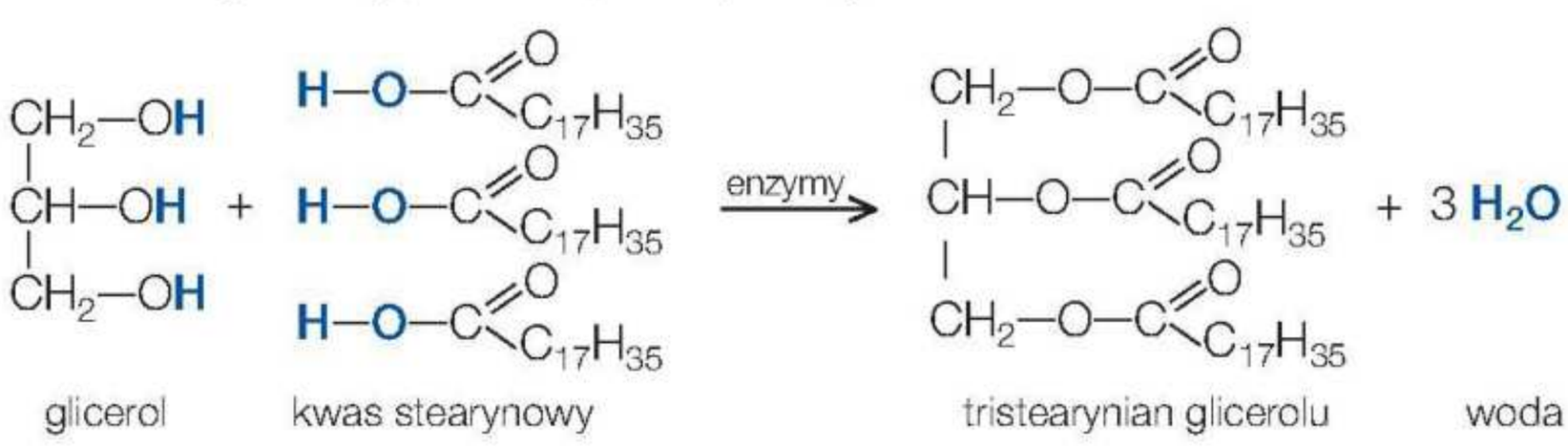


1-palmitynian-**2,3**-distearynian glicerolu
1-heksadekanian-2,3-dioktadekanian
propano-1,2,3-triolu

Otrzymywanie tłuszczów

Tłuszcze powstają w reakcji estryfikacji:

otrzymywanie tłuszczu
$(C_{17}H_{35}COO)_3C_3H_5$



glicerol
kwas stearynowy
tristearynian glicerolu
woda

Właściwości tłuszczów

Doświadczenie 50. CH_3CH_2OH, benzyna benzyna

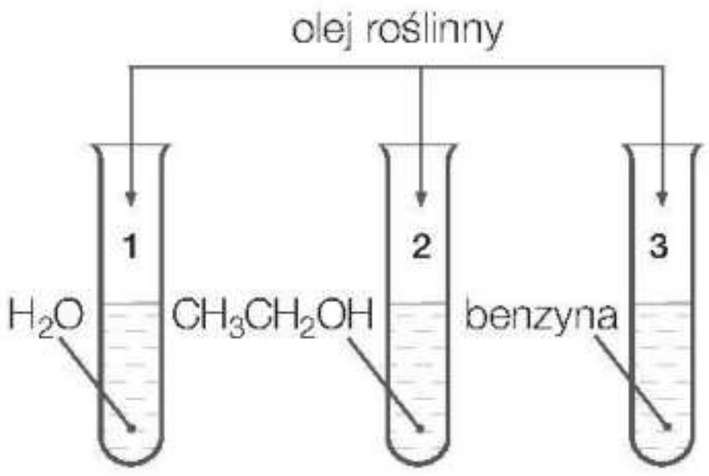
Badanie właściwości tłuszczów

Odczynniki: woda, etanol, benzyna, olej roślinny, masło.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, wkraplacz, metalowa płytka, palnik, krystalizator.

Instrukcja: a) Do trzech probówek: z wodą, etanolem i benzyną dodaj kilka kropli oleju roślinnego (schemat). Wstrząśnij probówkami.

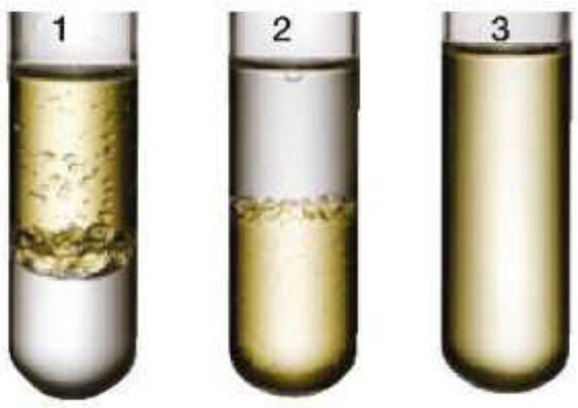
b) Ogrzewaj powoli masło w krystalizatorze umieszczonym na metalowej płytce. Zmierz temperaturę topnienia masła.



masło topnieje w temp. 30–36°C



Fot. 116. Topnienie masła.



Fot. 115. Badanie rozpuszczalności oleju roślinnego w wodzie, etanolu i benzynie.

Obserwacje: Olej dobrze rozpuszcza się w benzynie, gorzej w etanolu, a w probówce 1. unosi się na powierzchni wody (fot. 115.). Po wstrząśnięciu probówką olej miesza się z wodą. Jednak po chwili wypływa na jej powierzchnię – powstają dwie warstwy cieczy. Masło pod wpływem ogrzewania zmienia stan skupienia ze stałego na ciekły (fot. 116.).

Wniosek: Tłuszcze są związkami chemicznymi o budowie niepolarnej, dlatego nie rozpuszczają się w wodzie. Natomiast dobrze rozpuszczają się w niepolarnych rozpuszczalnikach organicznych, np. w benzynie. Olej z wodą – po intensywnym wymieszaniu – tworzą **emulsję** (patrz s. 270), która po krótkim czasie się rozwarstwia. Tłuszcze mają gęstość mniejszą od gęstości wody, dlatego pływają po jej powierzchni. Są mieszaninami, więc nie mają ściśle określonej temperatury topnienia – topnieją w pewnym zakresie temperatur.

Emulsja – mieszanina niejednorodna nierozpuszczających się w sobie cieczy, z których jedna jest rozproszona w drugiej w postaci małych kropelek.

Doświadczenie 51. $Br_{2(aq)}$

Działanie wody bromowej na olej roślinny

Odczynniki: oliwa z oliwek, woda bromowa.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, wkraplacz.

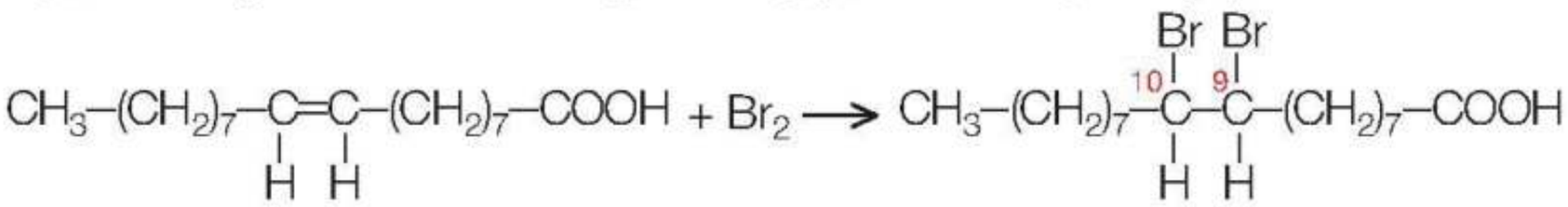
Instrukcja: Do probówki zawierającej ok. 3 cm^3 oliwy z oliwek lub innego oleju roślinnego dodaj kilka kropli wody bromowej (schemat). Wstrząsaj przez chwilę zawartością probówki.



Addycja bromu do tłuszczów nienasyconych może służyć jako laboratoryjna **metoda rozróżniania tłuszczów nasyconych od nienasyconych**.

Obserwacje: Woda bromowa w probówce odbarwiła się (fot. 117.). Powstaje substancja o stałym stanie skupienia.
Wniosek: Odbarwienie wody bromowej i zmiana stanu skupienia substancji świadczą o obecności w ciekłych tłuszczach roślinnych reszt nienasyconych kwasów tłuszczowych.

W skład oliwy z oliwek wchodzą tłuszcze nienasycone, m.in. zawierające reszty kwasu oleinowego – ulegają one reakcji addycji bromu:



kwas oleinowy | brom | kwas 9,10-dibromooktadekanowy



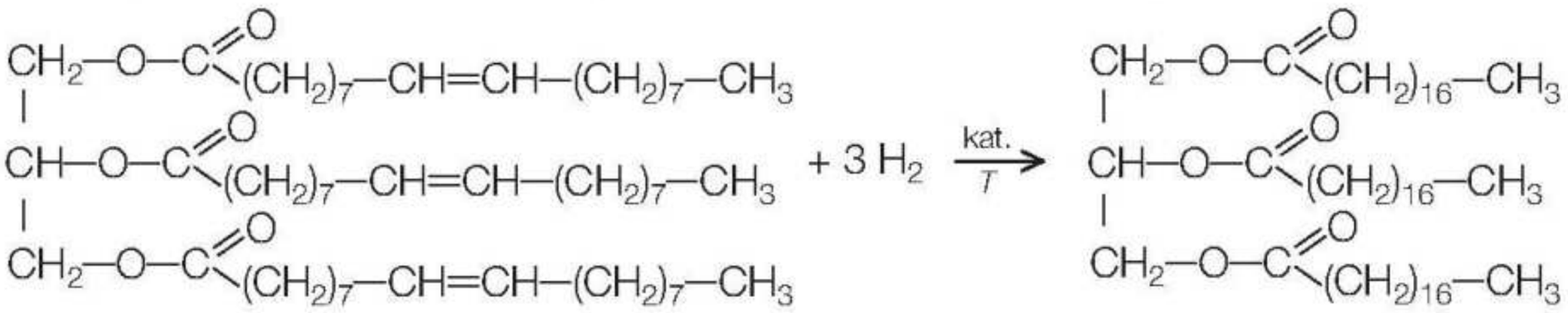
Fot. 117. Odbarwienie wody bromowej pod wpływem oliwy z oliwek.

Utwardzanie tłuszczów

W przemyśle proces **utwardzania tłuszczów** prowadzi się przez katalityczne uwodornienie olejów zgodnie ze schematem:

tłuszcz ciekły + wodór $\xrightarrow{\text{kat.}}$ tłuszcz stały — addycja H_2

Przykładowe równanie reakcji uwodornienia trioleinianu glicerolu:



trioleinian glicerolu (tłuszcz ciekły) | wodór | tristearynian glicerolu (tłuszcz stały)

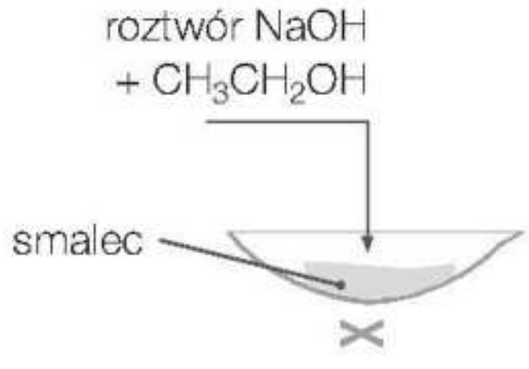
W przemyśle spożywczym stosuje się też częściowe uwodornienie. W ten sposób otrzymuje się margarynę. Jest to emulsja uzyskiwana z częściowo utwardzonych olejów roślinnych, wzbogacona witaminami oraz substancjami polepszającymi smak i zapach. Emulgatorem zapewniającym trwałość margaryny jest lecytyna.

Zmydlanie tłuszczów

Doświadczenie 52. NaOH

Hydroliza zasadowa tłuszczów (zmydlanie tłuszczów)

Odczynniki: smalec, etanol, 20-procentowy roztwór wodorotlenku sodu.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: parownica, bagietka, palnik.
Instrukcja: W parownicy umieść niewielki kawałek smalcu. Dodaj ok. 1 cm^3 etanolu i ok. 3 cm^3 20-procentowego roztworu wodorotlenku sodu. Całość mieszaj i ostrożnie ogrzewaj ok. 10 min (schemat). Po ostudzeniu powstałej substancji sprawdź jej zapach.



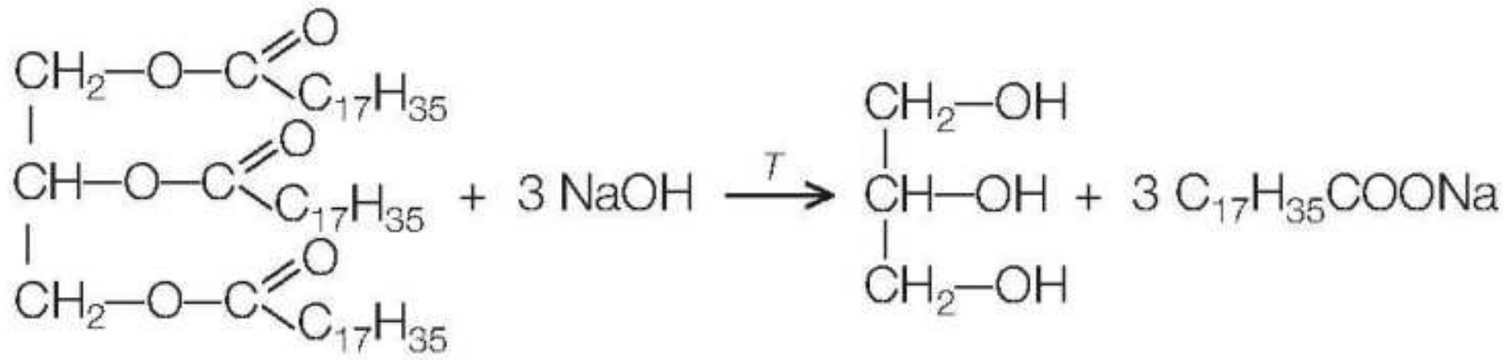


Fot. 118. Powstawanie mydła.

Obserwacje: Ogrzewana w parownicy mieszanina intensywnie się pieni (patrz fot. 118., s. 265) i wydziela charakterystyczny zapach mydlin. Produkt ma postać białej masy.
Wniosek: Powstała w reakcji chemicznej substancja to mydło. Tłuszcz uległ **hydrolizie zasadowej**, nazywanej od jej produktu **reakcją zmydlania tłuszczów**.

Reakcję chemiczną można przedstawić równaniem:

hydroliza zasadowa tłuszczu



tristearynian glicerolu (tłuszcz) | wodorotlenek sodu | glicerol (alkohol) | stearynian sodu (mydło)

Hydroliza zasadowa tłuszczów jest stosowana w przemyśle do otrzymywania mydła. W procesie tym wykorzystuje się gorsze gatunki tłuszczów.

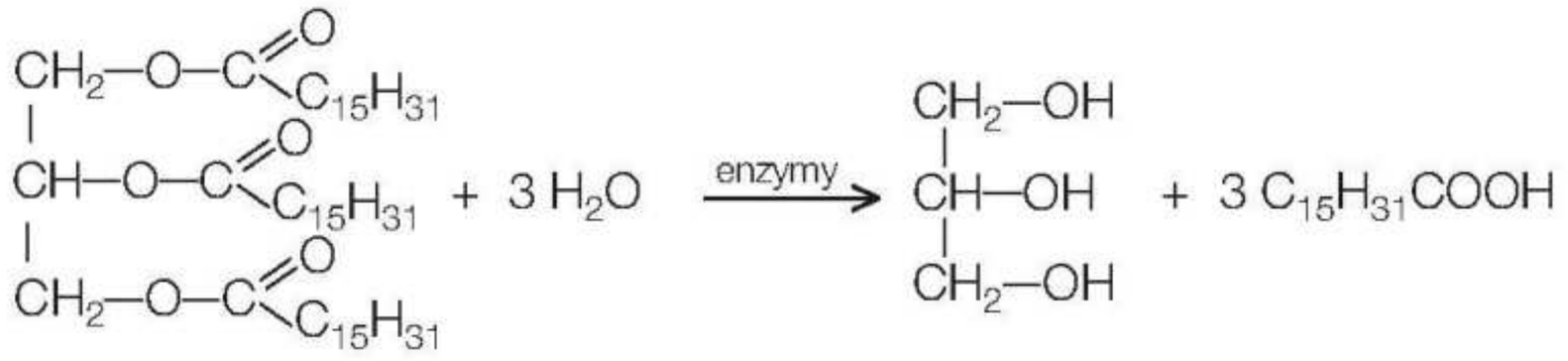
Hydroliza tłuszczów zachodzi także w organizmach ludzi i zwierząt. Wprowadzone wraz z pokarmem tłuszcze ulegają hydrolizie pod wpływem enzymów, nazywanych lipazami:

tłuszcz + woda $\xrightarrow[\text{lipazy}]{\text{hydroliza}}$ **kwasy tłuszczowe + glicerol**

Powstające kwasy karboksylowe są następnie utleniane w wieloetapowym cyklu biochemicznym zwanym β-oksydacją kwasów tłuszczowych, który prowadzi do wytworzenia znacznej ilości energii potrzebnej do prawidłowego funkcjonowania organizmu.

Przykładowe równanie reakcji hydrolizy tłuszczu w obecności enzymu:

hydroliza tłuszczów w obecności enzymów



tripalmitynian glicerolu | woda | glicerol | kwas palmitynowy



Fot. 119. Jełczenie masła polega na powstawaniu m.in. kwasu masłowego pod wpływem światła, powietrza, wody, a także enzymów. Tłuszcze mają wtedy przykry zapach.

Jełczenie tłuszczów

Podczas długiego przechowywania tłuszczów zachodzi proces ich **jełczenia** (fot. 119.). Jeżeli jest on wynikiem **utleniania kwasów tłuszczowych**, wówczas mamy do czynienia z jełczeniem oksydatywnym (ang. *oxygen* – tlen). Natomiast w wyniku **uwalniania kwasów tłuszczowych pod wpływem czynników biochemicznych**, np. enzymów, zachodzi jełczenie hydrolityczne. Jełczeniu sprzyjają podwyższona temperatura i światło słoneczne. Skutkiem tego procesu jest powstanie substancji lotnych o nieprzyjemnym zapachu. Tłuszcze, które zjełczały w wyniku utleniania kwasów tłuszczowych, mają szkodliwy wpływ na organizm.

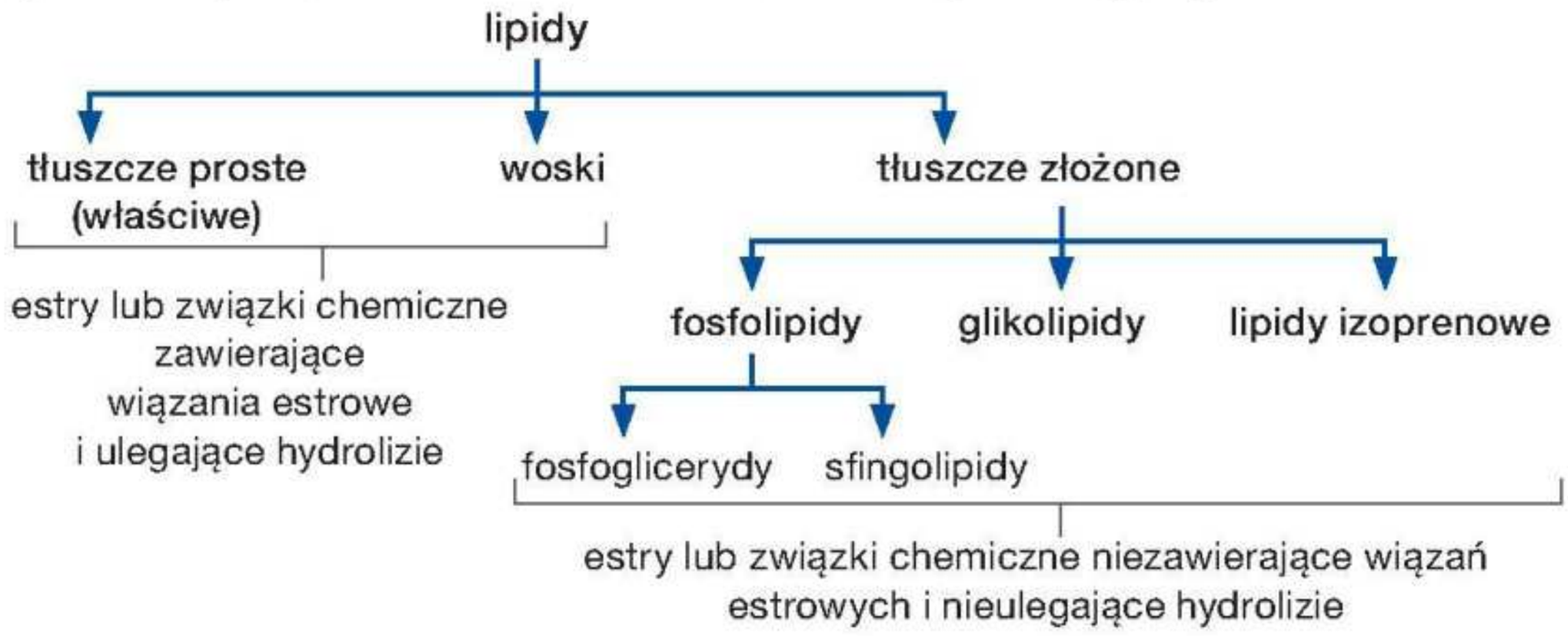
Niekiedy do jełczenia zalicza się też **reakcje zachodzące pod wpływem mikroorganizmów**, np. fermentację masłową. **Fermentacja masłowa** to proces zachodzący z udziałem bakterii masłowych **w warunkach beztlenowych**. Mikroorganizmy te występują w glebie i rozkładają polisacharydy na monosacharydy, które następnie przekształcają w kwas masłowy (butanowy):

$$\underset{\text{glukoza}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{bakterie masłowe}} \underset{\text{kwas masłowy}}{CH_3CH_2CH_2COOH} + 2\,\underset{\text{tlenek węgla(IV)}}{CO_2} + 2\,\underset{\text{wodór}}{H_2}$$

fermentacja masłowa

Lipidy

Tłuszcze należą do grupy związków organicznych zwanych **lipidami** (**tłuszczowcami**). Lipidy to związki występujące w komórkach i tkankach organizmów. Mają bardzo zróżnicowaną budowę. Wszystkie lipidy dobrze rozpuszczają się w rozpuszczalnikach niepolarnych, np. w benzynie, eterze, chloroformie, a nie rozpuszczają się w wodzie.



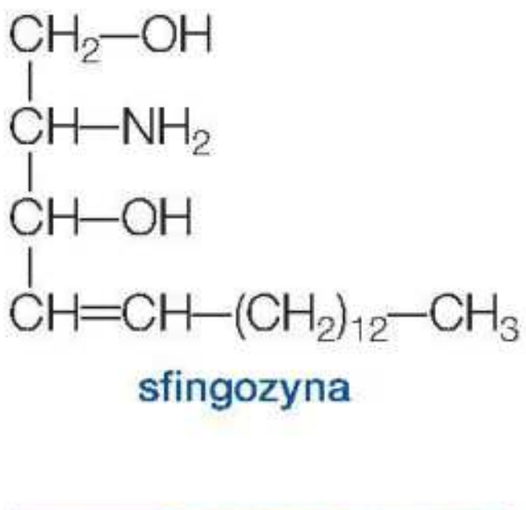
Do lipidów są zaliczane **woski**. Naturalne woski to mieszaniny różnych substancji. Ich głównymi składnikami są estry wyższych kwasów tłuszczowych oraz wyższych (długołańcuchowych) alkoholi monohydroksylowych. Ze względu na obecność długich łańcuchów węglowodorowych woski są wybitnie hydrofobowe i nie rozpuszczają się w wodzie. Do wosków naturalnych należą m.in.: wosk pszczeli, lanolina (wosk wełny owczej). Woski występują zarówno w świecie roślin, jak i zwierząt. Z liści, łodyg, kory drzew, owoców oraz nasion można wyizolować różnorodne woski roślinne. Pełnią one głównie funkcję ochronną (fot. 120.). Chronią m.in. przed zakażeniem wirusami i bakteriami. Stanowią materiał budulcowy gniazd pszczół, trzmieli oraz innych owadów, a dla niektórych morskich koralowców i skorupiaków są materiałem zapasowym.



Fot. 120. Woski zabezpieczają owoce przed nadmierną utratą wody.

Tłuszcze złożone mają zróżnicowaną strukturę. Podstawową grupę wśród tych związków chemicznych stanowią **fosfolipidy**, które dzielą się na fosfoglicerydy i sfingolipidy.

Fosfoglicerydy to estry glicerolu, którego grupy hydroksylowe są połączone wiązaniami estrowymi z dwiema cząsteczkami kwasu tłuszczowego i jedną cząsteczką kwasu fosforowego(V).



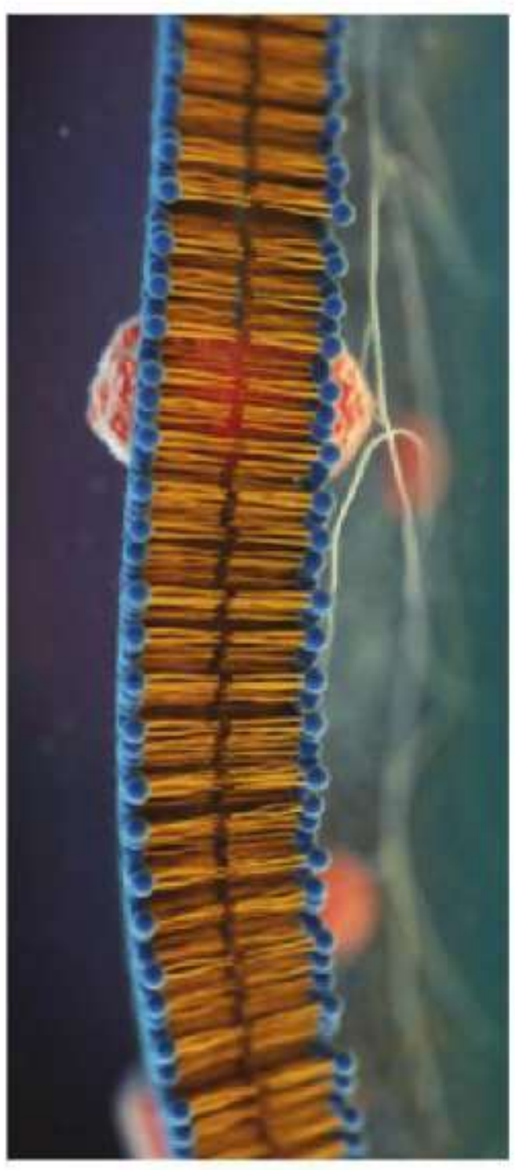
sfingozyna

Do fosfolipidów należą także **sfingolipidy**, które zamiast glicerolu zawierają **sfingozynę** – aminoalkohol – w którego skład wchodzi długi, nienasycony łańcuch węglowodorowy.

Sfingolipidy są składnikami błon komórkowych u roślin i zwierząt. W dużej ilości występują w tkance nerwowej, m.in. w mózgu.

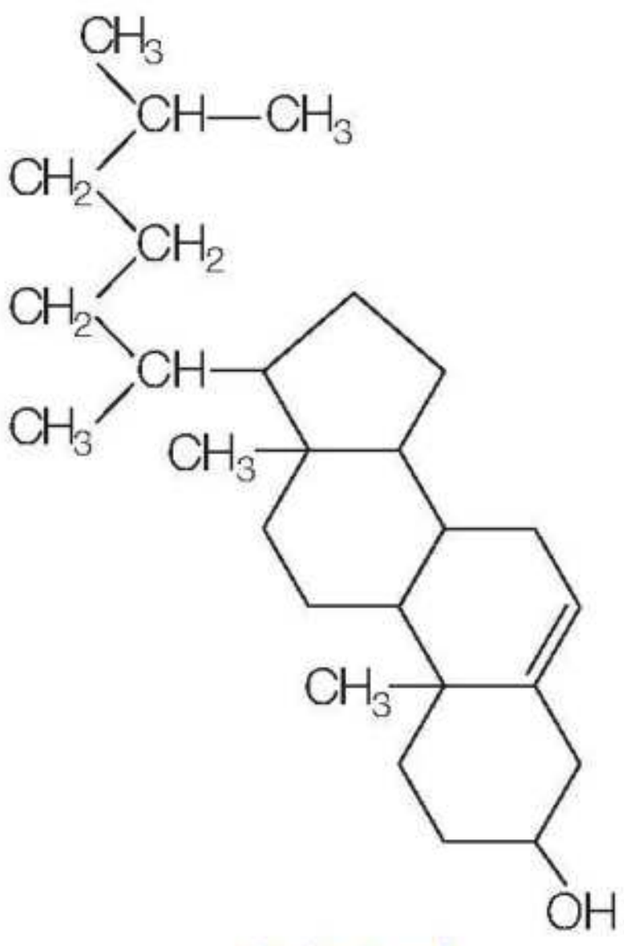
Osobną grupę tłuszczów złożonych stanowią **glikolipidy**. Są to związki chemiczne zbudowane z części lipidowej i sacharydowej.

Pomimo znaczących różnic w budowie strukturalnej, cząsteczki poszczególnych rodzajów fosfolipidów i glikolipidów mają wspólną cechę – zawierają polarną, hydrofilową główkę (reszta kwasu fosforowego(V), grupy aminowe, fragmenty sacharydów) i dwa hydrofobowe ogony (reszty kwasów tłuszczowych, kilkunastowęglowy łańcuch sfingozyny). Taka budowa umożliwia cząsteczkom fosfolipidów i glikolipidów tworzenie dwuwarstwowej błony komórkowej z węglowodorowymi ogonami skierowanymi do środka i polarnymi głowami na zewnątrz (rys. 50.).


Rys. 50. Schemat budowy dwuwarstwowej błony lipidowej.

Ważną grupę wśród lipidów stanowią **terpeny** – węglowodory o wzorze ogólnym $(C_5H_8)_n$ i ich pochodne, wchodzące w skład intensywnie pachnących olejków eterycznych wyodrębnianych z roślin. Od wieków terpeny były używane jako pachnidła, przyprawy i lekarstwa. Cząsteczki terpenów, nazywane **lipidami izoprenowymi**, oprócz atomów węgla i wodoru zawierają atomy tlenu, usytuowane w różnych grupach funkcyjnych, np. —OH, —CHO, —COOH. Pod względem chemicznym związki te są odmienne od tłuszczów. Zalicza się je jednak do lipidów, gdyż podobnie jak tłuszcze terpeny są hydrofobowe i rozpuszczają się w rozpuszczalnikach niepolarnych.

Najważniejszą grupą wśród lipidów izoprenowych są **steroidy**, związki chemiczne o złożonej budowie pierścieniowej. Podobnie jak terpeny, nie mają one w cząsteczkach wiązań estrowych. Steroidami są m.in. sterole, kwasy żółciowe, hormony steroidowe oraz prowitamina D. W tej grupie związków chemicznych na uwagę zasługuje **cholesterol**, który jest naturalnym alkoholem. Cząsteczka cholesterolu składa się m.in. z czterech pierścieni. Ich ułożeniu związek ten zawdzięcza płaską strukturę.



cholesterol

Do lipidów izoprenowych, oprócz steroidów, należą też **karotenoidy**, np. karoteny. Są to barwniki bardzo rozpowszechnione w świecie roślin i zwierząt. Nadają barwę kwiatom i owocom. Wraz z chlorofilem biorą udział w procesie fotosyntezy. Pomarańczowy barwnik β-karoten nadaje barwę m.in. marchwi. Organizm człowieka przekształca β-karoten w witaminę A, która odgrywa ważną rolę w procesach widzenia. β-karoten należy do antyutleniaczy, czyli substancji neutralizujących szkodliwe działanie wolnych rodników.

Zastosowania

Tłuszcze

Przygotowanie posiłków, np. smarowanie pieczywa, pieczenie i smażenie, to powszechnie znane zastosowanie tłuszczów pochodzenia zwierzęcego i roślinnego.



Przemysł chemiczny

Wosk karnauba stosowany jest m.in. jako składnik **past do obuwia** i podłóg oraz lakierów – nadaje powierzchniom połysk oraz chroni je przed wodą i zabrudzeniami.



Przemysł kosmetyczny

Wosk pszczeli wykorzystuje się w **kosmetykach** ze względu na jego właściwości przeciwbakteryjne i przeciwgrzybicze. Natomiast lanolina nadaje kosmetykom odpowiednią konsystencję.

Przemysł spożywczy

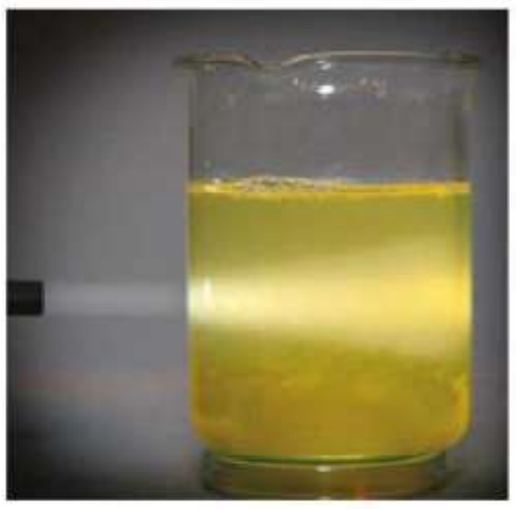
Do produkcji słodyczy, m.in. **czekolad**, używa się masła kakaowego. Podobne zastosowanie ma tłuszcz kokosowy, który wykorzystywany jest również do smażenia.

Chemia w medycynie

Tran to jedyny tłuszcz pochodzenia zwierzęcego, który w temperaturze pokojowej jest cieczą. Zawiera niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT) ważne dla prawidłowego funkcjonowania organizmu. Zawarte w nim kwasy omega-3 i omega-6 **wzmacniają układ odpornościowy oraz obniżają ciśnienie krwi**. Tran podawany jest także pacjentom cierpiącym na **niedobory witamin A i D**. Maść tranowa **ułatwia gojenie ran**.



Emulsje



Fot. 121. Koloidy od roztworów właściwych odróżnia występujący w nich efekt Tyndalla.

Emulgator – substancja ułatwiająca tworzenie się emulsji i utrwalająca ją.

Tłuszcze, w przeciwieństwie do wody, mają budowę niepolarną. Po intensywnym wymieszaniu tłuszczu, np. oleju z wodą, powstaje emulsja (patrz *To jest chemia*, cz. 1, s. 241). Jest to układ koloidalny (fot. 121.), mieszanina co najmniej dwóch cieczy.

Ciecze wchodzące w skład emulsji nie rozpuszczają się wzajemnie, lecz jedna z nich jest rozproszona w drugiej. **Rozproszenie** oznacza rozmieszczenie jednej cieczy w postaci kropel, czyli **cieczy rozproszonej**, w całej objętości drugiej cieczy, czyli **cieczy rozpraszającej**.

Składniki emulsji mają odmienne właściwości, dlatego trudno przygotować z nich mieszaninę jednorodną. Emulsje są układami nietrwałymi ulegającymi rozwarstwieniu. Dodatek **emulgatora** ułatwia tworzenie się emulsji (patrz s. 271) i zwiększa jej trwałość. Emulsjami są niektóre produkty spożywcze, np. majonezy, sosy, oraz większość kosmetyków i środków czystości.

Składniki kosmetyków

Kosmetyki – produkty przeznaczone do oczyszczania i upiększania ciała, a także do ochrony skóry przed utratą wody i szkodliwym działaniem czynników atmosferycznych, np. promieniowania słonecznego, wiatru czy niskiej temperatury.

Skóra to zewnętrzna powłoka ciała, która m.in. chroni organizm przed utratą wody (organizm człowieka zawiera ok. 65% H_2O). Zachodzą w niej liczne procesy odnowy komórek, jednak wraz z upływem lat zaczynają przeważać procesy ich rozpadu. Powoduje to zmniejszenie zdolności regeneracji uszkodzonych fragmentów i starzenie się skóry, czego objawami są m.in. wysuszenie, wiotkość oraz zmarszczki. Zadaniem kosmetyków jest utrzymanie skóry w takim stanie, aby jak najdłużej mogła pełnić swoje funkcje, a także tuszowanie niekorzystnych zmian powstających z wiekiem. Ogromną rolę odgrywają zatem odpowiednie jej nawilżanie i natłuszczanie oraz ochrona przed szkodliwym promieniowaniem słonecznym. Dlatego najważniejszą właściwością kosmetyków jest ich zdolność wnikania do warstwy skóry, w której składniki kosmetyku będą działały najlepiej. Informacja o składnikach każdego kosmetyku jest podana na jego etykiecie lub na ulotce dołączonej do opakowania (patrz s. 272–273).

UV (ang. *ultraviolet*) – promieniowanie nadfioletowe; UVB – długość fali: 280–315 nm, UVA – długość fali: 315–380 nm.

Na naskórek działają kosmetyki pełniące funkcje: oczyszczającą, ochronną, zapachową i upiększającą. Do tej warstwy dociera też promieniowanie wywołujące oparzenia słoneczne (UVB). Kosmetyki o działaniu pielęgnacyjnym wnikają do skóry właściwej. Dociera do niej również promieniowanie odpowiedzialne za opaleniznę (UVA). Do tkanki podskórnej kosmetyki nie docierają.

Kosmetyki pełnią wiele funkcji. Najczęściej stosuje się je na skórę, włosy, paznokcie i zęby. Ze względu na funkcję, jaką ma pełnić kosmetyk, do jego produkcji wykorzystuje się substancje o określonym działaniu (patrz tabela 28., s. 274)

Krok po kroku

Powstawanie emulsji

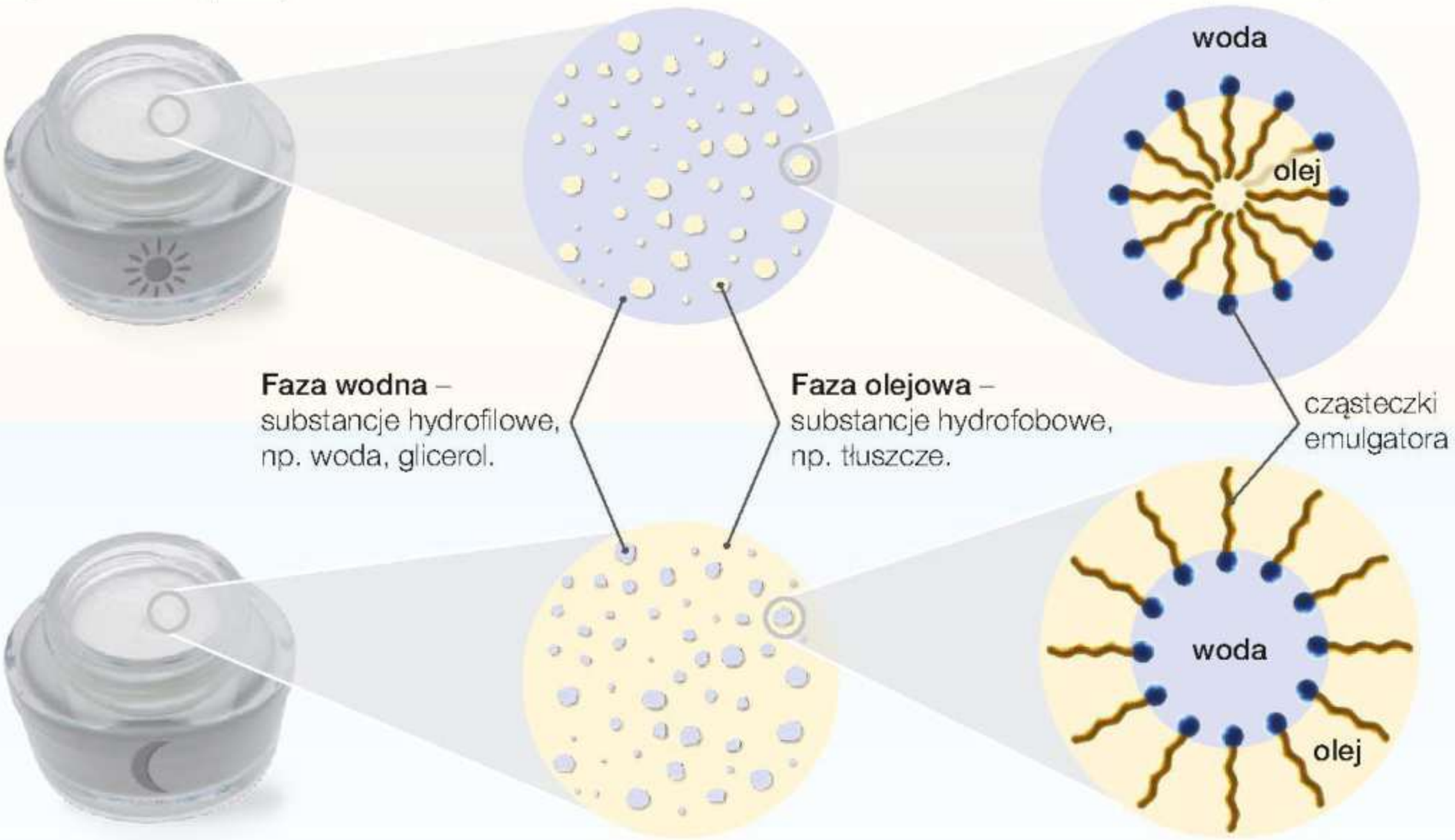
Wyróżnia się dwa typy emulsji. Jeżeli dominującym składnikiem jest substancja hydrofilowa, a składnikiem w niej rozproszonym substancja hydrofobowa, to mówimy o **emulsji typu olej w wodzie** (O/W). **Emulsja typu woda w oleju** (W/O) występuje wówczas, gdy w substancji hydrofobowej jest rozproszona substancja hydrofilowa.

Emulsja typu O/W

Kosmetyki o działaniu nawilżającym to najczęściej emulsje typu **olej w wodzie** (O/W).

Kropelki fazy olejowej są rozproszone w fazie wodnej.

W emulsji **typu O/W** cząsteczki emulgatora otaczają kropelki tłuszczu, uniemożliwiając im ponowne połączenie się.



Emulsja typu W/O

Postać emulsji typu **woda w oleju** (W/O) mają np. kosmetyki o działaniu natłuszczającym.

Kropelki fazy wodnej są rozproszone w fazie olejowej.

W emulsji **typu W/O** cząsteczki emulgatora otaczają kropelki wody, utrudniając ich ponowne połączenie się.

Jaką funkcję pełni emulgator?

Dodatek emulgatora ułatwia **tworzenie się emulsji**, która jest najczęściej mieszaniną tłuszczu i wody. Substancja pełniąca funkcję emulgatora musi składać się zarówno z części hydrofilowej, jak i hydrofobowej, tak jak np. mydło. Emulgator w emulsji ustawia się tak, że jego część **hydrofilowa** styka się z **wodą** (substancją hydrofilową), a część **hydrofobowa** – z **tłuszczem** (substancją hydrofobową). Emulgatora nie zawiera np. płyn dwufazowy do demakijażu – mieszanina fazy wodnej i oleistej. Dopiero po intensywnym wstrząśnięciu butelką powstaje emulsja. Jest ona jednak nietrwała i po kilku minutach mieszanina się rozwarstwia.

Krok po kroku

Analiza składu kosmetyków

Składniki każdego kosmetyku są podane na etykiecie lub na ulotce dołączonej do opakowania. Aby ujednolicić opis składu kosmetyków, wprowadzono system **INCI** (ang. *International Nomenclature of Cosmetic Ingredients*) – Międzynarodowe Nazewnictwo Składników Kosmetycznych. W systemie INCI stosuje się angielskie nazwy związków chemicznych oraz łacińskie nazwy roślin, a także skróty i uproszczenia (np. jeśli nazwy są zbyt długie lub skomplikowane albo gdy dany składnik jest mieszaniną).

Substancja bazowa

Aqua – woda
Ethyl Alcohol – etanol

Cztery zasady INCI, według których należy analizować skład kosmetyków:

1. **Nazwy składników** są porządkowane zgodnie z ich malejącą zawartością w produkcie.
2. Jeśli **zawartość poszczególnych składników** jest taka sama, to ich nazwy wymienia się w kolejności alfabetycznej.
3. **Substancje stanowiące mniej niż 1%** (procent masowy) produktu wymienia się w dowolnej kolejności (nie porządkuje się zgodnie z zasadą 1.).
4. **Nazwy substancji zapachowych oraz barwników** są zawsze umieszczane na końcu listy. Nazwy barwników są zapisywane w postaci numerów CI (ang. *Color Index*).



Jakie funkcje pełnią składniki kosmetyków?

W skład kosmetyku wchodzą substancje bazowe, czynne oraz dodatkowe. **Składniki bazowe** stanowią największy udział w masie produktu, zawsze są wymienione w składzie na pierwszym miejscu. Są rozpuszczalnikami dla pozostałych składników kosmetyku. **Składniki czynne (aktywne)** to substancje warunkujące działanie kosmetyku, np.: nawilżające, promieniochronne, wybielające, złuszczające lub barwiące. **Składniki dodatkowe (pomocnicze)** to substancje ułatwiające uzyskanie ostatecznej postaci kosmetyku (np. emulgatory), zapewniające jego trwałość przez dłuższy czas (konserwanty, przeciwutleniacze) oraz nadające barwę i zapach.



oznaczenie informujące o tym, że do opakowania **dołączono ulotkę** zawierającą informacje na temat składu kosmetyku i jego stosowania



Substancja czynna (aktywna)

Hydrated Silica – uwodniona krzemionka
Olaflur – olaflur, czyli aminofluorek (związek fluoru)

Substancja dodatkowa (pomocnicza)

Titanium Dioxide – tlenek tytanu(IV)
Saccharin – sacharyna
Hydroxyethylcellulose – hydroksyetyloceluloza
Limonene – limonen



Czas po otwarciu – symbol PAO (ang. ***P**eriod **A**fter **O**pening*) informuje o liczbie miesięcy (M), w czasie których można bezpiecznie używać kosmetyku, licząc od dnia jego otwarcia.

SPF 15

Wskaźnik ochrony przeciwsłonecznej przed promieniowaniem UVB – SPF (ang. ***S**un **P**rotection **F**actor*). Im wyższa wartość przy SPF, tym większa ochrona przed promieniowaniem UVB. Liczba określa, jak długo można bezpiecznie opalać się w ciągu jednego dnia w określonych warunkach (np. kosmetyki zawierające SPF 15 mogą wydłużyć bezpieczny czas przebywania na słońcu 15 razy).

UVA

Ochrona przed promieniami UV – symbol UVA informuje o kompleksowej ochronie przed promieniowaniem UV. Większość kosmetyków promieniochronnych zawiera tylko filtry przeciwko promieniowaniu UVB, podczas gdy bardziej szkodliwe jest promieniowanie UVA.

Tabela 28. Działanie substancji zawartych w kosmetykach

Rodzaje substancji	Właściwości i działanie
Substancje promieniochronne (filtry)	Chronią skórę przed szkodliwym działaniem promieniowania słonecznego (promieniowania UV). **Filtry chemiczne** pochłaniają część promieniowania UV, np. **witaminy C** i **E**. **Filtry fizyczne** rozpraszają lub odbijają część promieniowania UV, np. **ZnO** i **TiO_2**.
Substancje nawilżające	Przenikają przez zewnętrzną warstwę naskórka, dostarczają wodę do jego głębszych warstw i zatrzymują ją tam, np.: **$C_3H_5(OH)_3$**, **sacharydy**, **aminokwasy**.
Substancje konserwujące i przeciwutleniające	Ich zadaniem jest utrzymanie kosmetyku w niezmienionym stanie w czasie określonym przez datę przydatności do użytku. Hamują rozwój mikroorganizmów oraz zapobiegają utlenianiu się tłuszczów, czyli ich jełczeniu. Są to m.in.: **HCOOH**, **CH_3CH_2COOH** i **witamina E**.
Substancje antybakteryjne	Niszczą bakterie odpowiedzialne m.in. za powstawanie wyprysków i zapachu potu, np.: **S**, **Ag**, **H_3BO_3**, **ZnO**.
Substancje polerujące i złuszczające	To składniki past do zębów i środków usuwających nadmiar zrogowaciałego naskórka (peelingów), np.: **$Ca_3(PO_4)_2$**, **$Mg_3(PO_4)_2$**, **$CaCO_3$**, **NaCl**.
Barwniki	Składniki farb do włosów oraz tzw. kosmetyków kolorowych (szminek, cieni do powiek, lakierów do paznokci itp.), np.: **C**, **Cu**, **Au**, **Al**, **ZnO**, **TiO_2**.
Substancje zapachowe	Pełnią funkcję utrwalacza lub modyfikatora zapachu. **Substancje zapachowe naturalne** są uzyskiwane z roślin, np. **olejki** różany i goździkowy, lub ze zwierząt, np. **ambra**, **piżmo**, **cybeton**. Natomiast substancje zapachowe otrzymywane **syntetycznie** to m.in. alkohole, np. **heksan-1-ol**, węglowodory, np. **limonen** – zapach cytryn, oraz estry, np. **cynamonian metylu** – zapach truskawek.

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. **Napisz wzory półstrukturalne związków chemicznych o podanych nazwach.**
   a) 2,3-dioleinian-1-stearynian glicerolu b) 2-oleinian-1,3-dipalmitynian glicerolu

2. 200 g trioleinianu glicerolu przereagowało z jodem. Po reakcji chemicznej masa tłuszczu zwiększyła się o 101,6 g. **Oblicz wydajność przeprowadzonej reakcji chemicznej.**

3. **Oblicz, ile decymetrów sześciennych wodoru, odmierzonego w warunkach normalnych, należy użyć do katalitycznego uwodornienia 0,5 kg trioleinianu glicerolu, jeśli reakcja chemiczna zachodzi z wydajnością 90%.**

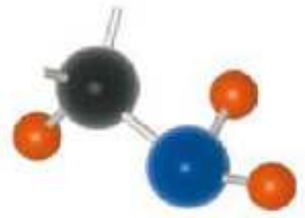
4. **Ustal wzór sumaryczny tłuszczu poddanego hydrolizie, w której wyniku otrzymano 256 g kwasu palmitynowego i 142 g kwasu stearynowego.**

5. Przykładem emulsji jest majonez. Sporządza się go, stopniowo dodając do żółtek jaj kurzych olej z octem lub sokiem cytrynowym. Zawarta w żółtku lecytyna zapobiega rozwarstwianiu się majonezu.
   a) **Napisz, co w majonezie jest fazą wodną, co fazą olejową, a co emulgatorem.**
   b) **Zaprojektuj doświadczenie, w którym wykażesz właściwości emulgatora w majonezie. Napisz instrukcję, narysuj schemat, podaj obserwacje i sformułuj wniosek.**

6. **Korzystając z różnych źródeł informacji, przetłumacz i zapisz nazwy substancji, które znajdują się na opakowaniu kremu do rąk. Wymień ich funkcje.**
   Składniki /INCI/: *Aqua, Mineral Oil, Glycerin, Stearic Acid, Cera Alba, Citric Acid, Citronellol, Eugenol.*

23. Aminy

Aminy (rys. 51.) należą do związków organicznych zawierających w cząsteczkach **atomy azotu**.



Rys. 51. Model fragmentu cząsteczki aminy.

Modele atomów:
węgla azotu
wodoru

Występowanie amin

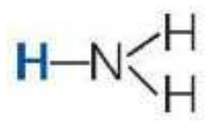
Aminy są wytwarzane w organizmach roślin oraz zwierząt. Źródłem wielu amin, głównie meskaliny $C_{11}H_{17}NO_3$ – pochodnej fenyloetyloaminy $C_8H_{11}N$ – jest kaktus jazgrza Williamsa, nazywany także pejotlem (fot. 122.). Inną pochodną fenyloetyloaminy jest efedryna $C_{10}H_{15}NO$ wytwarzana przez rosnący w Azji krzew o nazwie przęśl chińska (łac. *Ephedra*). W organizmie człowieka występują fenyloetyloamina – syntetyzowana w fazie zakochania, dopamina $C_8H_{11}NO_2$, która wpływa m.in. na stan napięcia mięśni i koordynację ruchową, oraz adrenalina $C_9H_{13}NO_3$, której stężenie zwiększa się np. z powodu stresu.



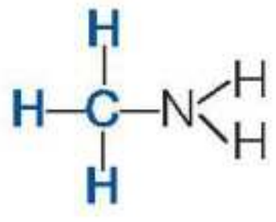
Fot. 122. Meskalina – związek chemiczny, który znajduje się w tej roślinie – jest trująca.

Budowa cząsteczek amin

Aminy to **pochodne amoniaku**, w którym jeden, dwa lub trzy atomy wodoru w cząsteczce zostały zastąpione grupami węglowodorowymi.



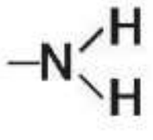
wzór strukturalny cząsteczki amoniaku



wzór strukturalny cząsteczki aminy (metanoaminy)

Cząsteczki amin zawierają grupę funkcyjną – **grupę aminową** $-NH_2$.

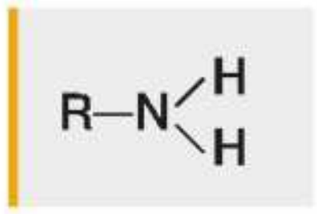
grupa aminowa



Rzędowość amin

Aminy zawierające **grupę funkcyjną** $-NH_2$ to aminy **pierwszorzędowe (1°, I-rzędowe)**. Jeżeli w cząsteczce amoniaku jeden atom wodoru zostanie zastąpiony grupą węglowodorową, to powstanie amina pierwszorzędowa.

Wzór ogólny amin pierwszorzędowych:



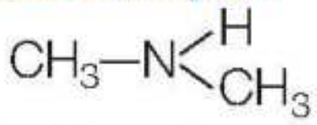
◀ Wzór ogólny amin 1°

gdzie:
$-R$, $-R_1$, $-R_2$, $-R_3$ – grupy alkilowe lub grupy arylowe,
$-NH_2$ – grupa aminowa.

Przykład aminy 1°:

CH_3-NH_2
metanoamina
metyloamina

Przykład aminy 2°:

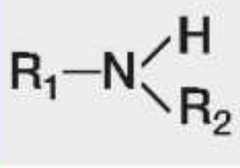


N-metylometanoamina
dimetanoamina

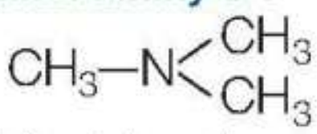
Jeżeli w cząsteczce amoniaku dwa atomy wodoru zostaną zastąpione grupami węglowodorowymi, to powstanie **amina drugorzędowa (2°, II-rzędowa)**.

Wzór ogólny amin drugorzędowych:

Wzór ogólny amin 2° ▶



Przykład aminy 3°:

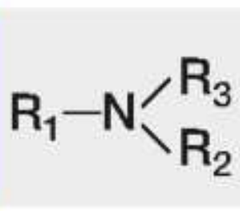


N, *N*-dimetylometanoamina
trimetanoamina

Natomiast jeżeli w cząsteczce amoniaku trzy atomy wodoru zostaną zastąpione grupami węglowodorowymi, to powstanie **amina trzeciorzędowa (3°, III-rzędowa)**.

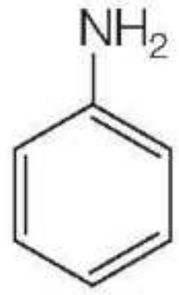
Wzór ogólny amin trzeciorzędowych:

Wzór ogólny amin 3° ▶



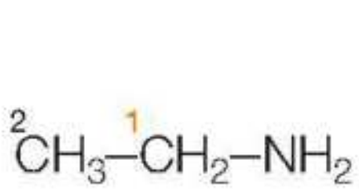
Rzędowość amin określa się więc w inny sposób niż rzędowość alkoholi. **Kryterium rzędowości** amin **jest liczba grup węglowodorowych związanych z atomem azotu**.

Przykładem pierwszorzędowej aminy aromatycznej jest **benzenoamina** o nazwie zwyczajowej **anilina**:

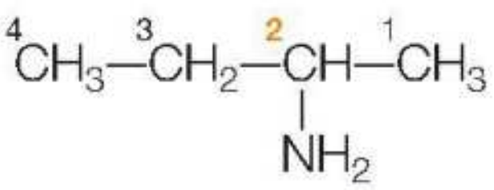


Nazewnictwo amin

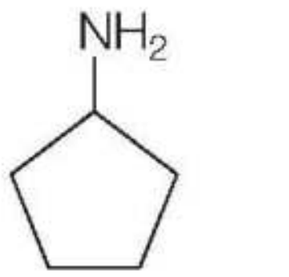
Nazwy systematyczne amin pierwszorzędowych tworzy się, dodając do **nazwy węglowodoru** przyrostek -**amina**, poprzedzony łącznikiem „**o**" i odpowiednim lokantem dotyczącym położenia grupy $-NH_2$. Można również dodawać przyrostek -**amina** do nazwy grupy alkilowej lub arylowej:



etano-**1**-**amina**

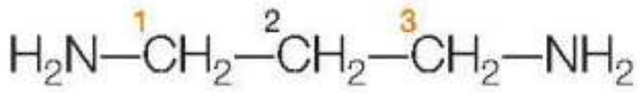


butano-**2**-**amina**



cyklopentano**amina**

Podobnie tworzy się nazwy amin o kilku grupach aminowych, np.:

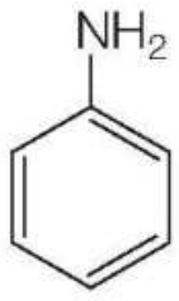


propano-**1**,**3**-di**amina**



benzeno-**1**,**2**,**5**-tri**amina**

Dla niektórych amin, zwłaszcza aromatycznych, stosuje się nazwy zwyczajowe, np.:



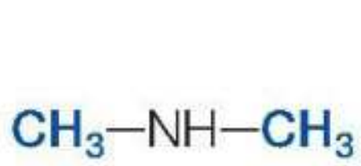
anilina

model czaszowy cząsteczki aniliny

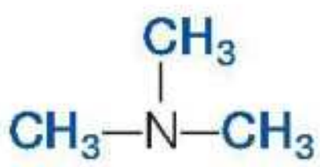


Modele atomów:
węgla, azotu, wodoru

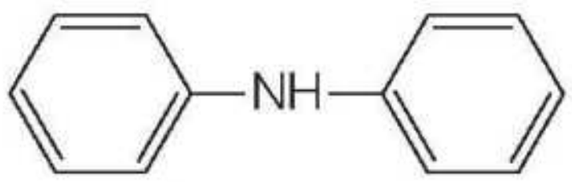
Nazwy amin drugo- i trzeciorzędowych tworzy się przez dodanie przedrostków **di-** lub **tri-** do nazwy aminy, np.:



dimetanoamina
dimetyloamina

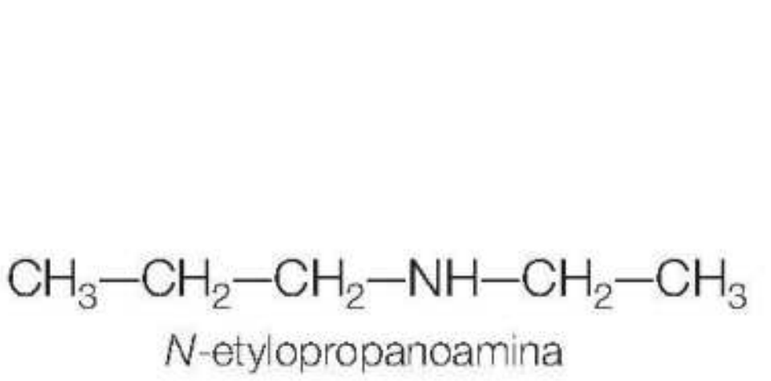


trimetanoamina
trimetyloamina

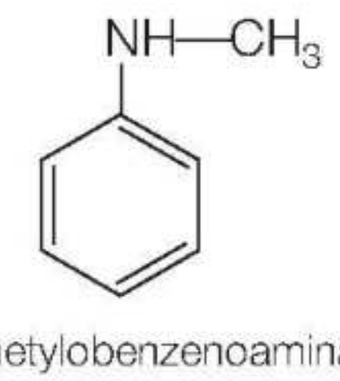


difenyloamina

W przypadku, gdy aminy drugo- lub trzeciorzędowe zawierają różne podstawniki przy atomie azotu, traktuje się je jako *N*-podstawione pochodne amin pierwszorzędowych. Jako podstawę nazwy aminy pierwszorzędowej wybiera się największą grupę węglowodorową, np.:



N-etylopropanoamina

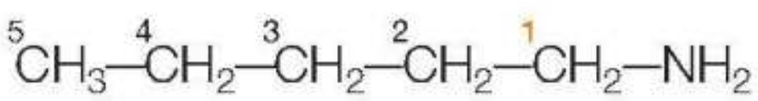


N-metylobenzenoamina
N-metyloanilina

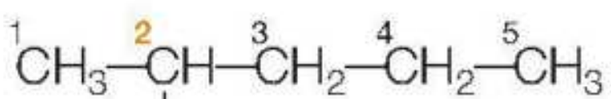
Izomeria konstytucyjna amin

Wśród amin, podobnie jak wśród innych związków organicznych, występuje zjawisko izomerii. Aminy mogą tworzyć:

- **izomery położenia** różniące się położeniem grupy aminowej, np.:

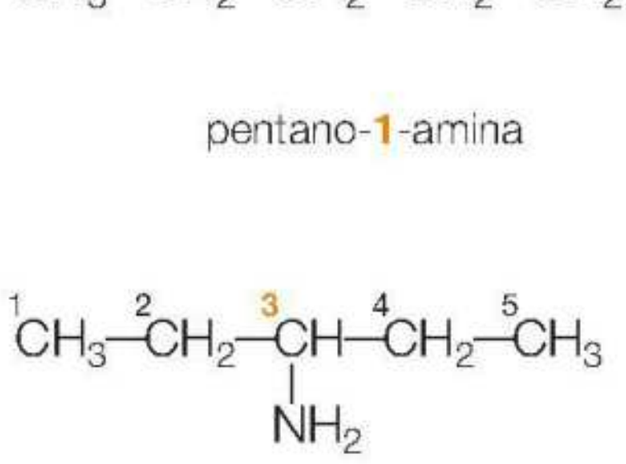


pentano-**1**-amina

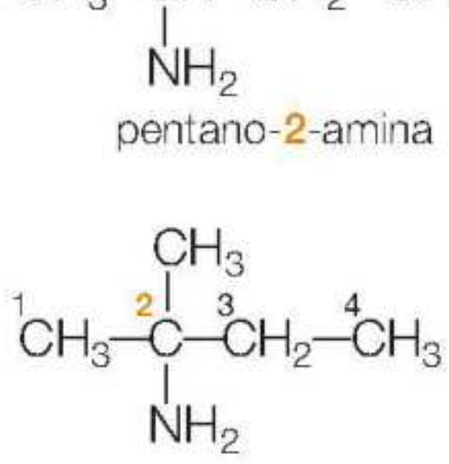


pentano-**2**-amina

izomery $C_5H_{13}N$

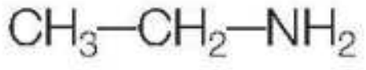


pentano-**3**-amina



2-metylobutano-**2**-amina

- **izomery szkieletowe** różniące się rzędowością amin:



etanoamina
amina 1°



dimetanoamina
amina 2°

izomery C_2H_7N

Otrzymywanie amin

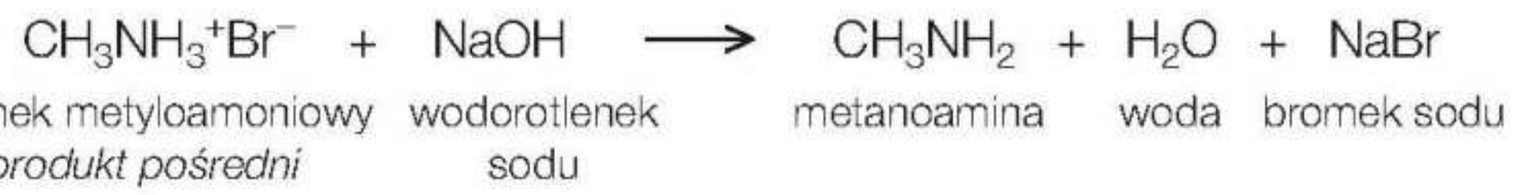
Podstawową metodą otrzymywania pierwszorzędowych amin alifatycznych jest **reakcja fluorowcopochodnych alkanów z amoniakiem**, która zachodzi w dwóch etapach:

Etap I. Fluorowcopochodna alkanu reaguje z amoniakiem.



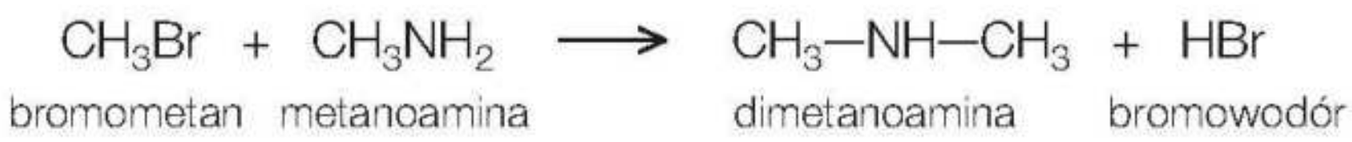
Etap II. Powstały produkt reaguje z wodorotlenkiem sodu.

otrzymywanie CH_3NH_2

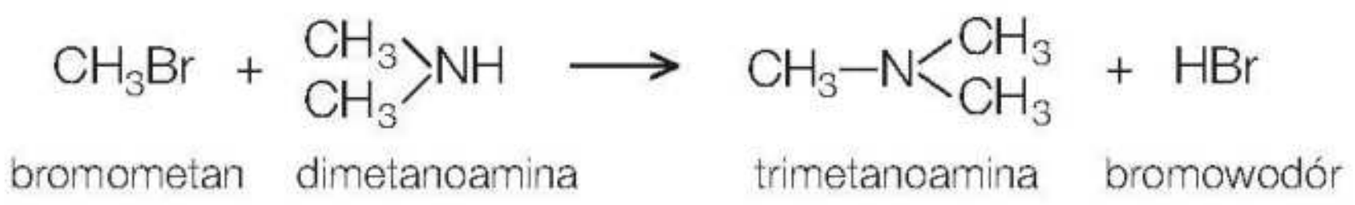


Otrzymana amina pierwszorzędowa może dalej reagować z nadmiarem fluorowcopochodnych alkanów. W ten sposób powstają aminy drugo- i trzeciorzędowe. Poniżej przedstawiono ogólne równania reakcji bez uwzględniania etapów pośrednich:

otrzymywanie $(CH_3)_2NH$

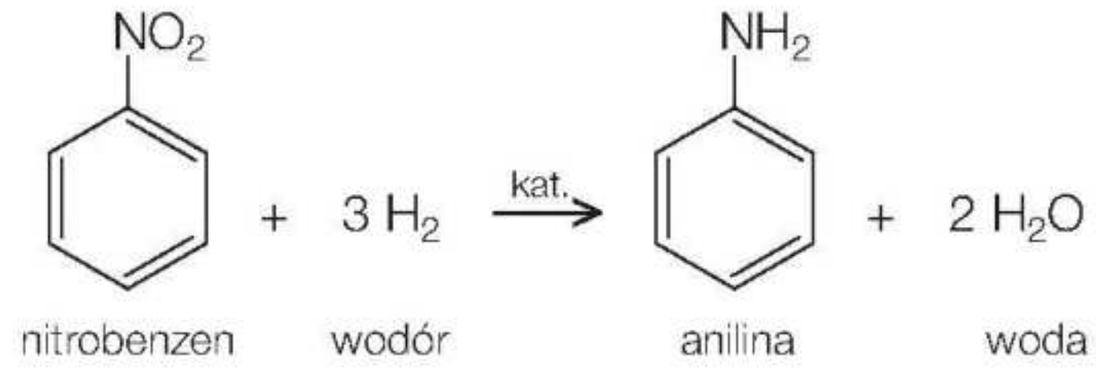


otrzymywanie $(CH_3)_3N$



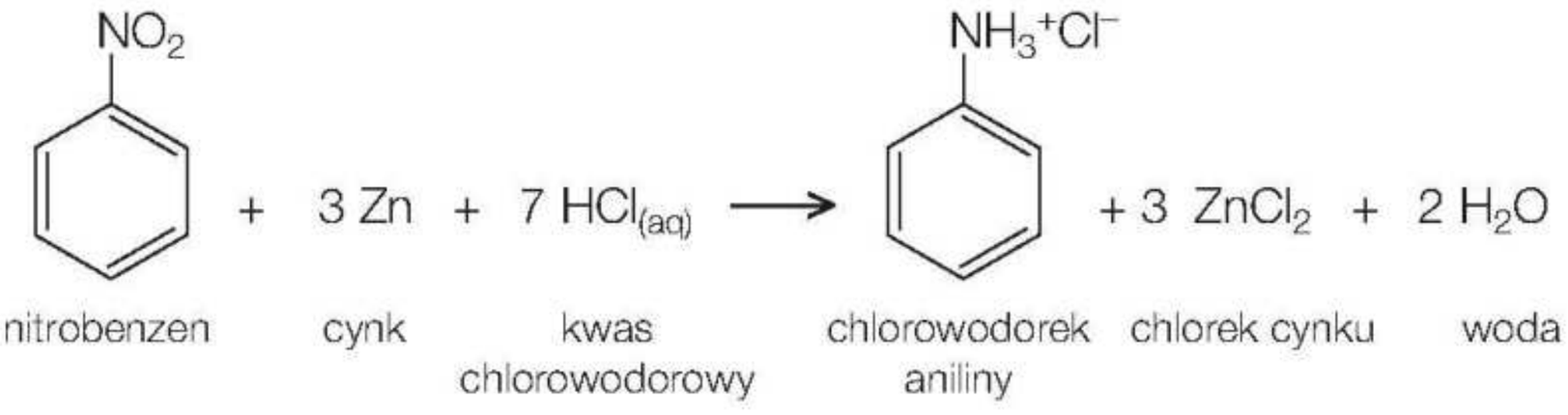
Na skalę przemysłową aminy aromatyczne otrzymuje się przez **redukcję związków nitrowych**. Są to związki aromatyczne zawierające grupę $-NO_2$. Anilinę otrzymuje się, redukując nitrobenzen wodorem w obecności katalizatora:

otrzymywanie $C_6H_5NH_2$

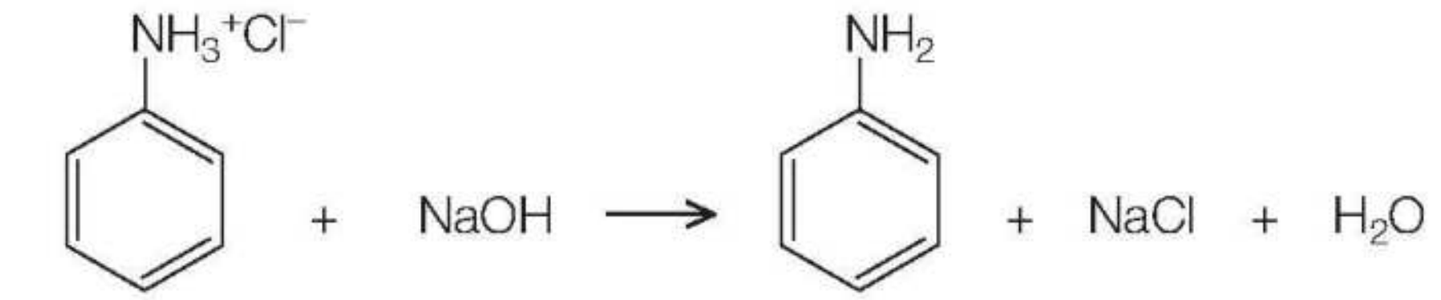


W skali laboratoryjnej do redukcji nitrobenzenu stosuje się także mieszaninę cynku, cyny lub żelaza z kwasem chlorowodorowym. Reakcja chemiczna zachodzi wtedy w dwóch etapach:

Etap I. Nitrobenzen reaguje z cynkiem i kwasem chlorowodorowym.



Etap II. Chlorowodorek aniliny (chlorek anilinium) reaguje z wodorotlenkiem sodu.



otrzymywanie $C_6H_5NH_2$

Właściwości amin

Właściwości amin zostaną przedstawione na przykładzie dwóch związków chemicznych: metanoaminy i aniliny.

Doświadczenie 53.



CH_3NH_2, $C_6H_5NH_2$



CH_3NH_2

$C_6H_5NH_2$

Badanie właściwości amin

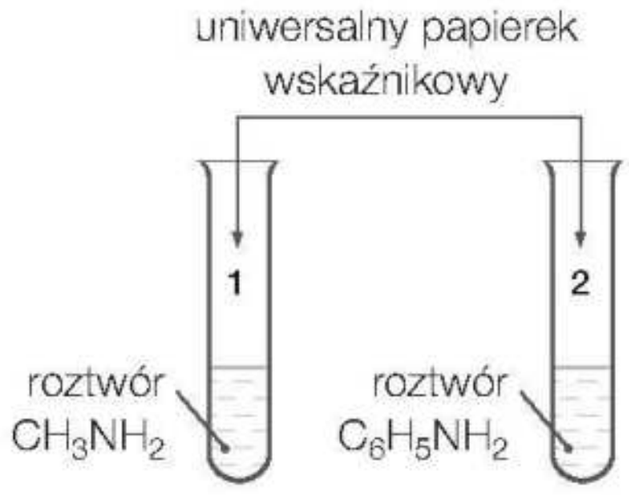
Aminy są substancjami toksycznymi. Anilina przenika przez skórę. Wszystkie doświadczenia z tymi związkami chemicznymi wykonuj ściśle według instrukcji i z zachowaniem dużej ostrożności. Doświadczenie wykonuj w okularach i rękawicach ochronnych.

Odczynniki: wodny roztwór metanoaminy, anilina, woda.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, uniwersalne papierki wskaźnikowe.

Instrukcja: a) Określ barwę i zapach wodnego roztworu metanoaminy oraz sprawdź jej odczyn uniwersalnym papierkiem wskaźnikowym.

b) Określ stan skupienia aniliny oraz sprawdź jej barwę, zapach, odczyn (schemat) i rozpuszczalność w wodzie.



Obserwacje: Metanoamina jest bezbarwnym gazem o nieprzyjemnym zapachu psujących się ryb. Roztwór metanoaminy barwi uniwersalny papierek wskaźnikowy na zielononiebiesko (fot. 123.). Anilina jest bezbarwną, oleistą cieczą, która na powietrzu brunatnieje. Ma słaby, ale charakterystyczny, mdły zapach. Słabo rozpuszcza się w wodzie. Uniwersalny papierek wskaźnikowy w roztworze aniliny nie zmienia barwy.

Wniosek: Roztwór metanoaminy ma odczyn zasadowy, a roztwór aniliny – obojętny.



Fot. 123. Roztwór metanoaminy ma odczyn zasadowy.

W temperaturze pokojowej metanoamina i etanoamina są gazami (patrz tabela 29., s. 280). Aminy alifatyczne o większej masie cząsteczkowej oraz aminy aromatyczne są cieczami. Aminy o bardzo dużych masach cząsteczkowych są substancjami stałymi. Słabo rozpuszczają się w wodzie.

Tabela 29. Stan skupienia i temperatura wrzenia wybranych amin

Nazwa i wzór związku chemicznego	etano-1-amina $CH_3CH_2NH_2$	propano-1-amina $CH_3CH_2CH_2NH_2$	anilina $C_6H_5NH_2$
Stan skupienia w temperaturze $T = 20°C$	gaz	ciecz	oleista ciecz
Temperatura wrzenia*, °C	16,6	47,2	184,2

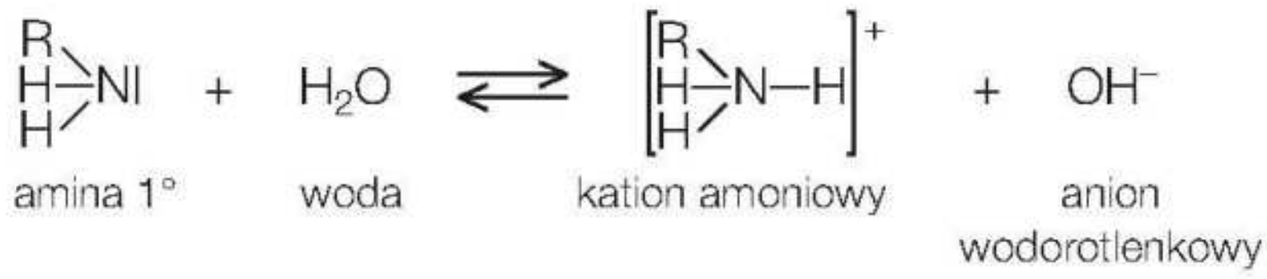
* Temperatury wrzenia wyznaczone dla $p = 1013$ hPa.
Na podstawie: W. Mizerski, *Tablice chemiczne*, Adamantan, Warszawa 2013.

Podobnie jak amoniak, **aminy wykazują charakter zasadowy** – przyłączają proton do wolnej pary elektronowej atomu azotu w reakcji chemicznej z wodą:

przyłączanie protonu do NH_3



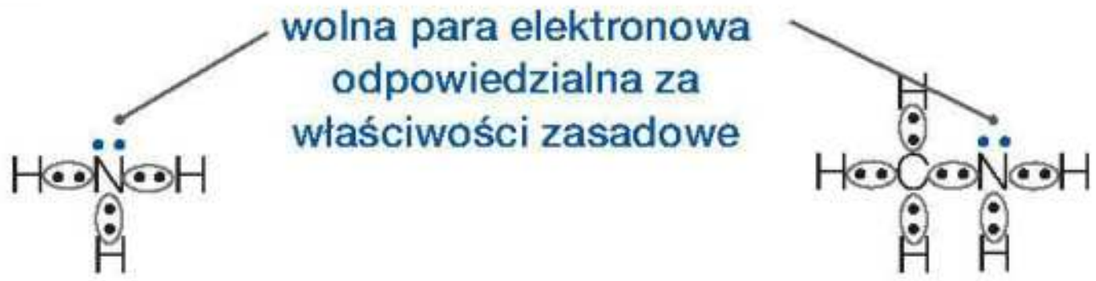
przyłączanie protonu do $R{-}NH_2$





Rys. 52. Rozmieszczenie wiązań N—H w amoniaku i aminach odpowiada hybrydyzacji sp^3 atomu azotu.

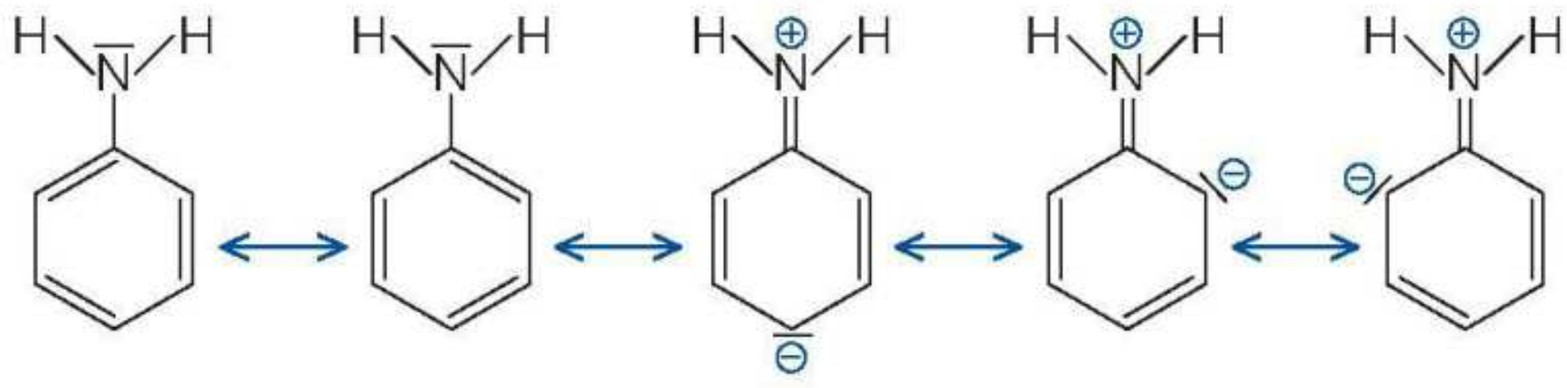
Właściwości zasadowe zarówno amoniaku, jak i amin wynikają z obecności wolnej (niewiążącej) pary elektronowej atomu azotu w grupie $-NH_2$ (rys. 52.). **Aminy**, podobnie jak amoniak, **mają wolną parę elektronową** pochodzącą od **atomu azotu**, co ma znaczący wpływ na właściwości amin:



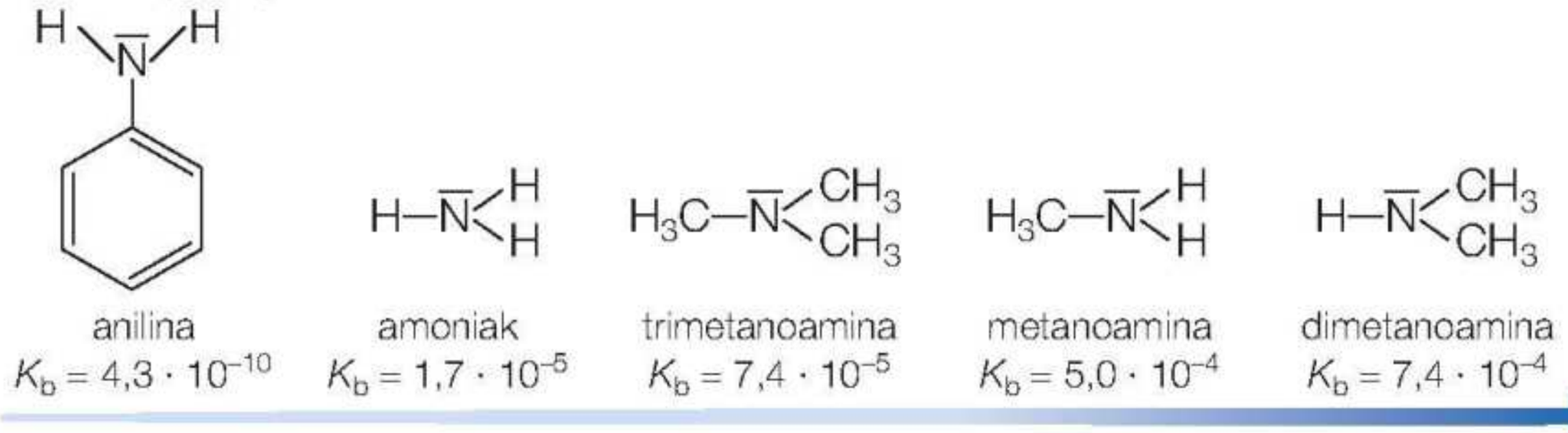
wzór elektronowy amoniaku

wzór elektronowy metyloaminy

Wśród amin alifatycznych metanoamina i etanoamina są słabymi zasadami. Wodny roztwór aniliny ma odczyn prawie obojętny. Anilina i inne **aminy aromatyczne** wykazują jeszcze **słabsze właściwości zasadowe niż aminy alifatyczne**, co jest spowodowane oddziaływaniem wolnej pary elektronowej grupy $-NH_2$ z elektronami pierścienia aromatycznego:

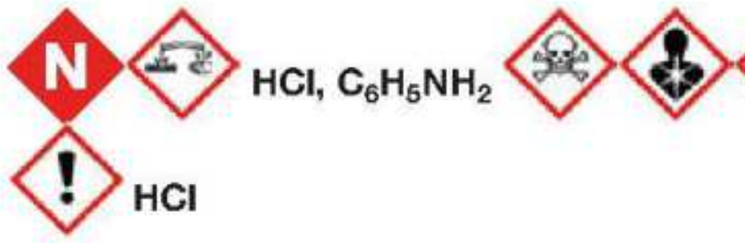


Pierścień aromatyczny zwiększa właściwości kwasowe związków aromatycznych.



Reakcje chemiczne amin

Doświadczenie 54.



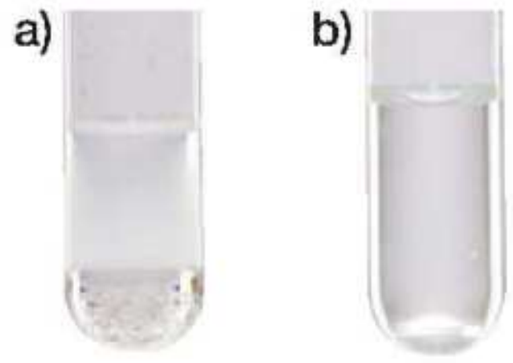
Reakcja aniliny z kwasem chlorowodorowym

Doświadczenie wykonuj w okularach ochronnych i rękawicach.

Odczynniki: roztwór aniliny, stężony kwas chlorowodorowy.
Szkło laboratoryjne: probówka.
Instrukcja: Do probówki wlej ok. 2 cm^3 roztworu aniliny i dodaj ostrożnie 2 cm^3 stężonego kwasu chlorowodorowego (schemat). Ostudź probówkę zimną wodą. Probówkę z zawartością wykorzystaj do wykonania doświadczenia 56. (patrz s. 283).

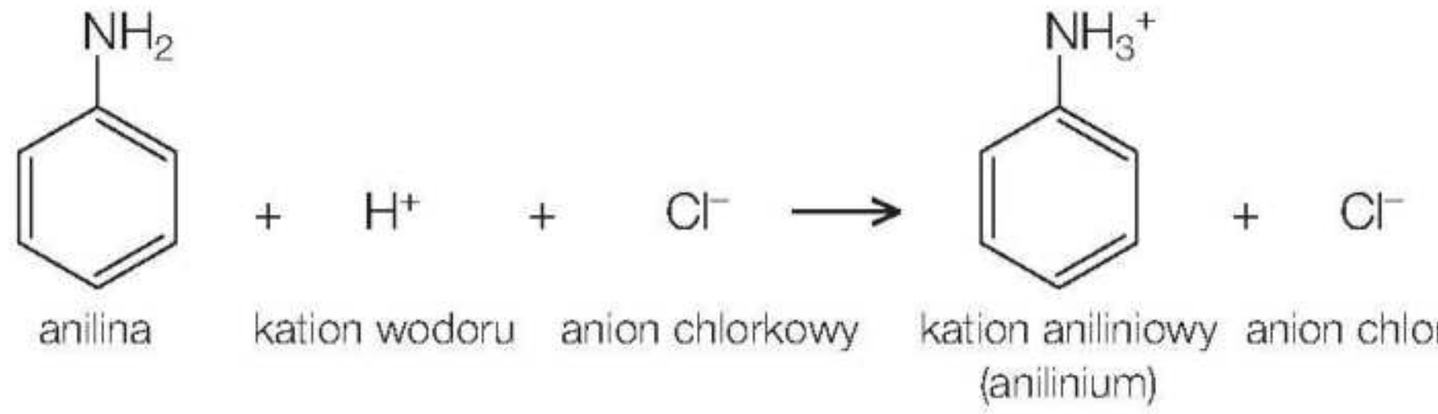


Obserwacje: Po dodaniu kwasu chlorowodorowego znikają krople aniliny (fot. 124.a). Otrzymana substancja dobrze rozpuszcza się w wodzie (fot. 124.b).
Wniosek: Powstaje związek chemiczny – **chlorowodorek aniliny**.



Fot. 124. Reakcja anilininy z kwasem chlorowodorowym.

Przebieg tej reakcji chemicznej przedstawia równanie:



reakcja $C_6H_5NH_2$ z HCl

Reakcja chemiczna przebiega w taki sam sposób jak reakcja powstawania soli amonowych z amoniaku i kwasu:

$$NH_3 + H^+ + Cl^- \longrightarrow NH_4^+Cl^-$$

amoniak, kation wodoru, anion chlorkowy, chlorek amonu

reakcja NH_3 z HCl

Reakcja aniliny z kwasem chlorowodorowym świadczy o jej charakterze zasadowym. Aminy alifatyczne są mocniejszymi zasadami niż anilina. Reagują z kwasami, tworząc odpowiednie **sole amoniowe**, np.:

$$CH_3CH_2NH_2 + H^+ + Cl^- \longrightarrow CH_3CH_2NH_3^+Cl^-$$

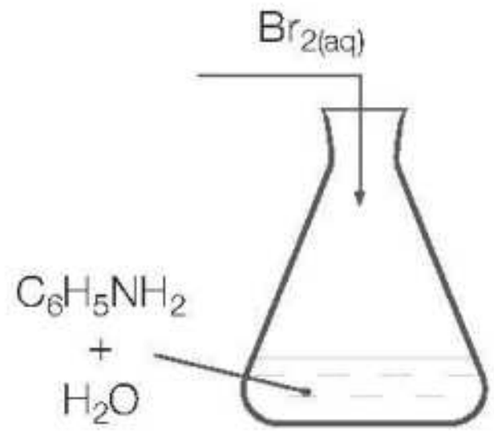
etano-1-amina, kation wodoru, anion chlorkowy, chlorek etyloamoniowy (etanoaminium)

reakcja $CH_3CH_2NH_2$ z HCl

Doświadczenie 55.  $C_6H_5NH_2$ $Br_{2(aq)}$

Reakcja aniliny z wodą bromową

Odczynniki: anilina, woda, woda bromowa.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: kolba stożkowa, uniwersalny papierek wskaźnikowy.
Instrukcja: Do kolby stożkowej zawierającej ok. 20 cm^3 wody dodaj 2 cm^3 aniliny. Następnie dodawaj wodę bromową (schemat) aż do zaobserwowania objawów reakcji chemicznej. U wylotu kolby umieść zwilżony wodą uniwersalny papierek wskaźnikowy.





czerwona barwa uniwersalnego papierka wskaźnikowego świadczy o kwasowym odczynie wodnego roztworu wydzielającego się gazu

Fot. 125. Reakcja aniliny z wodą bromową.

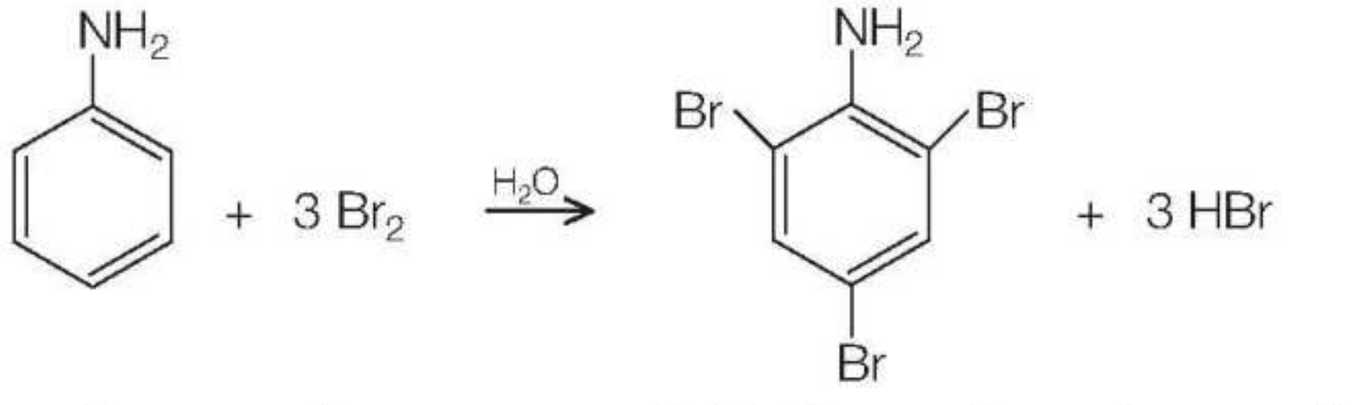
Obserwacje: W kolbie wytrąca się biały osad, a woda bromowa odbarwia się. Uniwersalny papierek wskaźnikowy barwi się na czerwono (fot. 125.).
Wniosek: Zachodzi reakcja chemiczna aniliny z bromem. Obecna w cząsteczce aniliny grupa aminowa $-NH_2$ to podstawnik I rodzaju, więc kieruje atomy bromu w położenie *orto* i *para*.

Jest to reakcja substytucji, która przebiega zgodnie z równaniem:

Grupa aminowa w reakcji substytucji **kieruje nowy podstawnik** w pierścieniu benzenowym **w pozycje *orto* i *para***.

substytucja elektrofilowa

bromowanie $C_6H_5NH_2$



anilina brom 2,4,6-tribromoanilina bromowodór

Wydzielający się w czasie tej reakcji chemicznej bromowodór HBr barwi uniwersalny papierek wskaźnikowy na czerwono.

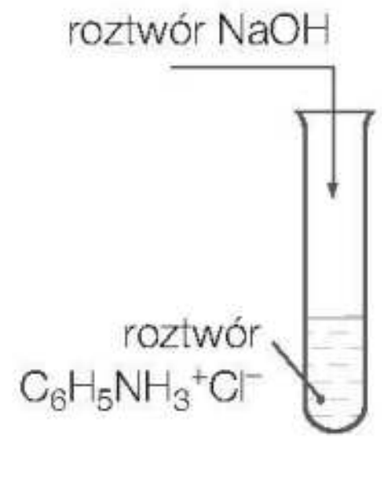
Doświadczenie 56.  NaOH, $C_6H_5NH_2$  $C_6H_5NH_2$

Reakcja chlorowodorku aniliny z wodorotlenkiem sodu

Odczynniki: chlorowodorek aniliny, roztwór wodorotlenku sodu.

Szkło laboratoryjne: probówka.

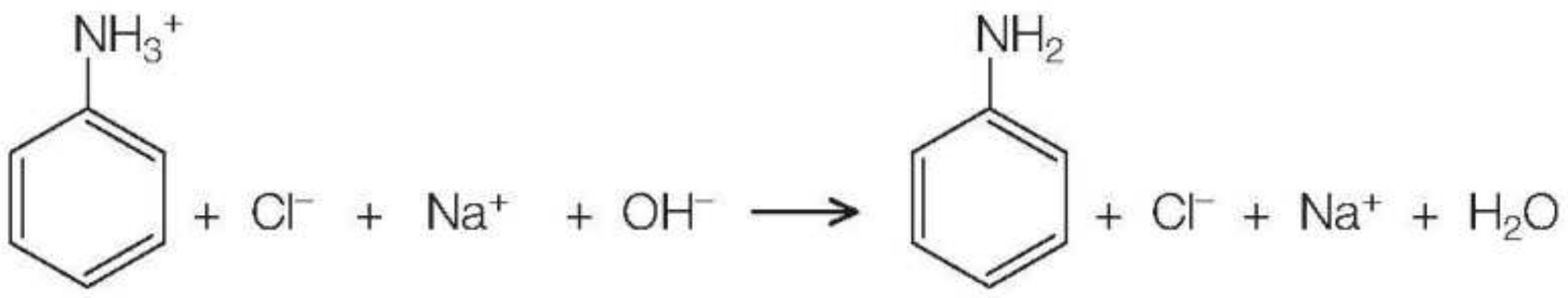
Instrukcja: Do otrzymanego w doświadczeniu 54. (patrz s. 281) chlorowodorku aniliny dodaj ok. 3 cm^3 20-procentowego roztworu wodorotlenku sodu (schemat).

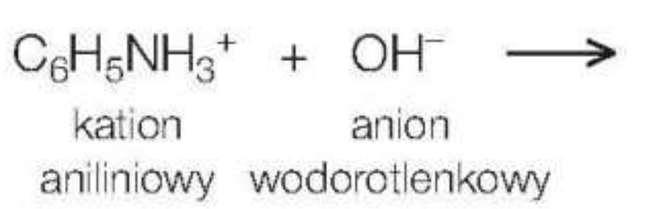


Obserwacje: Na powierzchni roztworu tworzą się drobne kropelki cieczy (fot. 126.).

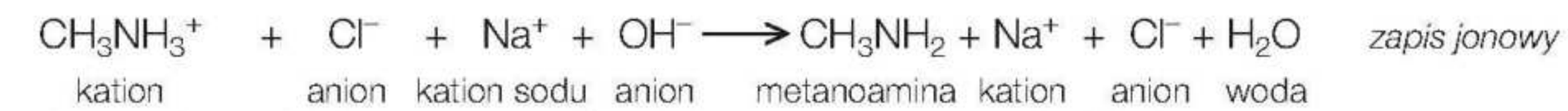
Wniosek: Powstające krople to anilina. Wodorotlenek sodu, jako mocna zasada, wypiera słabą zasadę – anilinę – z roztworu jej soli.

Przebieg tej reakcji chemicznej przedstawiają równania:

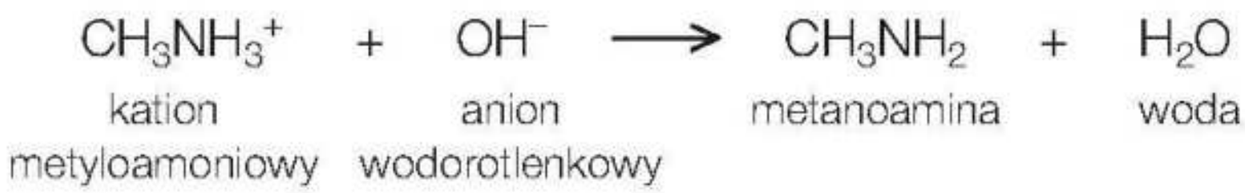




Podobne reakcje chemiczne zachodzą pod wpływem mocnych zasad w roztworach soli amin alifatycznych, np.:



zapis jonowy



skrócony zapis jonowy

w probówce powstają dwie warstwy cieczy



Fot. 126. Produktem reakcji chemicznej jest oleista ciecz.

reakcja $C_6H_5NH_3^+Cl^-$ z NaOH

Alkaloidy

Niektóre aminy zaliczane są do **alkaloidów**, czyli zasadowych związków organicznych zawierających atomy azotu. Są to jedne z najbardziej niebezpiecznych dla człowieka związków chemicznych występujących w środowisku przyrodniczym. Większość z nich to trucizny, których działanie zależy od dawki. W dużych dawkach alkaloidy są **silnymi truciznami** zagrażającymi życiu. Natomiast w małych mogą wykazywać działanie lecznicze, dlatego są składnikami wielu leków i wyrobów medycznych. Do alkaloidów należą m.in. nikotyna, kofeina, morfina, atropina (fot. 127.).



Fot. 127. Atropina $C_{17}H_{23}NO_3$ jest wykorzystywana np. jako składnik kropli do oczu.



Fot. 128. W liściach i korzeniach tytoniu szlachetnego znajduje się 6–8% nikotyny.

Nikotyna $C_{10}H_{14}N_2$ to bezbarwna, oleista ciecz o piekącym smaku. Rozpuszcza się w wodzie i alkoholu, a na powietrzu szybko brunatnieje. Działa drażniąco na błony śluzowe i jest bardzo silną trucizną.

Nikotyna występuje w liściach i korzeniach tytoniu szlachetnego (fot. 128.), który jest wykorzystywany do produkcji papierosów.

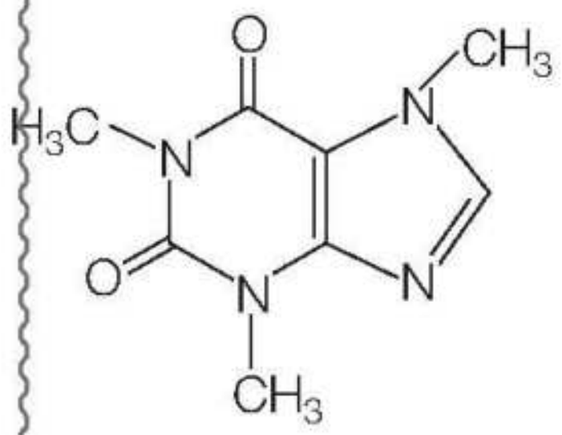


nikotyna

Przykładowe substancje występujące w dymie papierosowym: As, NH_3, pochodne benzenu, toluen, fenol, HCN, CH_3OH, Cd, C_2H_3Cl, $C_{10}H_{14}N_2$, CO.

Nikotyna powoduje uzależnienie – **nikotynizm**. Jego objawy to: zmniejszona odporność organizmu, zmiany w układzie naczyniowym i sercu, zmiany w układzie oddechowym (m.in. rozedma płuc, choroby nowotworowe), trudności w skupieniu uwagi, rozdrażnienie, zniszczona skóra.

Dym tytoniowy zawiera prawie 4 tys. składników, z których ponad 40 wykazuje działanie rakotwórcze. Z tego powodu na opakowaniach papierosów znajdują się informacje dotyczące szkodliwości palenia.



kofeina

Kawa, herbata, napoje energetyczne i typu cola, czekolada oraz kakao zawierają **kofeinę** $C_8H_{10}N_4O_2$. Jest to biała, bezwonna substancja, trudno rozpuszczalna w wodzie. Występuje w ziarnach kawy (fot. 129.a), liściach herbaty (fot. 129.b) i w niewielkich ilościach w nasionach kakaowca (ziarnach kakao).



Fot. 129. Ziarna kawowca (a) zawierają 0,6–2,8% kofeiny, a liście herbaty (b) 2–3,5%.

Małe ilości kofeiny (ok. 200 mg) działają stymulująco – poprawiają nastrój, pobudzają pracę serca i ośrodkowego układu nerwowego. Większe dawki wywołują rozkojarzenie, stan niepokoju, bóle głowy, bezsenność, kołatanie serca, nudności. Częste picie napojów zawierających kofeinę, np. energetycznych, jest szkodliwe dla zdrowia, ponieważ prowadzi do uzależnienia. Zawierają one tyle samo kofeiny co pół filiżanki mocnej kawy. Nadużywanie tego typu napojów powoduje podrażnienie żołądka, nadpobudliwość, kłopoty z koncentracją i bezsenność. **Dawka śmiertelna** kofeiny dla dorosłego człowieka wynosi **ok. 10 g** (doustnie).

Zastosowania

Aminy

Metanoamina stosowana jest do produkcji surfaktantów, czyli związków powierzchniowo czynnych, które są składnikami detergentów i środków czyszczących.
Aminy wykorzystywane są też do produkcji środków dezynfekujących oraz mydeł.



■ Przemysł energetyczny

Wodne roztwory etanoloaminy i dietanoloaminy stosowane są w procesach rafineryjnych do **oczyszczania gazu ziemnego** z tlenku węgla(IV) i siarkowodoru.



■ Przemysł włókienniczy

W reakcji polikondensacji kwasów karboksylowych z diaminami, np. z heksano-1,6-diaminą, otrzymuje się nylon, czyli włókno syntetyczne, z którego produkuje się m.in. pończochy i **szczoteczki do zębów**.



■ Przemysł chemiczny

Anilina jest substratem do produkcji wskaźników kwasowo-zasadowych, m.in. **oranżu metylowego**. Jego alkoholowy roztwór służy w laboratoriach do identyfikowania roztworów o odczynie kwasowym.

Chemia w medycynie

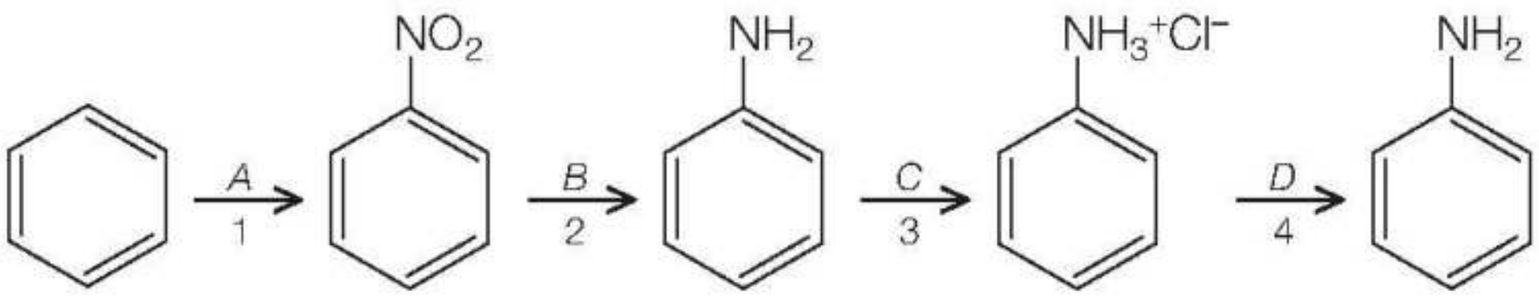
Adrenalina (epinefryna) silnie pobudza kurczliwość mięśnia sercowego, dlatego podaje się ją w przypadku zatrzymania akcji serca. Podaje się ją też alergikom, np. w **przypadkach napadów astmy oskrzelowej** i **ostrych reakcji alergicznych**. Natomiast efedryna zwęża naczynia krwionośne, dlatego stosuje się ją miejscowo w stanach zapalnych błon śluzowych.



Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

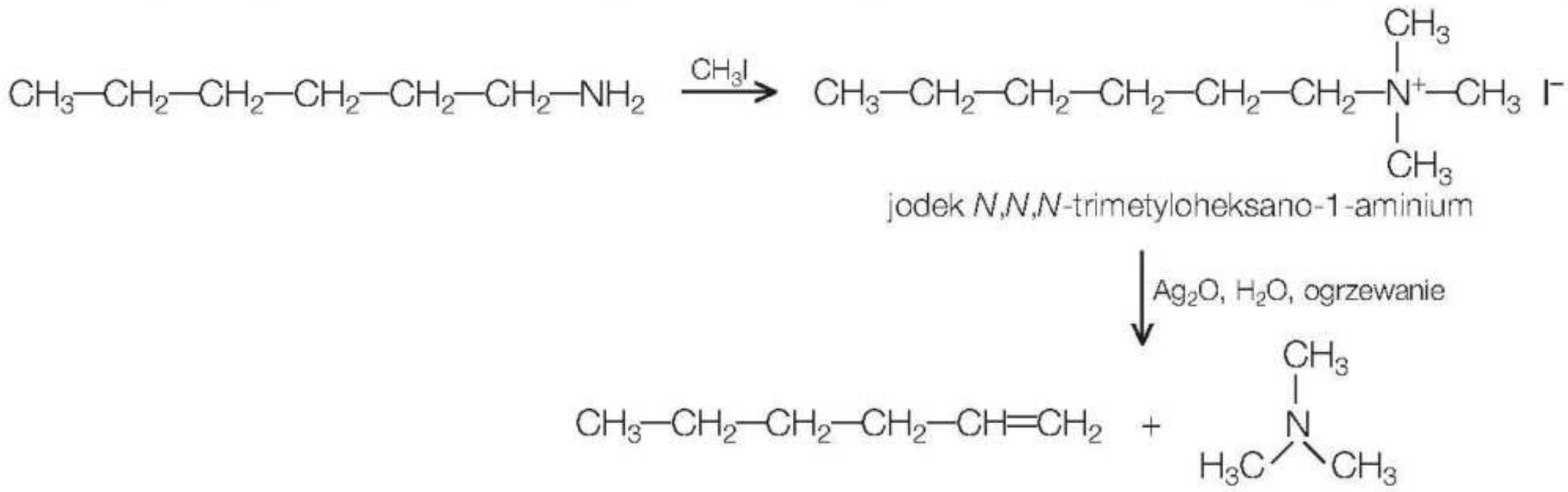
1. Napisz wzory strukturalne i podaj nazwy izomerów amin o wzorze sumarycznym C_3H_9N.
2. Oblicz stężenie procentowe roztworu nasyconego aniliny w temperaturze 20°C, jeżeli jej rozpuszczalność w tej temperaturze wynosi 3,4 g.
3. Do roztworu zawierającego 10 g aniliny wprowadzono 6 dm^3 chlorowodoru w warunkach normalnych. Określ odczyn powstałego roztworu.
4. Poniższy schemat ilustruje ciąg przemian.



a) **Podaj wzory i nazwy substancji oznaczonych literami *A*–*D*.**

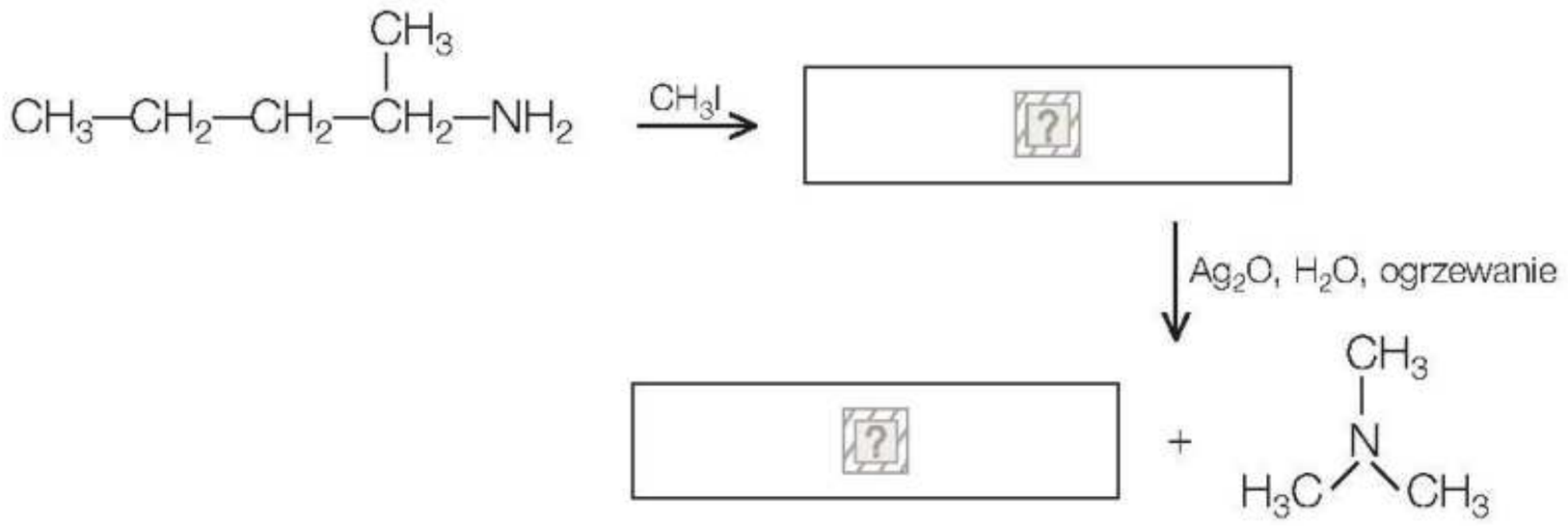
b) **Napisz równania reakcji chemicznych oznaczonych cyframi 1–4. Zastosuj wzory półstrukturalne.**

5. Aminy, podobnie jak alkohole, można przekształcić w alkeny, np. w reakcji eliminacji Hofmanna. W pierwszym etapie aminę poddaje się metylowaniu w reakcji z nadmiarem jodometanu. Produktem jest czwartorzędowa sól amoniowa, która następnie, po ogrzewaniu z tlenkiem srebra(I) jako zasadą, ulega reakcji eliminacji, w wyniku czego powstają alken oraz odpowiednia amina trzeciorzędowa (np. heksano-1-amina przekształcana jest w heks-1-en i *N*,*N*-dimetylometanoaminę).



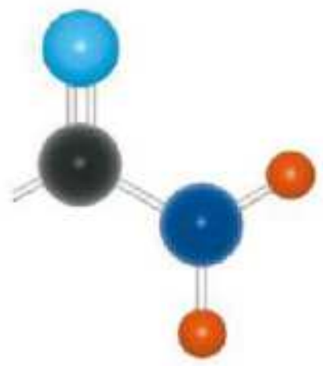
Na podstawie: J. McMurry, *Chemia organiczna*, PWN, Warszawa 2007, s. 912–913.

Uzupełnij schemat przemian ilustrujących przebieg eliminacji Hofmanna dla podanej aminy, zakładając, że głównym produktem tego procesu jest alken, który nie występuje w postaci izomerów *cis-trans* (*Z*, *E*). Napisz wzory półstrukturalne odpowiednich związków chemicznych.



24. Amidy

Poza aminami kolejną ważną grupą związków organicznych zawierających azot w cząsteczce są **amidy** (rys. 53.).



Rys. 53. Model fragmentu cząsteczki amidu.
Modele atomów:
węgla, azotu, tlenu, wodoru

Występowanie amidów

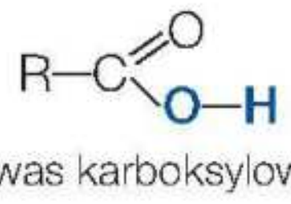
Amidy są wytwarzane w organizmach roślin oraz zwierząt. Nikotynamid $C_6H_6N_2O$ to jeden ze składników witaminy B_3 – nazywanej również niacyną i witaminą PP. Jej źródłem są m.in.: fasola, groch, suszone brzoskwinie i migdały (fot. 130.). Niewielkie ilości tej witaminy są syntetyzowane także przez organizm człowieka. Natomiast mocznik $CO(NH_2)_2$ jest końcowym produktem metabolizmu białek i aminokwasów w organizmie człowieka.



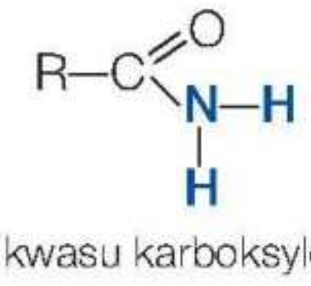
Fot. 130. Migdały – nasiona owoców migdałowca zwyczajnego – oprócz witaminy B_3 zawierają wiele substancji odżywczych, np. magnez i błonnik.

Budowa cząsteczek amidów

Amidy są **pochodnymi kwasów karboksylowych**, w których grupą funkcyjną jest **grupa amidowa** $-CONH_2$:

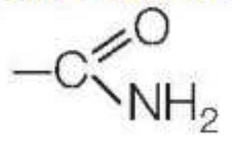


kwas karboksylowy



amid kwasu karboksylowego

grupa amidowa

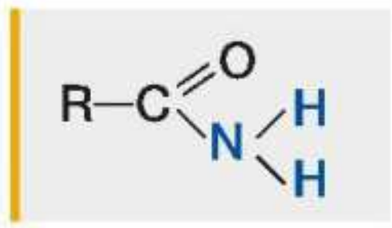


Rzędowość amidów

Podobnie jak w przypadku amin rzędowość amidów określa się w inny sposób niż rzędowość alkoholi.

W zależności od tego, jaką grupą jest podstawiona grupa –OH w cząsteczce kwasu, wyróżnia się:

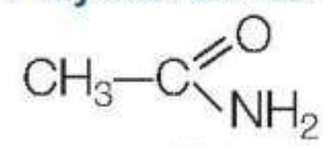
- **amidy pierwszorzędowe** (1°, I-rzędowe), w których **w miejscu grupy –OH** w cząsteczce kwasu znajduje się **grupa** $-NH_2$.
  Wzór ogólny:



Wzór ogólny amidów 1°

gdzie:
–R – grupa alikilowa lub grupa arylowa,
$-CONH_2$ – grupa amidowa.

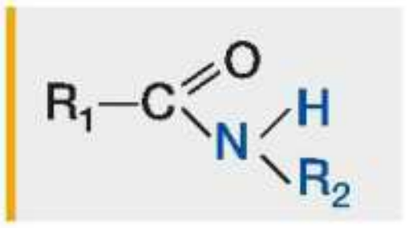
Przykład amidu 1°:



etanoamid (acetamid)

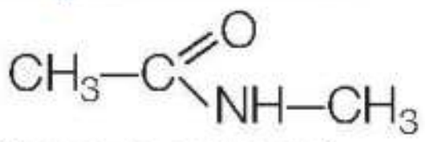
- **amidy drugorzędowe** (2°, II-rzędowe), w których **w miejscu grupy —OH** w cząsteczce kwasu znajduje się **atom azotu połączony z atomem wodoru i grupą węglowodorową**.
  Wzór ogólny:

Wzór ogólny amidów 2°



gdzie:
$-R_1$, $-R_2$ – grupy alkilowe lub grupy arylowe,
$-CONHR_2$ – grupa powstała z grupy amidowej.

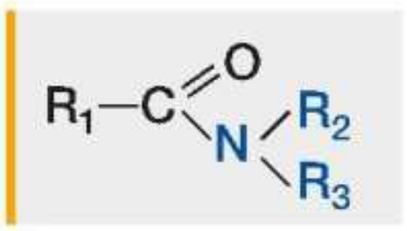
Przykład amidu 2°:



N-metyloacetamid

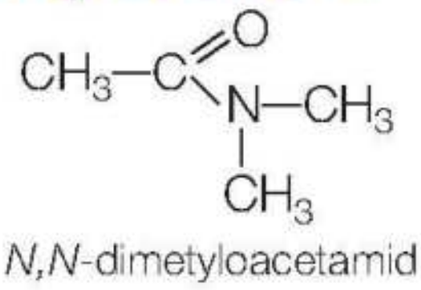
- **amidy trzeciorzędowe** (3°, III-rzędowe), w których **w miejscu grupy —OH** w cząsteczce kwasu znajduje się **atom azotu połączony z dwiema grupami węglowodorowymi**.
  Wzór ogólny:

Wzór ogólny amidów 3°



gdzie:
$-R_1$, $-R_2$, $-R_3$ – grupy alkilowe lub grupy arylowe,
$-CONR_2R_3$ – grupa powstała z grupy amidowej.

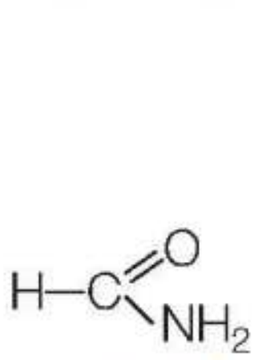
Przykład amidu 3°:



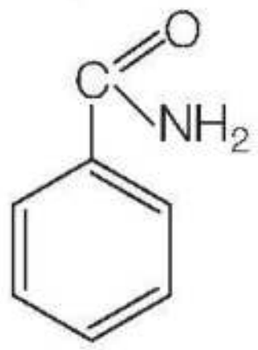
N,*N*-dimetyloacetamid

Nazewnictwo amidów

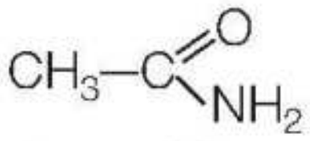
Nazwy systematyczne amidów tworzy się, podając nazwę odpowiedniego **węglowodoru**, do którego dodaje się łącznik „**o**" oraz przyrostek -**amid** (amidy alifatyczne) lub -**karboksyamid** (amidy aromatyczne), np.:



metan**o**amid



benzen**o**karboksyamid

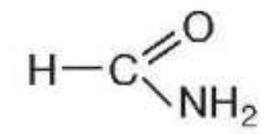
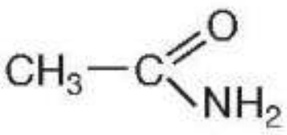
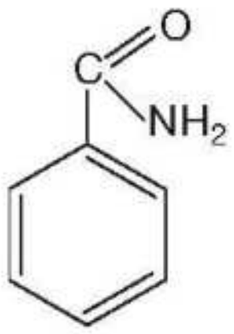


etan**o**amid

Często stosuje się również nazwy zwyczajowe amidów. Tworzy się je przez:

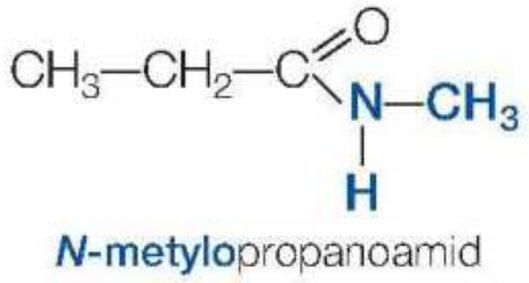
- dodanie końcówki -**amid** do nazwy zwyczajowej grupy pochodzącej od kwasu karboksylowego,
- opisanie, od jakiego kwasu pochodzi dany amid (patrz tabela 30., s. 289).

Tabela 30. Nazwy systematyczne i zwyczajowe wybranych amidów

Nazwa systematyczna amidu	Nazwa zwyczajowa amidu z końcówką -amid	Nazwa zwyczajowa opisowa	Wzór amidu
metanoamid	formamid	amid kwasu mrówkowego	
etanoamid	acetamid	amid kwasu octowego	
benzenokarboksyamid	benzamid	amid kwasu benzoesowego	

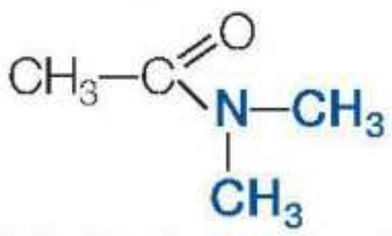
W przypadków amidów, w których atom azotu jest związany z grupami węglowodorowymi, przed nazwą macierzystego amidu należy podać nazwy tych podstawników oraz zaznaczyć:

- literę *N*- (symbol azotu) dla amidów drugorzędowych, np.:



***N*-metylo**propanoamid

- litery *N,N*- dla amidów trzeciorzędowych, np.:

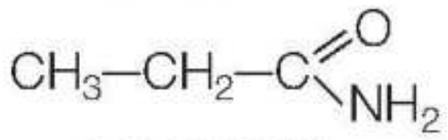


***N,N*-dimetylo**acetamid

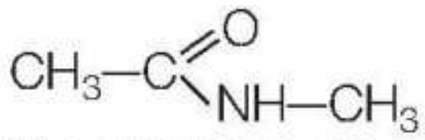
Izomeria konstytucyjna amidów

Zjawisko izomerii występuje także wśród amidów, podobnie jak w przypadku innych związków organicznych. Mogą one tworzyć, podobnie jak aminy:

- **izomery położenia** różniące się między sobą położeniem grupy funkcyjnej – amidowej, np.:



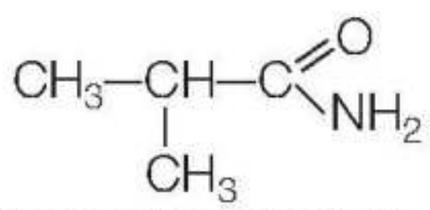
propanoamid
amid 1°



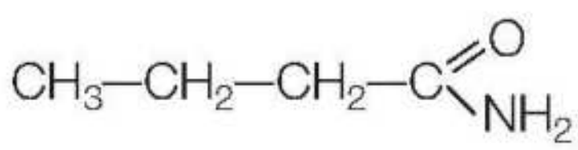
N-metyloetanoamid
amid 2°

izomery C_3H_7NO

- **izomery szkieletowe** różniące się budową szkieletu węglowego w łańcuchu, np.:



2-metylopropanoamid



butanoamid

izomery C_4H_8NO

Otrzymywanie amidów

Amidy otrzymuje się najczęściej przez rozkład termiczny soli amonowych kwasów karboksylowych. Reakcja chemiczna zachodzi w dwóch etapach:
Etap I. Kwas karboksylowy reaguje z amoniakiem, tworząc sól amonową.

substytucja nukleofilowa

$$\underset{\text{kwas etanowy}}{CH_3COOH} + \underset{\text{amoniak}}{NH_3} \longrightarrow \underset{\text{etanian amonu}}{CH_3COONH_4}$$

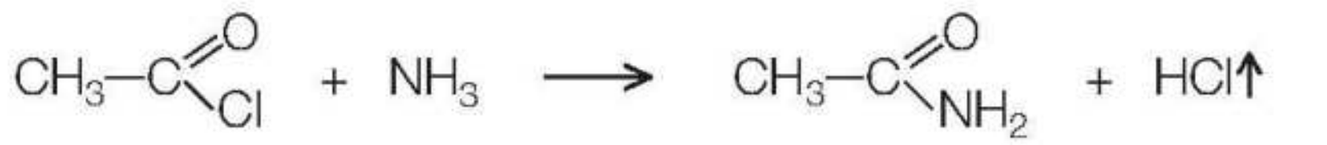
Etap II. Powstały produkt rozkłada się pod wpływem wysokiej temperatury.

otrzymywanie CH_3CONH_2

$$\underset{\text{etanian amonu}}{CH_3COONH_4} \xrightarrow{T} \underset{\text{etanoamid}}{CH_3CONH_2} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

Amidy otrzymuje się także w reakcji substytucji nukleofilowej chlorków kwasów karboksylowych z amoniakiem (fot. 131.), np.:

substytucja nukleofilowa





Fot. 131. W reakcji chemicznej powstaje kwas chlorowodorowy.

Właściwości amidów

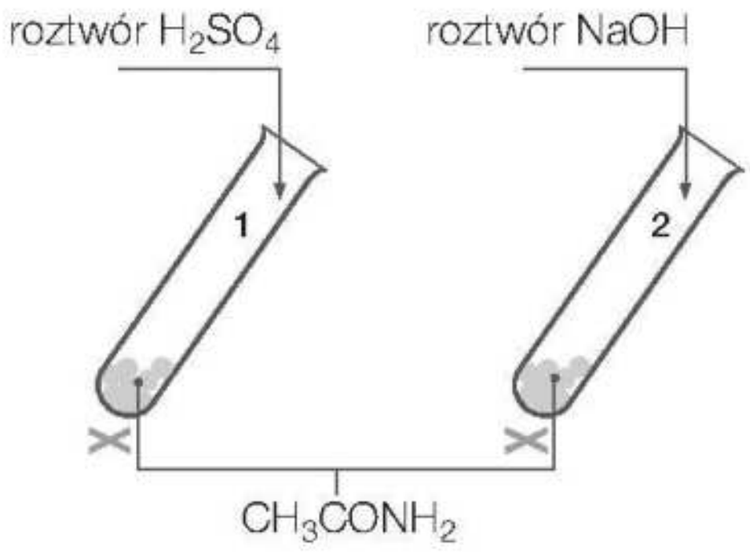
Doświadczenie 57. NaOH, H_2SO_4 CH_3CONH_2

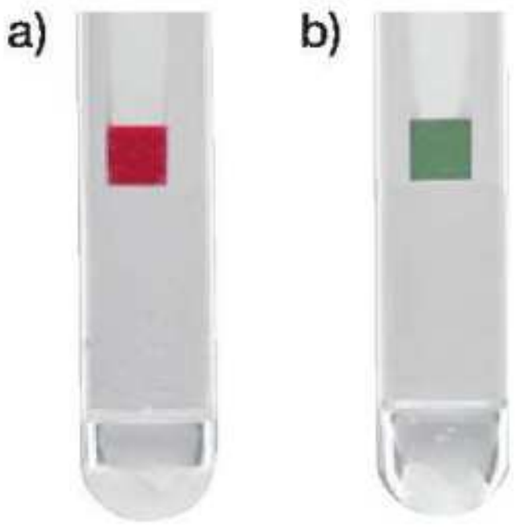
Reakcja etanoamidu (acetamidu) z wodą w środowisku kwasu siarkowego(VI) i z wodorotlenkiem sodu

Odczynniki: etanoamid, roztwór kwasu siarkowego(VI), roztwór wodorotlenku sodu.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, uniwersalne papierki wskaźnikowe, palnik.

Instrukcja: Do dwóch probówek wsyp po kilka kryształów etanoamidu. Do probówki 1. dodaj roztworu kwasu siarkowego(VI), a do probówki 2. – roztworu wodorotlenku sodu (schemat). U wylotu każdej z probówek umieść uniwersalny papierek wskaźnikowy. Zawartość probówek doprowadź do wrzenia. Sprawdź zapach wydzielających się gazów.



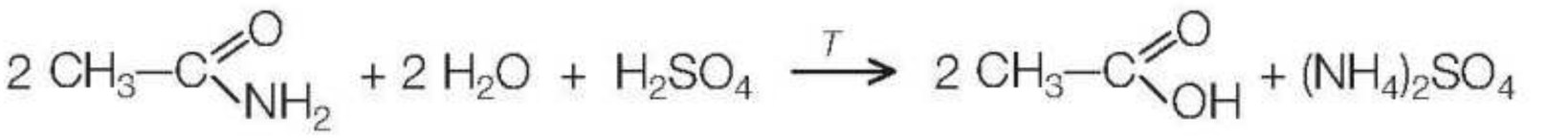


Fot. 132. Reakcja etanoamidu: a) z wodą w środowisku kwasu siarkowego(VI), b) z wodorotlenkiem sodu.

Obserwacje: Z probówki 1. wydziela się gaz o zapachu octu, a uniwersalny papierek wskaźnikowy barwi się na czerwono (fot. 132.a). Z probówki 2. wydziela się gaz o zapachu amoniaku, a uniwersalny papierek wskaźnikowy barwi się na zielono (fot. 132.b).

Wniosek: Etanoamid reaguje z wodą w środowisku kwasu siarkowego(VI).

Reakcja chemiczna zachodzi zgodnie z równaniem:

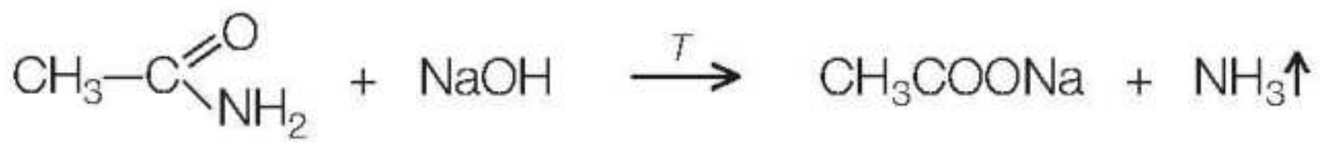


reakcja CH_3CONH_2 z H_2O w środowisku H_2SO_4

Powstający w reakcji chemicznej kwas etanowy (octowy) barwi uniwersalny papierek wskaźnikowy na czerwono.

Etanoamid reaguje także z wodorotlenkiem sodu.

Przebieg tej reakcji chemicznej przedstawia równanie:

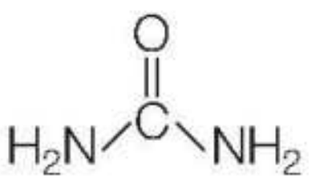


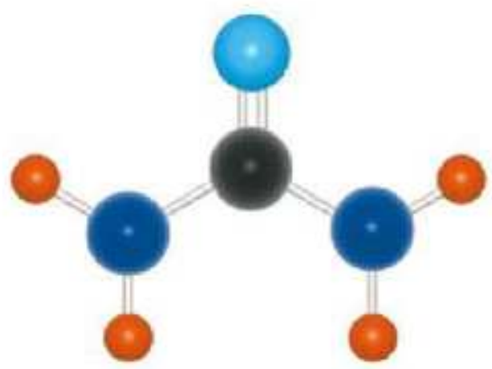
reakcja CH_3CONH_2 z NaOH

Powstający w reakcji chemicznej amoniak zmienia barwę uniwersalnego papierka wskaźnikowego z żółtej na zieloną.

Mocznik

Jednym z amidów jest diamid karbonowy (karbonamid, diamid kwasu węglowego), zwyczajowo nazywany **mocznikiem** (fot. 133.):







Fot. 133. Kryształy mocznika.

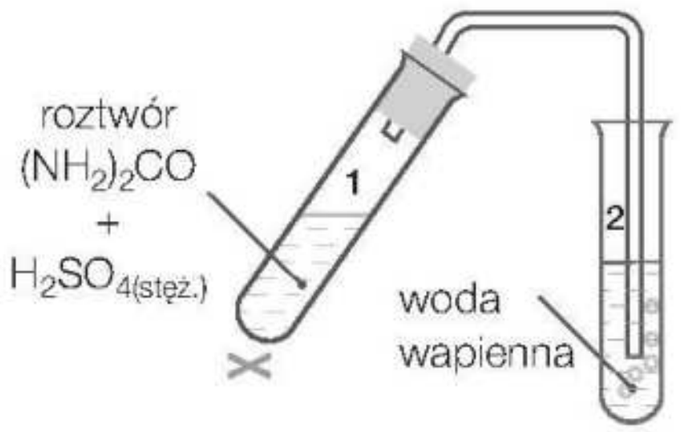
Doświadczenie 58. H_2SO_4, $Ca(OH)_2$ $Ca(OH)_2$

Mocznik jako pochodna kwasu węglowego

Odczynniki: mocznik, woda, stężony roztwór kwasu siarkowego(VI), woda wapienna.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, korek z rurką odprowadzającą, palnik.

Instrukcja: Do probówki zawierającej ok. 1 g mocznika rozpuszczonego w 3 cm^3 wody dodawaj kroplami stężony roztwór kwasu siarkowego(VI). Probówkę zamknij korkiem z rurką odprowadzającą i ogrzewaj. Koniec rurki umieść w probówce z wodą wapienną (schemat).

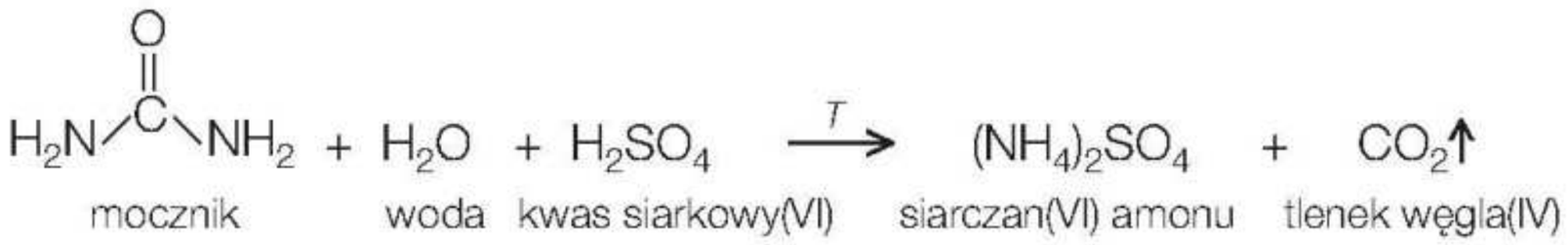


Obserwacje: Z probówki wydziela się gaz, który powoduje mętnienie wody wapiennej.

Wniosek: Gazem tym jest tlenek węgla(IV). Mocznik reaguje z wodą w środowisku kwasu siarkowego(VI) podobnie jak etanoamid.

Reakcja chemiczna zachodzi zgodnie z równaniem:

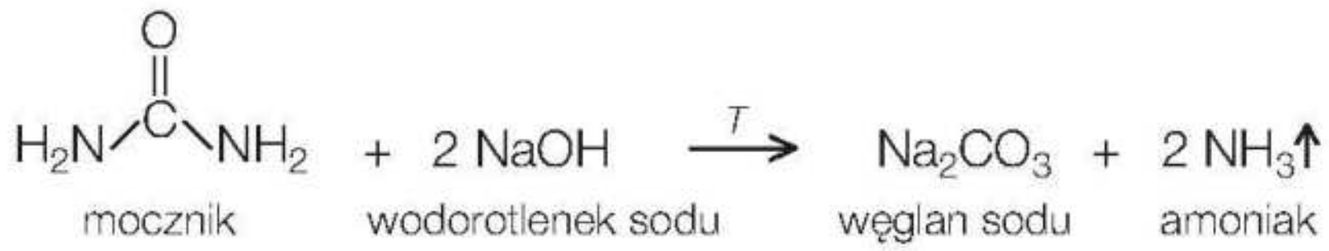
reakcja $(NH_2)_2CO$ z H_2O w środowisku H_2SO_4



Wykonane doświadczenie potwierdza, że mocznik jest pochodną kwasu węglowego.

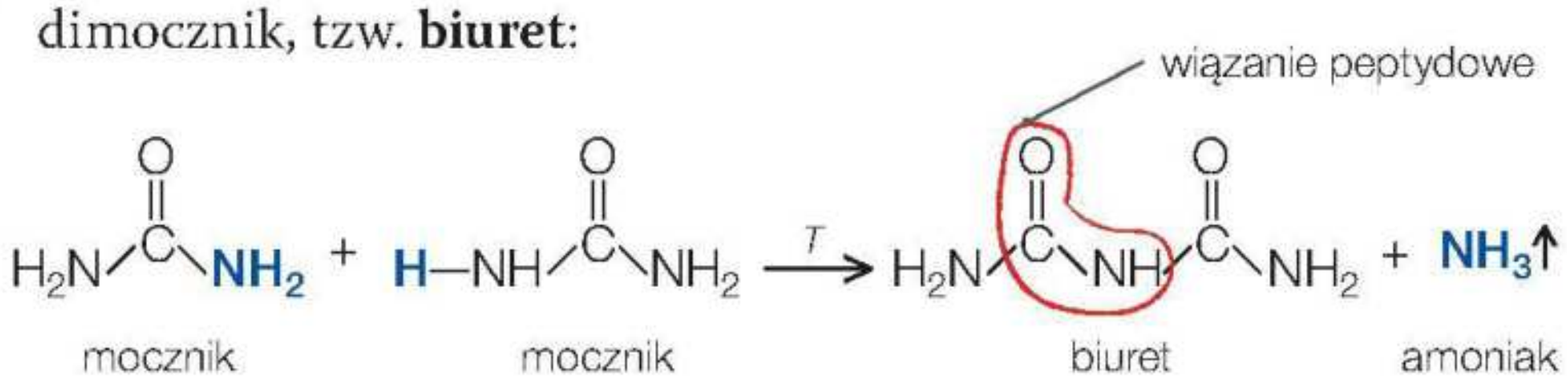
- Mocznik reaguje też z wodorotlenkiem sodu. Produktem tej reakcji chemicznej jest m.in. amoniak:

reakcja $(NH_2)_2CO$ z NaOH



- Intensywnie ogrzewany mocznik ulega reakcji kondensacji, tworząc dimocznik, tzw. **biuret**:

Biuret – dimer mocznika (dimocznik).



W cząsteczce biuretu występuje wiązanie peptydowe, charakterystyczne dla białek.

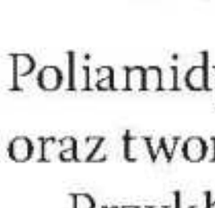
Produkt reakcji biuretu z siarczanem(VI) miedzi(II) w środowisku zasadowym ma fioletową barwę. Ta reakcja chemiczna jest wykorzystywana do wykrywania wiązania peptydowego w białkach (patrz s. 359).



Fot. 134. Otrzymywanie nylonu na skalę laboratoryjną.

Poliamidy i poliuretany

W reakcji kondensacji diamin z kwasami dikarboksylowymi powstają **poliamidy**. Cząsteczki poliamidów zawierają regularnie powtarzający się fragment:

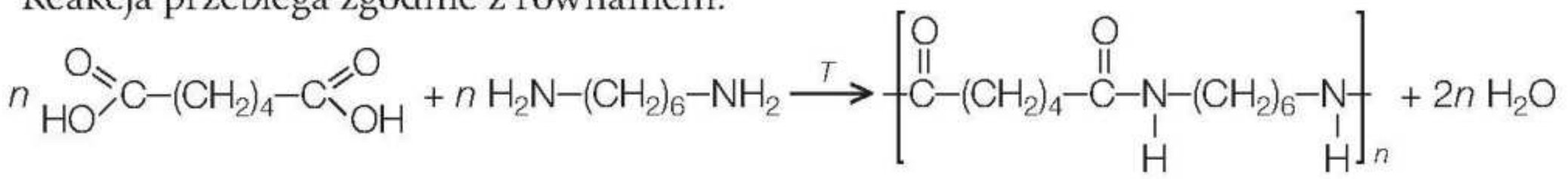


, czyli wiązanie peptydowe.

Poliamidy służą przede wszystkim do produkcji włókien syntetycznych oraz tworzyw konstrukcyjnych.

Przykładem włókna poliamidowego jest **nylon** (fot. 134.). Otrzymuje się go w reakcji polikondensacji kwasu heksanodiowego (kwasu adypinowego) i heksano-1,6-diaminy.

Reakcja przebiega zgodnie z równaniem:

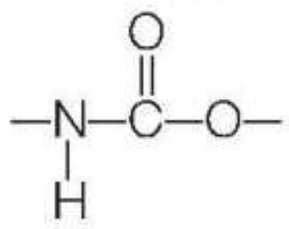


kwas heksanodiowy — heksano-1,6-diamina — poliamid (nylon) — woda

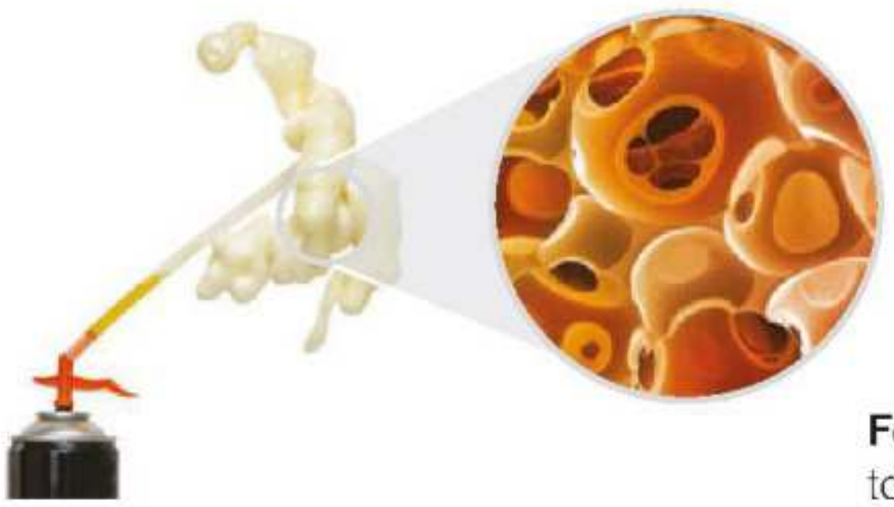
Włókna poliamidowe są odporne na działanie rozpuszczalników, wody, rozcieńczonych kwasów i zasad. Charakteryzują się dużą wytrzymałością oraz elastycznością. Z włókien poliamidowych produkuje się m.in. rajstopy, a także liny i dywany.

Naturalnym poliamidem, zbudowanym z reszt aminokwasów białkowych, jest **jedwab**. Nić jedwabna, choć niezwykle cienka, jest bardzo wytrzymała i sprężysta. To delikatne włókno o wytrzymałości większej od wytrzymałości swoich syntetycznych odpowiedników. Jedwab naturalny wykorzystuje się przede wszystkim do wyrobu tkanin, ale używano go też w medycynie do produkcji plastrów i nici chirurgicznych.

Do tworzyw otrzymywanych w reakcji polikondensacji zalicza się także **poliuretany**, których cząsteczki zawierają tzw. **ugrupowanie uretanowe**:



Poliuretany to elastyczne substancje, które mają właściwości termoizolacyjne. Decyduje o tym ich budowa wewnętrzna (fot. 135.).



struktura wewnętrzna pianki poliuretanowej

Fot. 135. Poliuretany w formie spienionej to pianki poliuretanowe.

Włókna poliuretanowe są sprężyste, odporne na utlenianie i działanie promieni słonecznych. Wytwarza się z nich m.in. rajstopy i odzież sportową (fot. 136.).



Fot. 136. Z włókien poliuretanowych, ze względu na ich elastyczność, produkuje się stroje sportowe.

Odkrycia, które zmieniły świat – włókna aramidowe

Włókna aramidowe są odmianą włókien poliamidowych. Charakteryzują się odpornością na ogień, przecięcia oraz uderzenia pocisków. Najbardziej znanym polimerem z tej grupy jest *Kevlar*®. Jego włókna stanowią surowiec do produkcji kamizelek kuloodpornych, kasków i hełmów ochronnych, wewnętrznych powłok nart, rakiet tenisowych i kajaków, a nawet części pancerzy lotniskowców.

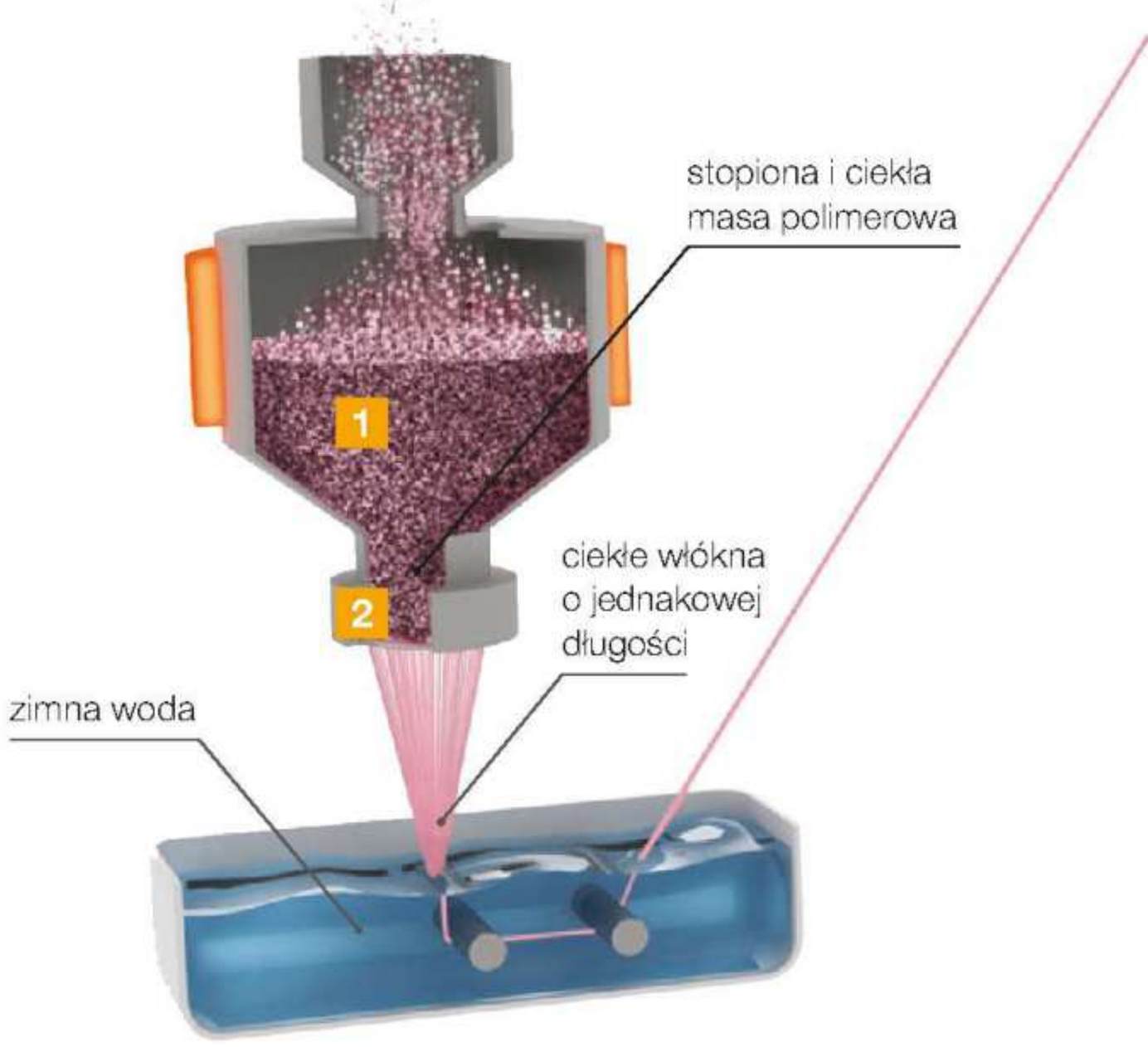


Krok po kroku

Produkcja włókien syntetycznych

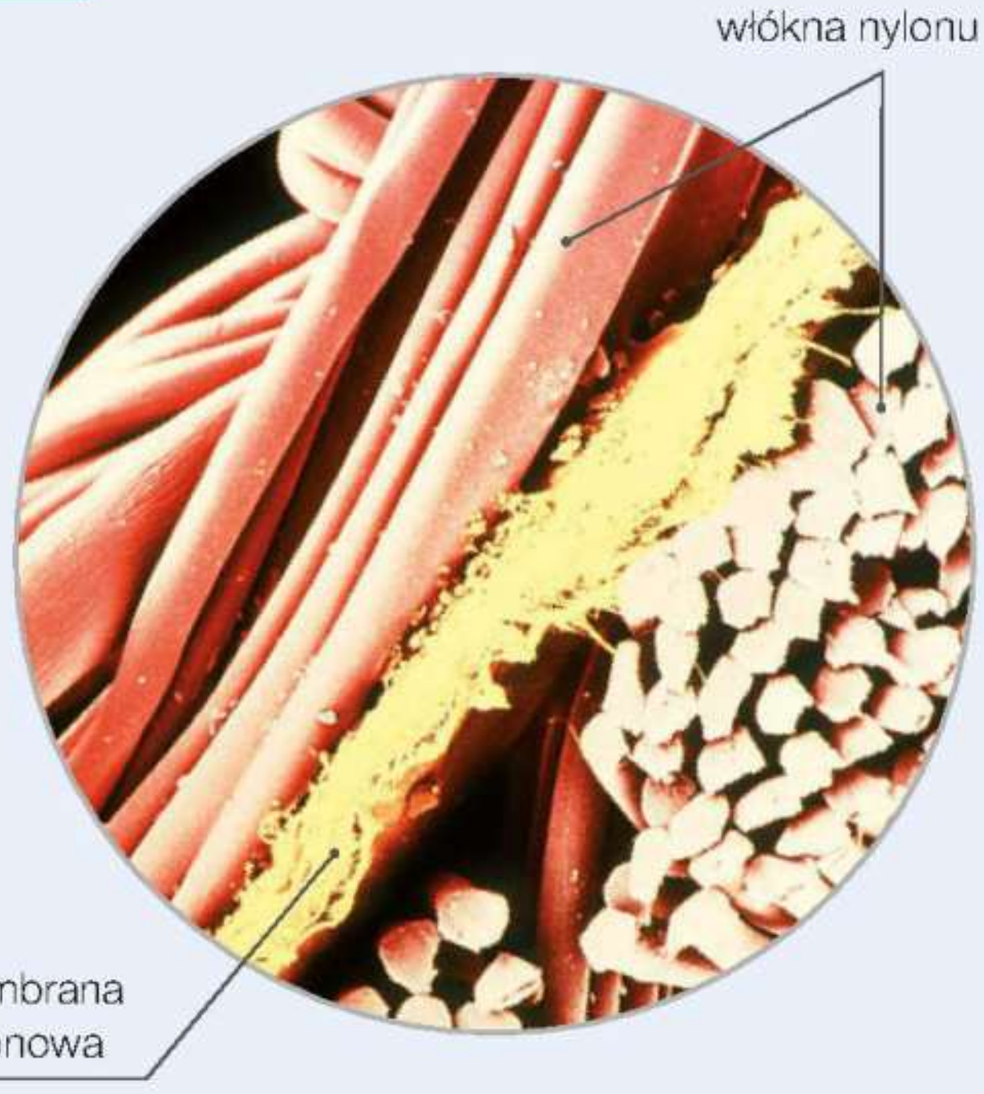
Pierwszym całkowicie syntetycznym włóknem był nylon, otrzymany w 1935 r. Obecnie do produkcji nylonu stosuje się różne substraty, więc w handlu dostępnych jest wiele typów tego materiału. Nylon jest lekki i odporny na rozrywanie – o 20% odporniejszy niż jedwab naturalny i o 300% odporniejszy niż jedwab sztuczny.

1. Granulki polimeru (poliamidu) **podgrzewa się do temp. ok. 260°C**.
2. Masę przetłacza się przez drobne otwory dyszy przędzalniczej. Proces ten nosi nazwę **formowania**.
3. Włókna **rozdrabnia się, przemywa zimną wodą i suszy**.
4. Rozdrobnione włókna **topi się** i ponownie **przepuszcza przez dyszę**.
5. **Nawiew ziemnego powietrza** powoduje, że ciekłe włókna zestalają się.



Do czego wykorzystuje się włókna syntetyczne?

Goreteks to popularna tkanina wodo- i wiatroodporna produkowana z wykorzystaniem włókien syntetycznych, m.in. membran nylonowych i teflonowych. **Membrany** to naprężone błony, które mają wiele mikroskopijnych otworów. Kawałek wielkości 1 cm^2 może zawierać ok. miliarda takich otworów. Te otwory przepuszczają parę wodną, ale są zbyt małe, żeby przedostawała się przez nie woda. Tkaniny goreteksowe powstają przez rozciąganie w dwóch kierunkach membrany teflonowej i natychmiastowe wprasowywanie jej w tkaninę, np. nylonową. Z goreteksu produkuje się m.in. nieprzemakalne kurtki, spodnie, plecaki i namioty.



włókna nylonu







mikroskopowe zdjęcie włókien nylonu

zimne powietrze

5



Delikatne nici **rozciąga się** i **zwija**.

Jakimi właściwościami charakteryzują się włókna syntetyczne?

Tkaniny goreteksowe są **wodoszczelne**, lecz **nie utrudniają procesu wymiany gazowej** między skórą a otoczeniem, dlatego są wykorzystywane do produkcji odzieży sportowej, górskiej i turystycznej. Natomiast dywany z nylonu nadają się do pomieszczeń o dużej wilgotności, takich jak łazienka lub kuchnia. Włókna nylonu **nie chłoną wilgoci** i są **odporne na działanie drobnoustrojów**. Z włókien poliamidowych produkuje się też bieliznę, sukienki, liny i tkaniny na namioty.



▲ odzież górska i turystyczna



▲ dywany z nylonu

Zastosowania

Amidy

Mocznik ze względu na swoje właściwości złuszczające i nawilżające stosowany jest w preparatach do leczenia łuszczycy. Wykorzystywany jest też w rolnictwie jako nawóz azotowy, który powoduje m.in. zwiększenie plonów.



Przemysł chemiczny

Dimetyloformamid jest używany jako **rozpuszczalnik m.in. lakierów do mebli**. Natomiast mocznik stosuje się do produkcji tworzyw sztucznych, nazywanych żywicami mocznikowymi. Są one składnikami m.in. klejów do drewna.



Przemysł kosmetyczny

Mocznik jest składnikiem **płynów po goleniu**, ponieważ użyty w niewielkim stężeniu przyspiesza gojenie się ran. Natomiast jego pochodna, alantoina, składnik np. kremów do rąk, wygładza skórę, zapobiega jej wysuszaniu i przyspiesza gojenie się ran.

Przemysł tworzyw sztucznych

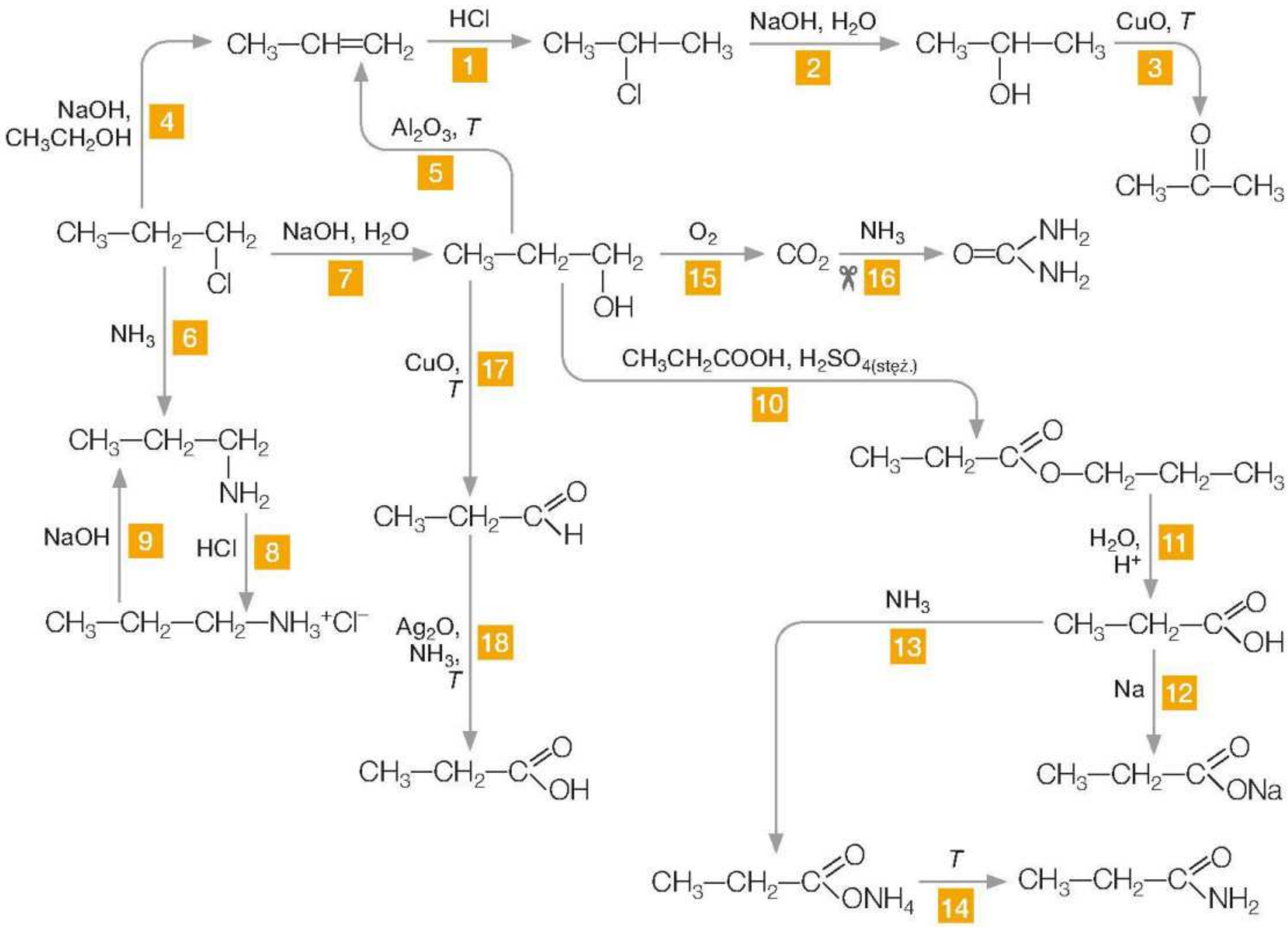
W wyniku reakcji kondensacji diamin z kwasami dikarboksylowymi powstają poliamidy, które są bardzo elastyczne oraz odporne na ścieranie, dlatego stosuje się je do produkcji **żyłek wędkarskich**, rajstop i kół zębatych.

Chemia w medycynie

Paracetamol to powszechnie znany lek zmniejszający intensywność sygnałów bólowych przekazywanych do mózgu.
Stosowany jest jako **lek przeciwgorączkowy** oraz łagodzący m.in. bóle głowy, zębów i mięśni. Podawany jest w formie roztworu doustnego.



Ciągi przemian chemicznych – jednofunkcyjne pochodne węglowodorów



Równania reakcji chemicznych:

1

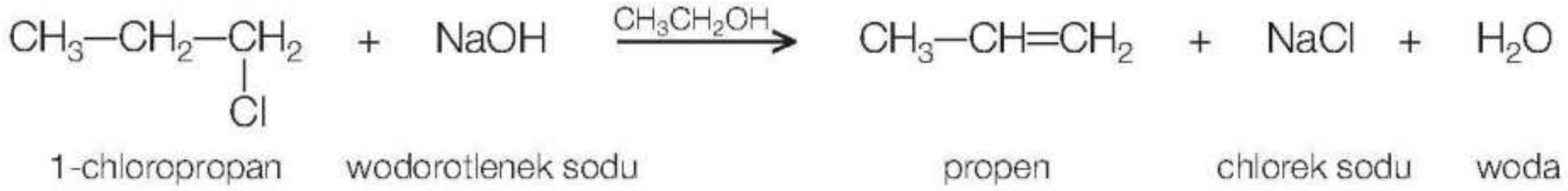
prop-1-en chlorowodór 2-chloropropan

2

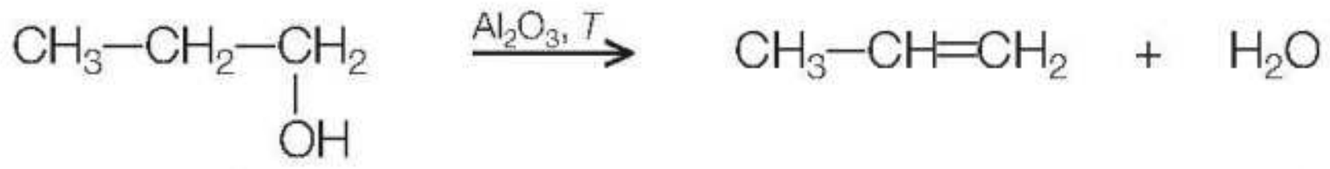
2-chloropropan wodorotlenek sodu propan-2-ol chlorek sodu

3

propan-2-ol tlenek miedzi(II) propan-2-on miedź woda

4 

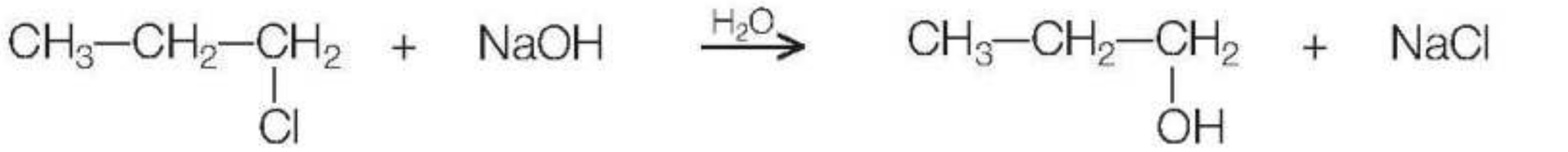
1-chloropropan wodorotlenek sodu propen chlorek sodu woda

5 

propan-1-ol propen woda

6 

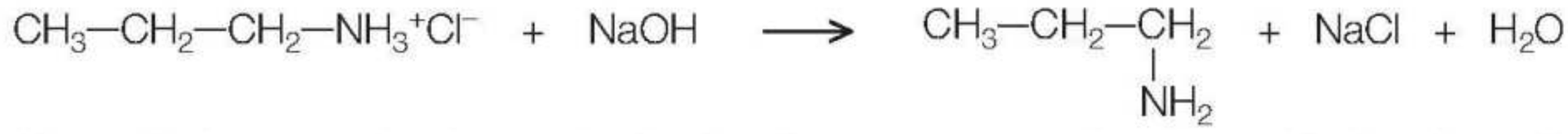
1-chloropropan amoniak propano-1-amina chlorowodór

7 

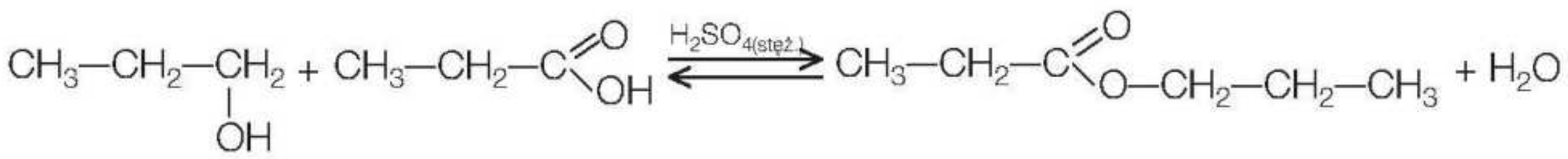
1-chloropropan wodorotlenek sodu propan-1-ol chlorek sodu

8 

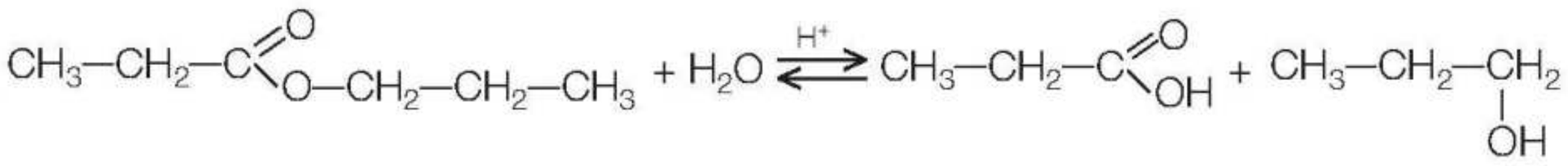
propano-1-amina chlorowodór chlorowodorek propano-1-aminy

9 

chlorowodorek propano-1-aminy wodorotlenek sodu propano-1-amina chlorek sodu woda

10 

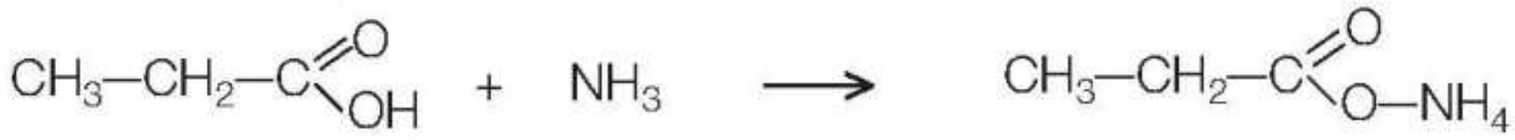
propan-1-ol kwas propanowy propanian propylu woda

11 

propanian propylu woda kwas propanowy propan-1-ol

12 

kwas propanowy sód propanian sodu wodór

13 

kwas propanowy amoniak propanian amonu

14 

propanian amonu propanoamid woda

15 $2\ CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}OH + 9\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 8\ H_2O$

propan-1-ol — tlen — tlenek węgla(IV) — woda

16 $CO_2 + 2\ NH_3 \longrightarrow O{=}C(NH_2)_2 + H_2O$

tlenek węgla(IV) — amoniak — diamid kwasu węglowego — woda

17 $CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}OH + CuO \xrightarrow{T} CH_3{-}CH_2{-}C(=O){-}H + Cu + H_2O$

propan-1-ol — tlenek miedzi(II) — propanal — miedź — woda

18 $CH_3{-}CH_2{-}C(=O){-}H + Ag_2O \xrightarrow{NH_3,\ T} CH_3{-}CH_2{-}C(=O){-}OH + 2\ Ag$

propanal — tlenek srebra(I) — kwas propanowy — srebro

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Przeanalizuj ciągi przemian chemicznych (patrz s. 297) **i wykonaj polecenia** (a–h)**.**

a) Podaj numery reakcji chemicznych, które są reakcjami eliminacji.

b) Podaj numer reakcji chemicznej, która jest reakcją hydrolizy estru.

c) Zaproponuj doświadczenie chemiczne, które umożliwi potwierdzenie, że produktem reakcji oznaczonej numerem 5 jest związek nienasycony.

d) Podaj numery reakcji chemicznych, których produktami są sole.

e) Podaj sposób identyfikacji produktu ubocznego reakcji chemicznej oznaczonej numerem 12.

f) Napisz wzór izomeru produktu reakcji oznaczonej numerem 17 i podaj laboratoryjną metodę umożliwiającą rozróżnienie tych izomerów.

g) Podaj numer reakcji chemicznej, której produktem jest toksyczny gaz.

h) Podaj trzy sposoby zwiększania wydajności reakcji chemicznej oznaczonej numerem 10.

2. Oblicz objętość tlenku węgla(IV) i amoniaku (warunki normalne), które powstały w reakcjach chemicznych 120 g mocznika z kwasem siarkowym(VI) i wodorotlenkiem sodu.

3. Oblicz stężenie molowe roztworu o objętości 0,5 dm^3, który powstał przez rozpuszczenie 20 g mocznika w wodzie.

4. Aminy pierwszorzędowe reagują z kwasem azotowym(III) zgodnie z równaniem:

$R{-}CH_2{-}NH_2 + HNO_2 \longrightarrow R{-}CH_2{-}OH + N_2 + H_2O$

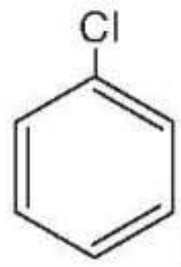
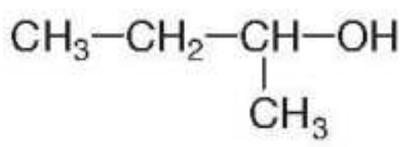
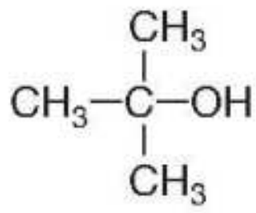
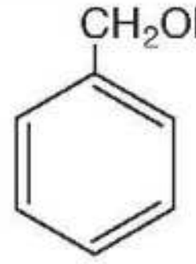
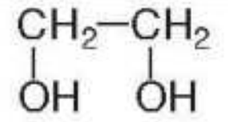
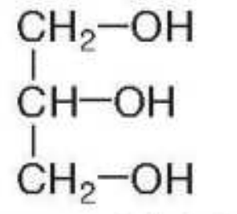
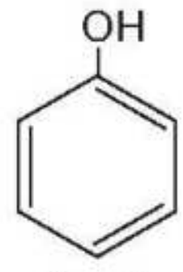
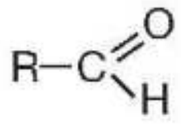
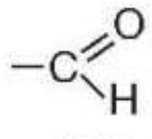
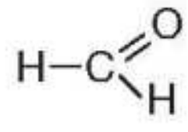
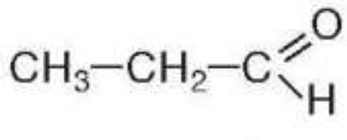
a) **Oblicz ile gramów propanoaminy przereagowało z HNO_2 jeśli wydzieliły się 2 dm^3 azotu (warunki normalne), a wydajność tej reakcji wynosiła 80%.**

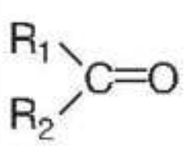
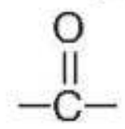
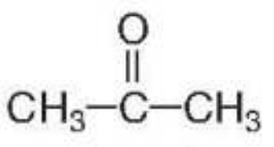
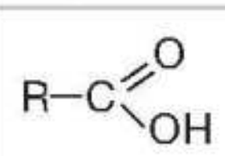
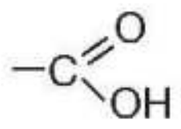
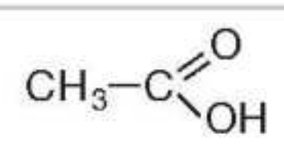
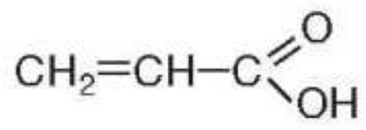
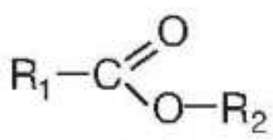
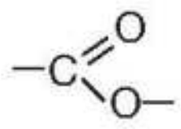
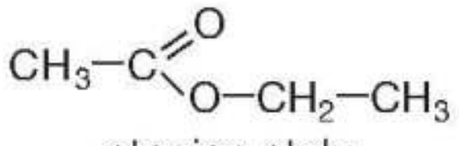
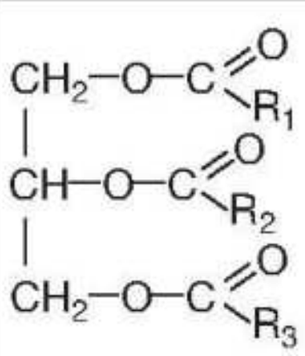
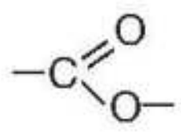
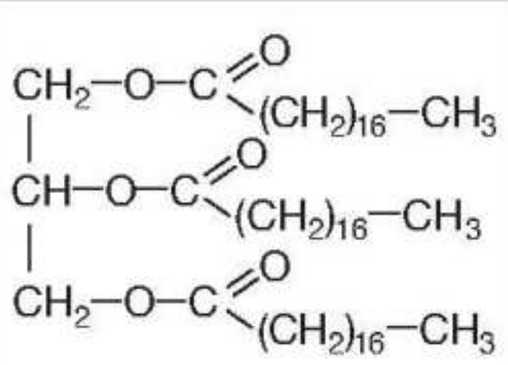
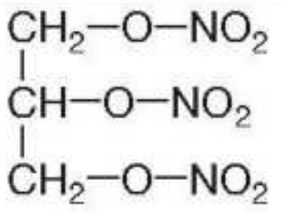
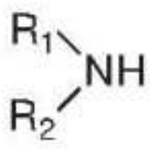
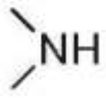
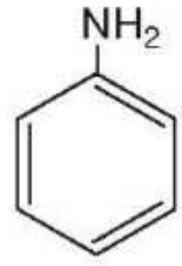
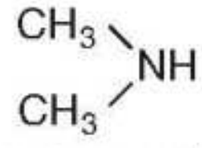
b) **Czy ta reakcja jest reakcją utleniania-redukcji? Odpowiedź uzasadnij.**

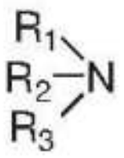
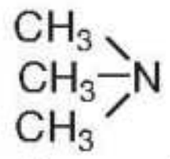
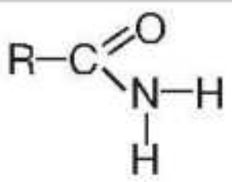
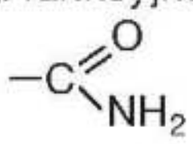
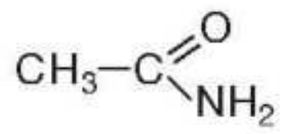
Podsumowanie

Budowa i nazewnictwo jednofunkcyjnych pochodnych węglowodorów

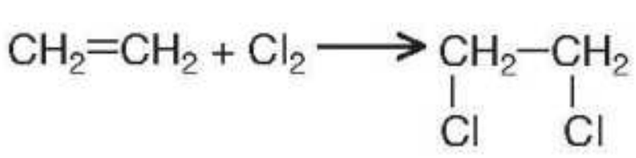
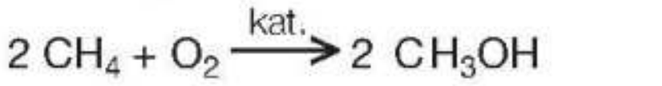
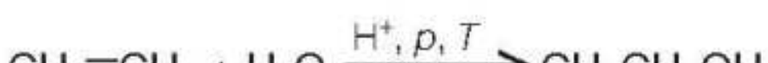
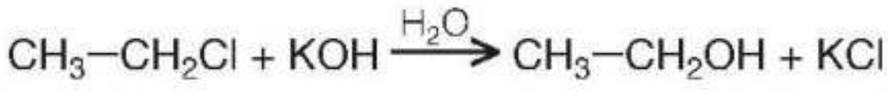
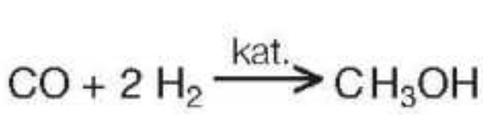
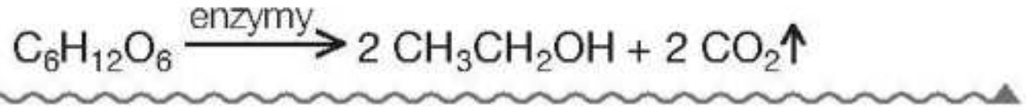
Cząsteczki pochodnych węglowodorów zbudowane są z **grupy węglowodorowej** (np. alkilowej lub arylowej) i **grupy funkcyjnej** – atomu lub grupy atomów.

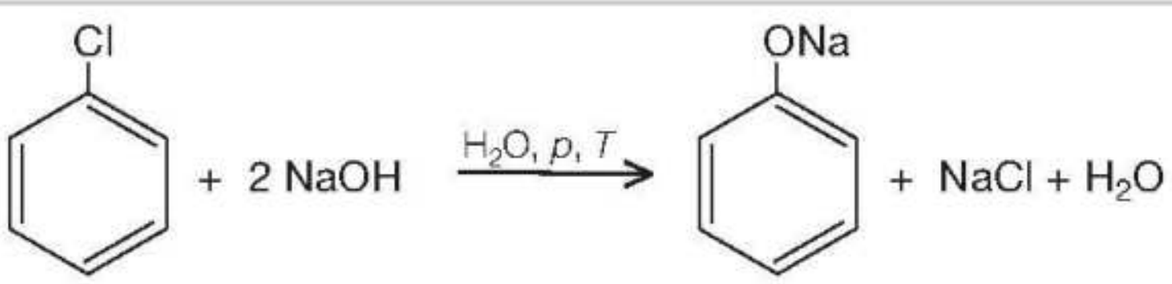
Nazwa grupy związków chemicznych – szereg homologiczny	Wzór ogólny – grupa funkcyjna	Charakterystyka szeregu homologicznego	Przykłady związków chemicznych
Fluorowcopochodne	R–*X* fluorowiec –*X*	atom fluorowca związany z grupą węglowodorową (np. alkilową lub arylową)	CH_3Cl chlorometan  chlorobenzen
Alkohole monohydroksylowe	R–OH grupa funkcyjna: –OH grupa hydroksylowa	alkohole łańcuchowe nasycone: pierwszorzędowe, drugorzędowe, trzeciorzędowe	CH_3OH metanol  butan-2-ol  metylopropan-2-ol
Alkohole aromatyczne	Ar–CH_2OH grupa funkcyjna: –OH grupa hydroksylowa	grupa –OH związana z bocznym łańcuchem węglowodorów aromatycznych	 fenylometanol
Alkohole polihydroksylowe	$C_nH_{2n}(OH)_2$ – dihydroksylowe $C_nH_{2n-1}(OH)_3$ – trihydroksylowe grupa funkcyjna: –OH grupa hydroksylowa	zawierają w cząsteczkach co najmniej dwie grupy –OH, z których każda jest związana z innym atomem węgla w łańcuchu	 etano-1,2-diol  propano-1,2,3-triol
Fenole	Ar–OH grupa funkcyjna: –OH grupa hydroksylowa	grupa hydroksylowa –OH związana z atomem węgla pierścienia aromatycznego	 fenol
Aldehydy	 grupa funkcyjna:  grupa aldehydowa	grupa aldehydowa jest połączona z grupą węglowodorową (np. alkilową lub arylową)	 metanal  propanal

Nazwa grupy związków chemicznych – szereg homologiczny	Wzór ogólny – grupa funkcyjna	Charakterystyka szeregu homologicznego	Przykłady związków chemicznych
Ketony	 grupa funkcyjna:  grupa ketonowa	grupa ketonowa jest połączona z dwiema grupami węglowodorowymi (np. alkilowymi lub arylowymi)	 propan-2-on
Kwasy karboksylowe	 grupa funkcyjna:  grupa karboksylowa	grupa karboksylowa jest połączona z grupą węglowodorową (np. alkilową lub arylową)	 kwas etanowy  kwas propenowy
Estry	 grupa funkcyjna:  grupa estrowa	grupa estrowa łączy dwie grupy węglowodorowe (wyjątek: estry kwasu metanowego)	 etanian etylu
Estry kwasów tłuszczowych – tłuszcze	 grupa funkcyjna:  grupa estrowa	estry glicerolu i kwasów karboksylowych najczęściej o długich łańcuchach węglowych (nazywanych kwasami tłuszczowymi)	 tristearynian glicerolu
Estry kwasów nieorganicznych	$R-O-NO_2$	na przykład: estry kwasu azotowego(V)	 triazotan(V) glicerolu
Aminy	$R-NH_2$ grupa funkcyjna: $-NH_2$ grupa aminowa 	aminy pierwszorzędowe zawierają grupę funkcyjną $-NH_2$ aminy drugorzędowe zawierają grupę funkcyjną 	CH_3-NH_2 metanoamina  anilina  dimetanoamina

Nazwa grupy związków chemicznych – szereg homologiczny	Wzór ogólny – grupa funkcyjna	Charakterystyka szeregu homologicznego	Przykłady związków chemicznych
		aminy trzeciorzędowe zawierają grupę funkcyjną 	 trimetanoamina
Amidy	 grupa funkcyjna:  grupa amidowa	pochodne kwasów karboksylowych, które zawierają grupę amidową	 etanoamid

Metody otrzymywania jednofunkcyjnych pochodnych węglowodorów

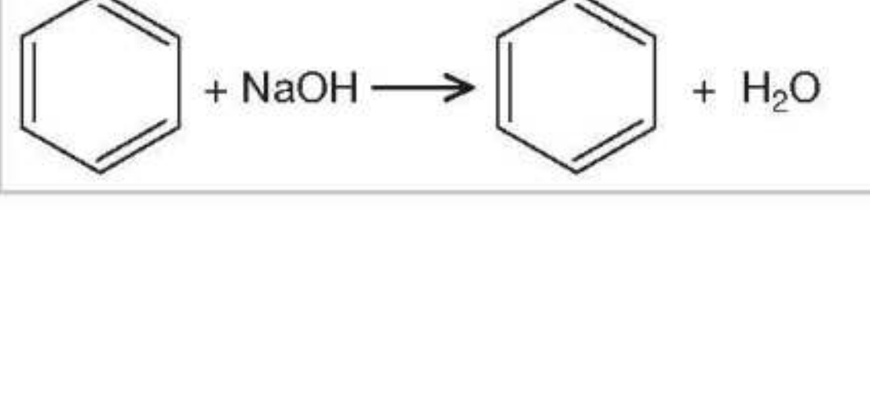
Nazwa grupy związków chemicznych	Metoda otrzymywania	Równanie reakcji otrzymywania
Fluorowco-pochodne	▸ substytucja atomu wodoru atomem fluorowca ▸ addycja fluorowca do cząsteczek węglowodorów nienasyconych ▸ substytucja grupy –OH atomem fluorowca	  
Alkohole	▸ redukcja związków z grupą karbonylową, np. aldehydów ▸ katalityczne utlenianie alkanów ▸ katalityczne uwodnienie alkenów w obecności kwasów ▸ reakcja fluorowcoalkanów z mocnymi zasadami w środowisku wodnym ▸ z gazu syntezowego (otrzymywanie metanolu) ▸ fermentacja alkoholowa (otrzymywanie etanolu) ▸ hydroliza estrów	      

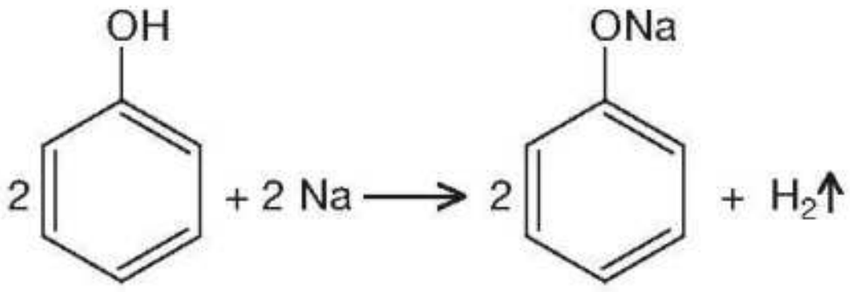
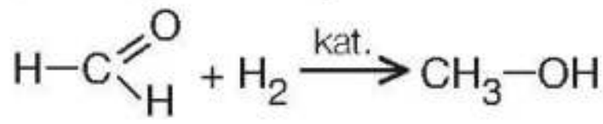
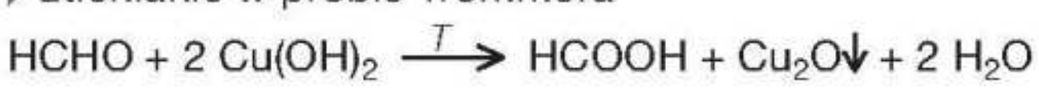
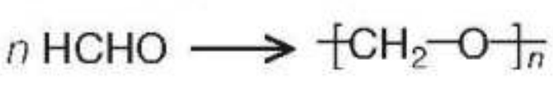
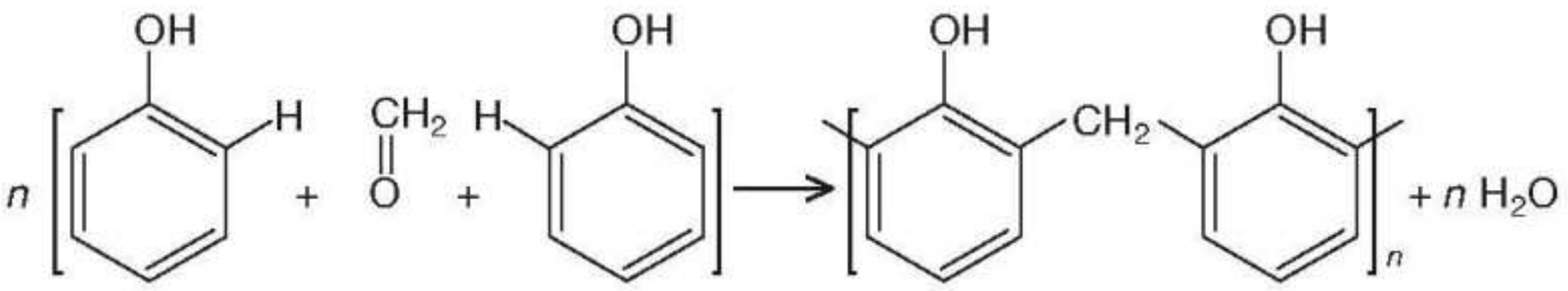
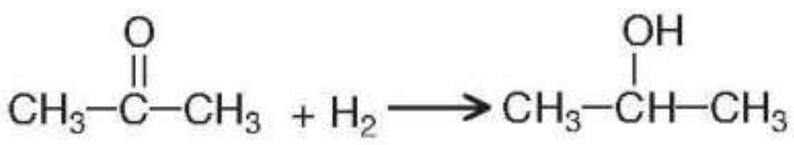
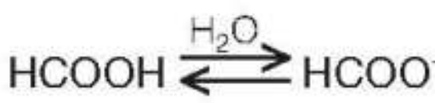
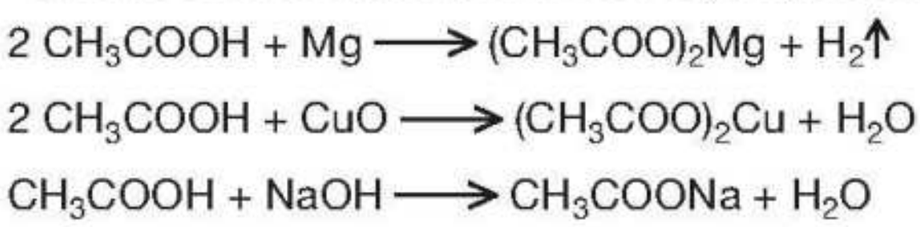
Nazwa grupy związków chemicznych	Metoda otrzymywania	Równanie reakcji otrzymywania
Alkohole	▸ utlenianie etylenu i hydroliza w środowisku kwasowym (otrzymywanie glikolu etylenowego)	$2\ CH_2{=}CH_2 + O_2 \xrightarrow[250^\circ C]{Ag} 2\ CH_2{-}CH_2$ (O) $CH_2{-}CH_2$ (O) $+ H_2O \xrightarrow{H^+} 2\ CH_2(OH){-}CH_2(OH)$
	▸ zmydlanie tłuszczów (otrzymywanie glicerolu)	tłuszcz + zasada $\longrightarrow$ mydło + glicerol $(C_{17}H_{35}COO)_3C_3H_5 + 3\ NaOH \xrightarrow{T} 3\ C_{17}H_{35}COONa + C_3H_5(OH)_3$
Fenole	▸ hydroliza fluorowcopochodnych węglowodorów aromatycznych	
	▸ fenole oraz ich homologi powstają podczas suchej destylacji węgla i są wyodrębniane ze smoły węglowej	
Aldehydy	▸ utlenianie alkoholi pierwszorzędowych	z zastosowaniem łagodnych utleniaczy $2\ CH_3OH + O_2 \xrightarrow{kat.,\ T = 600^\circ C} 2\ HCHO + 2\ H_2O$
	▸ addycja wody do etynu (otrzymywanie etanalu)	$CH{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow{HgSO_4,\ H_2SO_4} CH_3CHO$
	▸ katalityczne utlenianie etenu (otrzymywanie etanalu)	$2\ CH_2{=}CH_2 + O_2 \xrightarrow{kat.,\ T,\ p} 2\ CH_3CHO$
Ketony	▸ utlenianie alkoholi drugorzędowych	reakcja z zastosowaniem łagodnych utleniaczy $CH_3{-}CH(OH){-}CH_3 \xrightarrow[H_2O]{[O]} CH_3{-}C(=O){-}CH_3$
	▸ addycja wody do alkinów	$HC{\equiv}C{-}CH_3 + H_2O \xrightarrow{kat.} CH_2{=}C(CH_3)(OH) \rightleftharpoons CH_3{-}C(=O){-}CH_3$
Kwasy karboksylowe	▸ utlenianie alkoholi pierwszorzędowych	reakcja z zastosowaniem mocnych utleniaczy, np. $K_2Cr_2O_7$ $R{-}CH_2OH + 2\ [O] \xrightarrow{kat.} R{-}COOH + H_2O$
	▸ katalityczne utlenianie węglowodorów	$2\ CH_4 + 3\ O_2 \xrightarrow{kat.} 2\ HCOOH + 2\ H_2O$
	▸ utlenianie aldehydów	próby Tollensa i Trommera $HCHO + Ag_2O \longrightarrow HCOOH + 2\ Ag\downarrow$ $HCHO + 2\ Cu(OH)_2 \longrightarrow HCOOH + Cu_2O\downarrow + 2\ H_2O$

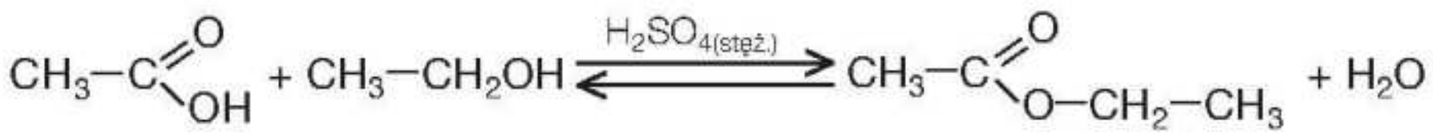
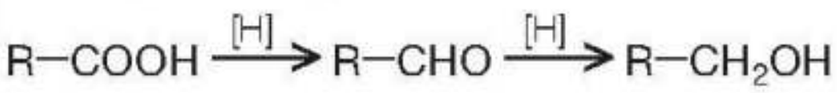
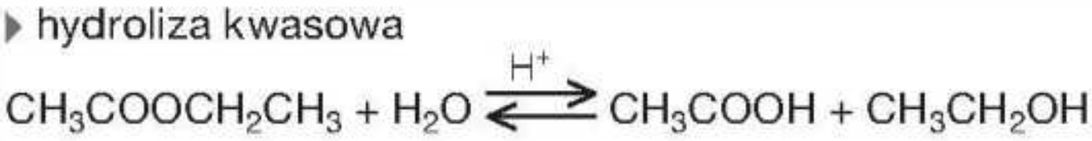
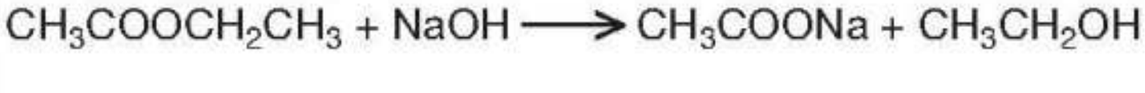
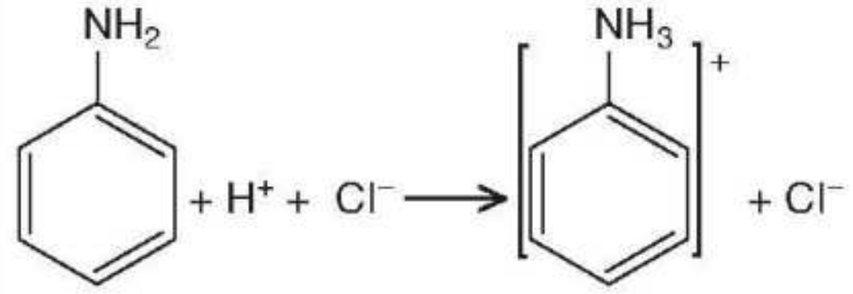
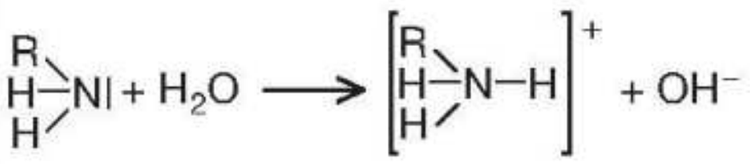
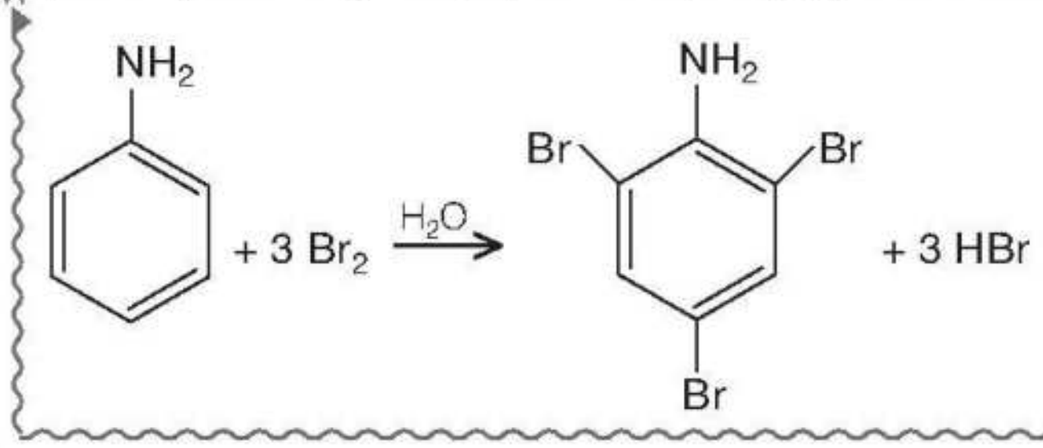
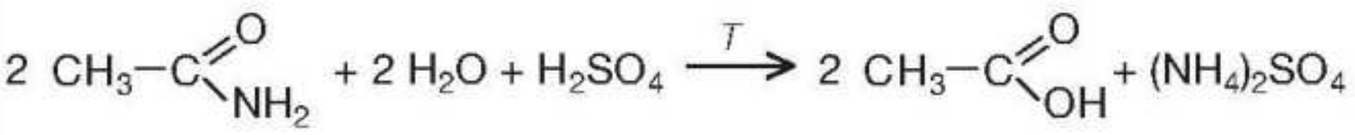
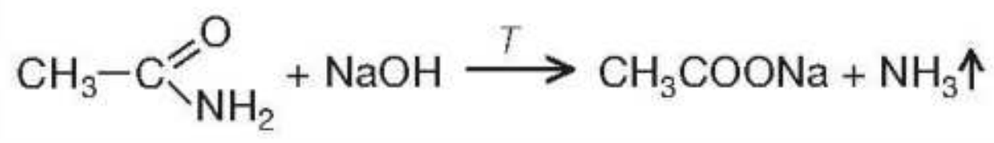
Nazwa grupy związków chemicznych	Metoda otrzymywania	Równanie reakcji otrzymywania
Kwasy karboksylowe	▸ synteza z CO i węglowodorów nienasyconych	metoda przemysłowego otrzymywania niższych kwasów karboksylowych $CH_3-CH=CH_2 + CO + H_2O \xrightarrow{kat.} CH_3-CH_2-CH_2COOH$
	▸ hydroliza estrów i soli	$C_{17}H_{35}COONa + H_2O \longrightarrow C_{17}H_{35}COOH + NaOH$
	▸ działanie H_2SO_4 na HCOONa	otrzymywanie kwasu metanowego $CO + NaOH \xrightarrow{H_2O} HCOONa$ $2\,HCOONa + H_2SO_4 \longrightarrow 2\,HCOOH + Na_2SO_4$
Estry	▸ reakcja kwasów z alkoholami lub fenolami	$CH_3-C(=O)-OH + CH_3CH_2OH \underset{H_2SO_{4(stęż.)}}{\rightleftharpoons} CH_3-C(=O)-O-CH_3CH_2 + H_2O$ $CH_2(OH)-CH(OH)-CH_2(OH) + 3\,HO-NO_2 \xrightarrow{H_2SO_{4(stęż.)}} CH_2(O-NO_2)-CH(O-NO_2)-CH_2(O-NO_2) + 3\,H_2O$ w reakcji kwasów tłuszczowych z glicerolem powstają tłuszcze
Aminy	▸ reakcja fluorowcopochodnych węglowodorów z amoniakiem ▸ redukcja związków nitrowych	$CH_3Br + NH_3 \longrightarrow CH_3NH_3^+Br^-$ $CH_3NH_3^+Br^- + NaOH \longrightarrow CH_3NH_2 + H_2O + NaBr$ stosuje się głównie do otrzymywania amin aromatycznych $C_6H_5NO_2 + 3\,H_2 \xrightarrow{kat.} C_6H_5NH_2 + 2\,H_2O$
Amidy	▸ rozkład termiczny soli amonowych kwasów karboksylowych	$CH_3COOH + NH_3 \longrightarrow CH_3COONH_4$ $CH_3COONH_4 \xrightarrow{T} CH_3CONH_2 + H_2O$

Właściwości jednofunkcyjnych pochodnych węglowodorów

Nazwa grupy związków chemicznych	Równania charakterystycznych reakcji chemicznych
Fluorowcopochodne	▸ reakcja substytucji, której produktami są: a) alkohole $CH_3-CH_2Cl + KOH \xrightarrow{H_2O} CH_3-CH_2OH + KCl$ b) aminy $CH_3-CH_2-CH_2Cl + NH_3 \longrightarrow CH_3-CH_2-CH_2NH_2 + HCl$

Nazwa grupy związków chemicznych	Równania charakterystycznych reakcji chemicznych
Fluorowcopochodne	▸ reakcja z sodem – reakcja Wurtza $2\ CH_3Cl + 2\ Na \longrightarrow CH_3{-}CH_3 + 2\ NaCl$ ▸ reakcja eliminacji $CH_3{-}CH_2Cl + KOH \xrightarrow{\text{alkohol}} CH_2{=}CH_2 + KCl + H_2O$ ▸ polimeryzacja $n\ CH_2{=}CHCl \longrightarrow \left[CH_2{-}\underset{\displaystyle Cl}{\underset{\vert}{CH}}\right]_n$ produktami reakcji polimeryzacji są tworzywa sztuczne: termoplasty i duroplasty
Alkohole monohydroksylowe	▸ reakcje z metalami aktywnymi chemicznie (K, Na, Mg) – rozerwanie wiązania RO—H $2\ CH_3{-}CH_2OH + 2\ Na \longrightarrow 2\ CH_3{-}CH_2ONa + H_2\uparrow$ ▸ reakcja estryfikacji $CH_3{-}C(=O){-}OH + CH_2CH_2OH \underset{}{\overset{H_2SO_{4(stęż.)}}{\rightleftharpoons}} CH_3{-}C(=O){-}O{-}CH_3CH_2 + H_2O$ ▸ reakcje z fluorowcowodorami $CH_3{-}CH_2OH + HCl \xrightarrow{T} CH_3{-}CH_2Cl + H_2O$ ▸ eliminacja wody (dehydratacja) – rozerwanie wiązania R—OH $H{-}\underset{\displaystyle H}{\underset{\vert}{C}}{-}\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{C}}{-}H \xrightarrow{Al_2O_3,\ T} H_2C{=}CH_2 + H_2O$
Alkohole polihydroksylowe	▸ reakcje z metalami aktywnymi chemicznie (K, Na, Mg) $2\ CH_2(OH){-}CH(OH){-}CH_2(OH) + 6\ Na \longrightarrow 2\ CH_2(ONa){-}CH(ONa){-}CH_2(ONa) + 3\ H_2\uparrow$ ▸ reakcja z $Cu(OH)_2$ – odróżnianie alkoholi polihydroksylowych od monohydroksylowych $CH_2(OH){-}CH(OH){-}CH_2(OH) + Cu(OH)_2 \longrightarrow$ 
Fenole	▸ dysocjacja jonowa ▸ reakcje z mocnymi zasadami lub metalami aktywnymi

Nazwa grupy związków chemicznych	Równania charakterystycznych reakcji chemicznych
Fenole	 ▸ reakcje charakterystyczne dla związków aromatycznych: fluorowcowanie, nitrowanie, sulfonowanie – reakcje te wynikają z obecności pierścienia aromatycznego
Aldehydy	▸ reakcja redukcji wodorem  ▸ utlenianie w próbie Tollensa   ▸ utlenianie w próbie Trommera  ▸ polimeryzacja a) otrzymywanie poliformaldehydu  b) otrzymywanie żywicy fenolowo-formaldehydowej 
Ketony	▸ reakcja redukcji wodorem  ▸ nie wykazują właściwości redukujących, nie ulegają reakcjom Tollensa i Trommera
Kwasy karboksylowe	▸ dysocjacja jonowa – ulegają tylko kwasy rozpuszczalne w wodzie  ▸ reakcje z metalami aktywnymi chemicznie, tlenkami metali oraz wodorotlenkami metali. Sole sodowe i potasowe wyższych kwasów karboksylowych to mydła 

Nazwa grupy związków chemicznych	Równania charakterystycznych reakcji chemicznych
Kwasy karboksylowe	▸ tworzenie estrów  ▸ reakcja redukcji  [H] – reduktor ▸ kwasy nienasycone ulegają reakcjom addycji (np. z H_2)
Estry	▸ hydroliza kwasowa  ▸ hydroliza zasadowa – hydrolizę tłuszczu w środowisku zasadowym nazywa się zmydlaniem 
Aminy	▸ tworzenie soli (np. w reakcji z HCl)  ▸ reakcja z wodą  ▸ aminy aromatyczne, np. anilina, ulegają fluorowcowaniu i nitrowaniu 
Amidy	▸ reakcja z wodą w środowisku H_2SO_4  ▸ reakcja z wodorotlenkiem sodu 

Fermentacja alkoholowa

Fermentacja alkoholowa jest to proces biochemiczny, w wyniku którego z sacharydów powstaje etanol:

$$\underset{\text{glukoza}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{enzymy}} \underset{\text{etanol}}{2\ CH_3CH_2OH} + \underset{\text{tlenek węgla(IV)}}{2\ CO_2\uparrow}$$

Fermentacja alkoholowa zachodzi pod wpływem enzymów wytwarzanych przez drożdże.

Fermentacja octowa

Fermentacja octowa jest to proces polegający na utlenieniu alkoholu do kwasu etanowego zgodnie z równaniem reakcji chemicznej:

$$\underset{\text{etanol}}{CH_3CH_2OH} + \underset{\text{tlen}}{O_2} \xrightarrow[\text{bakteryjny}]{\text{enzym}} \underset{\text{kwas etanowy}}{CH_3COOH} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

Fermentacja octowa zachodzi pod wpływem enzymów wytwarzanych przez bakterie kwasu octowego.

Jełczenie

Jełczenie jest wynikiem utleniania kwasów tłuszczowych lub uwalniania kwasów tłuszczowych pod wpływem np. enzymów.

Alkaloidy

Alkaloidy są to zasadowe związki organiczne zawierające azot, np. kofeina i nikotyna.

Substancje uzależniające

Substancje uzależniające są to substancje o silnym działaniu na organizmy. Działają one pobudzająco (stymulanty) lub uspokajająco (depresanty) na ośrodkowy układ nerwowy i psychikę człowieka. Są też takie, które zmieniają sposób odbioru bodźców z otoczenia, wywołując halucynacje (halucynogeny). Do substancji uzależniających zaliczane są niektóre leki, alkohol, nikotyna, kofeina oraz narkotyki.

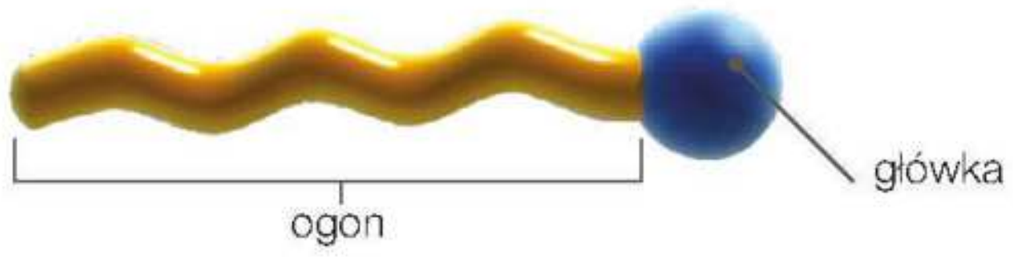
Reakcja zmydlania tłuszczów

Reakcja zmydlania jest to reakcja tłuszczu ze stężonym roztworem wodorotlenku sodu lub potasu, w której wyniku powstaje mydło (sól kwasu tłuszczowego), np.:

tłuszcz + wodorotlenek sodu $\longrightarrow$ mydło sodowe + glicerol

Substancje powierzchniowo czynne

Substancje powierzchniowo czynne (surfaktanty, detergenty) zmniejszają napięcie powierzchniowe cieczy. Cząsteczka substancji powierzchniowo czynnej składa się z części hydrofilowej (główka) i części hydrofobowej (ogon):



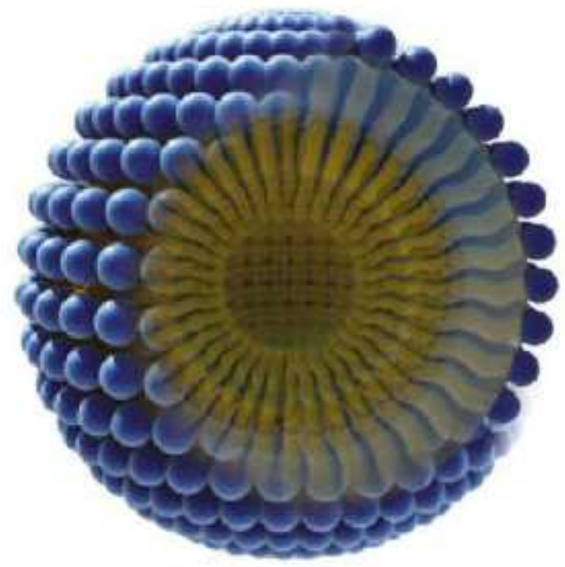
Najbardziej znaną substancją powierzchniowo czynną jest mydło.

Mechanizm usuwania brudu

Napowietrzanie wody z dodatkiem mydła powoduje, że jony mydła grupują się, tworząc micele. Wewnątrz miceli są zamknięte pęcherzyki powietrza – powstaje piana.

Podobnie zachowują się jony mydła podczas usuwania brudu. Hydrofobowe łańcuchy węglowodorowe jonu wnikają w cząsteczkę tłuszczu, a grupy polarne są skierowane w kierunku wody.

Po mechanicznym oderwaniu brudu, spowodowanym m.in. przez tarcie, jony mydła tworzą z tłuszczem trwałą emulsję, którą łatwo spłukuje się wodą.



Model miceli

Eutrofizacja

Eutrofizacja jest to intensywny rozwój roślin i mikroorganizmów wodnych na skutek wzrostu zawartości w wodzie składników odżywczych, głównie jonów PO_4^{3-}, pochodzących z fosforanów(V) zawartych m.in. w środkach piorących.

Emulsja

Emulsja powstaje w wyniku mieszania dwóch nierozpuszczających się w sobie cieczy, z których jedna zostaje rozproszona w drugiej, np. wody i oleju. Tworzenie się emulsji ułatwia emulgator, czyli substancja, która – otaczając cząsteczki jednej z cieczy – uniemożliwia ich ponowne łączenie się.

Większość kosmetyków to emulsje.

Termoplasty

Termoplasty to tworzywa sztuczne, które w podwyższonej temperaturze miękną i topią się, a po ochłodzeniu twardnieją. Takie przemiany mogą zachodzić kilkakrotnie, a ulegają im: polietylen, polipropylen, polistyren, poli(chlorek winylu).

Duroplasty

Duroplasty są to tworzywa sztuczne, które raz ukształtowane nie mogą być ponownie stopione. Ukształtowane duroplasty, np. silikony oraz poliuretany, można obrabiać metodami mechanicznymi, ale nie przez ogrzewanie.

Sposób na zadania

Jak wykazać, że alkohole mają właściwości redukujące?

Zaprojektuj doświadczenie chemiczne.

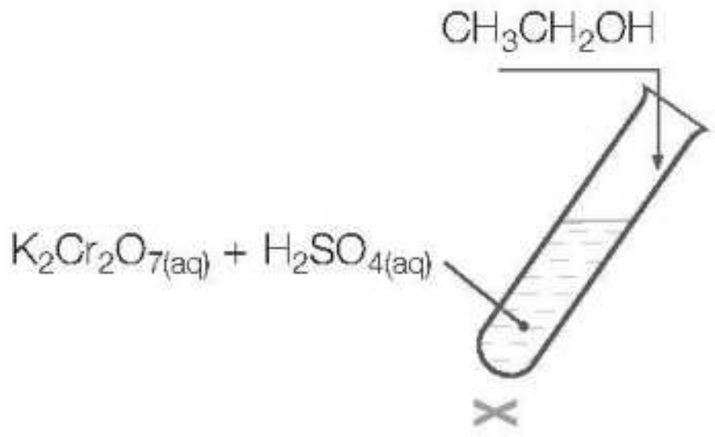
1 Wybierz odczynniki.

Właściwości redukujące alkoholu można wykazać, przeprowadzając reakcję chemiczną alkoholu z substancją o właściwościach utleniających. Typowymi utleniaczami wykorzystywanymi w praktyce laboratoryjnej są manganian(VII) potasu lub dichromian(VI) potasu. Substancje te zazwyczaj wykorzystuje się w postaci roztworów wodnych zakwaszonych kwasem siarkowym(VI). Odczynniki, które będą potrzebne do przeprowadzenia doświadczenia chemicznego, to: alkohol etylowy (lub inny alkohol, np. propan-1-ol), wodny roztwór dichromianu(VI) potasu, roztwór kwasu siarkowego(VI).

2 Dobierz szkło i sprzęt laboratoryjny.

Do przeprowadzenia doświadczenia chemicznego potrzebne będą: probówka, łapa (drewniana) oraz palnik.

3 Narysuj schemat.



4 Napisz obserwacje.

Pomarańczowy roztwór jest bezwonny. Dodawana bezbarwna ciecz ma charakterystyczny zapach. Po jej dodaniu i lekkim ogrzaniu zawartość probówki zmieniła barwę z pomarańczowej na zielono-niebieską. Zawartość próbówki ma inny zapach niż dodawana substancja.

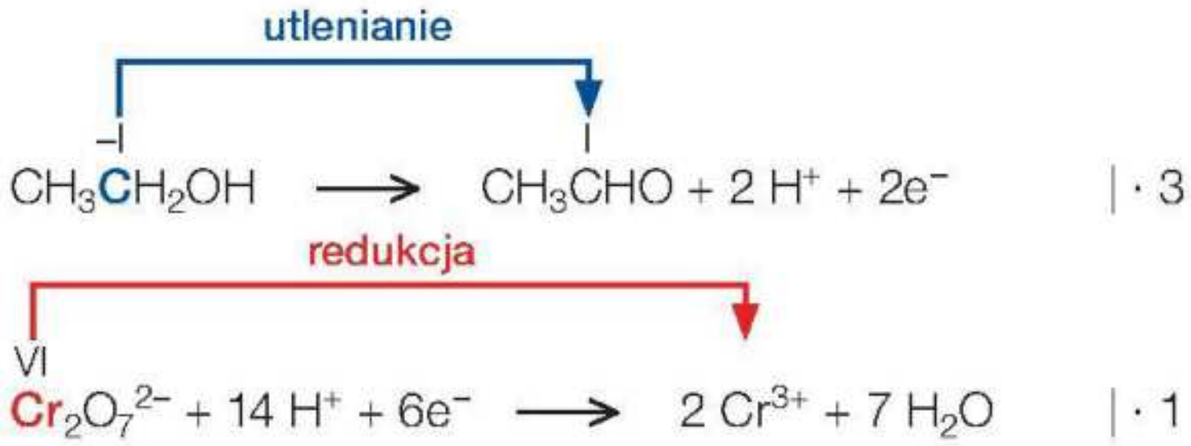
5 Zapisz równania zachodzących reakcji chemicznych, które uzupełniają wniosek z doświadczenia chemicznego. Współczynniki stechiometryczne dobierz metodą bilansu jonowo-elektronowego.

$$K_2Cr_2O_7 + 3\,CH_3CH_2OH + 4\,H_2SO_4 \longrightarrow 3\,CH_3CHO + K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 7\,H_2O$$

$$Cr_2O_7^{2-} + 8\,H^+ + 3\,CH_3CH_2OH \longrightarrow 2\,Cr^{3+} + 3\,CH_3CHO + 7\,H_2O$$

kolor pomarańczowy — kolor zielono-niebieski

Bilans elektronowy w zapisie jonowo-elektronowym:



Utleniacz:
$K_2Cr_2O_7$

Reduktor:
CH_3CH_2OH

6 Napisz wniosek.

W probówce zaszła reakcja chemiczna, w której jon dichromianowy(VI) uległ redukcji do jonu chromu(III), zatem jon $Cr_2O_7^{2-}$ wykazuje właściwości utleniające. Alkohol etylowy uległ reakcji utleniania, zatem wykazuje właściwości redukujące.

Trening – rozwiąż zadania: 8., s. 312.

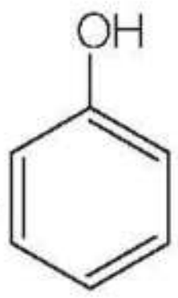
Trening – rozwiąż zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

Informacja do zadań 1.–8.

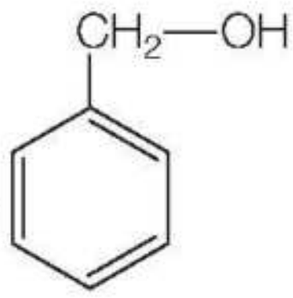
Poniżej przedstawiono wzory alkoholi, fenoli i amin.

A.



B. $CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_3$

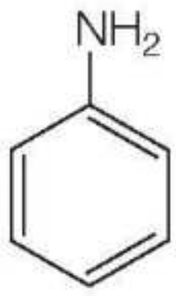
C.



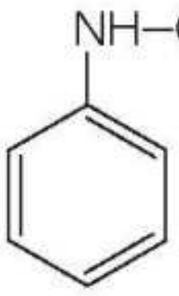
D. $CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}}$

E. $CH_3-CH_2-CH_2-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}}$

F.



G.



Zadanie 1.

Napisz wzory związków chemicznych (A–G), które nie są alkoholami.

Zadanie 2.

Podaj nazwy systematyczne związków chemicznych oznaczonych literami C, E i G.

Zadanie 3.

Napisz wzór związku chemicznego, który jest alkoholem drugorzędowym, oraz wzór związku chemicznego będącego aminą drugorzędową.

Zadanie 4.

Napisz dwa wzory związków chemicznych (A–G), które mogą występować w postaci izomerów podstawienia.

Zadanie 5.

Posługując się wzorami półstrukturalnymi, napisz równanie reakcji chemicznej utleniania związku chemicznego oznaczonego literą B z tlenkiem miedzi(II) w podwyższonej temperaturze.

Zadanie 6.

Wyjaśnij, porównując budowę cząsteczek związków chemicznych D i E, na jakiej podstawie można je zidentyfikować.

Zadanie 7.

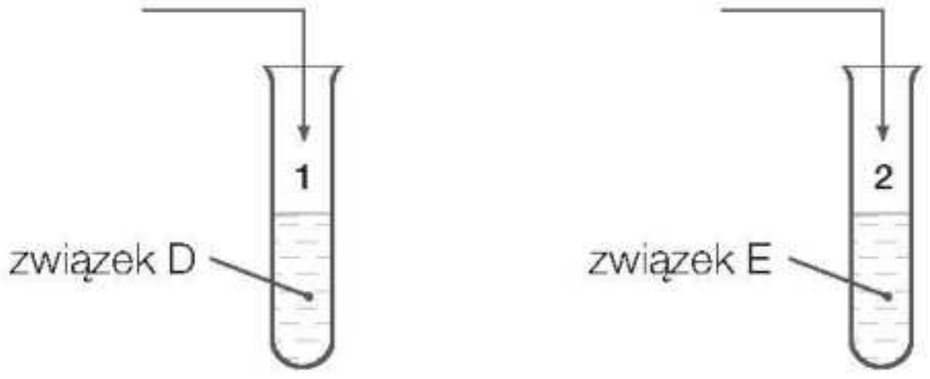
Związki chemiczne oznaczone literami A i C poddano reakcji chemicznej z roztworem wodnym wodorotlenku sodu. Tylko jedna z podanych substancji przereagowała, tworząc sól. **Napisz równanie zachodzącej reakcji chemicznej.**

Zadanie 8.

Zaprojektuj doświadczenie chemiczne, które umożliwi potwierdzenie, że w probówce 1. znajduje się związek chemiczny oznaczony literą D, a w probówce 2. – związek chemiczny oznaczony literą E.

a) **Podaj nazwę użytego odczynnika. Wybierz go spośród wymienionych poniżej związków chemicznych.**

świeżo otrzymany wodorotlenek miedzi(II), woda bromowa, roztwór chlorku żelaza(III), wodny roztwór azotanu(V) srebra(I) z dodatkiem wodnego roztworu amoniaku



b) **Napisz obserwacje potwierdzające obecność podanych związków chemicznych w probówkach 1. i 2.**

Zadanie 9.

W trzech ponumerowanych probówkach znajdowały się: pentan-3-on, pentanal oraz pentan-3-ol. W celu odróżnienia tych związków chemicznych w każdej z probówek przeprowadzono doświadczenia chemiczne: próbę Trommera, redukcję wodorem. Wyniki tych doświadczeń umieszczono w tabeli.

Reakcja chemiczna	Probówka 1.	Probówka 2.	Probówka 3.
próba Trommera	zaobserwowano zmiany	nie zaobserwowano zmian	nie zaobserwowano zmian
reakcja redukcji wodorem	zaobserwowano zmiany	zaobserwowano zmiany	nie zaobserwowano zmian

Na podstawie informacji umieszczonych w tabeli zidentyfikuj związki chemiczne znajdujące się w probówkach (1–3)**. Zapisz ich wzory półstrukturalne.**

Zadanie 10.

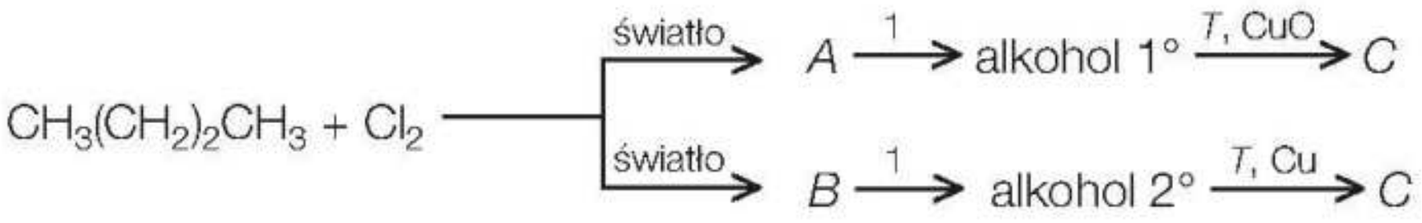
Reakcja utleniania etanolu za pomocą manganianu(VII) potasu w środowisku kwasowym przebiega zgodnie z równaniem:

$$CH_3CH_2OH + KMnO_4 + H_2SO_4 \longrightarrow CH_3COOH + MnSO_4 + K_2SO_4 + H_2O$$

Dobierz współczynniki stechiometryczne w podanym równaniu reakcji chemicznej metodą bilansu jonowo-elektronowego. Wskaż utleniacz i reduktor.

Zadanie 11.

Przeprowadzono ciąg przemian zgodnie ze schematem:



Napisz wzory półstrukturalne i nazwy systematyczne związków chemicznych oznaczonych literami *A*–*C*.



Wielofunkcyjne pochodne węglowodorów

W tym dziale zwróć uwagę na umiejętności

Korzystanie z informacji

- uzasadnianie warunków wystąpienia izomerii optycznej w cząsteczce związku chemicznego o podanej nazwie lub o podanym wzorze
- klasyfikowanie związku chemicznego do wielofunkcyjnych pochodnych węglowodorów na podstawie wzoru sumarycznego, półstrukturalnego, grupowego, opisu budowy lub właściwości fizykochemicznych
- klasyfikowanie reakcji związków organicznych ze względu na typ procesu i mechanizm
- określanie właściwości wielofunkcyjnych pochodnych węglowodorów na podstawie budowy ich cząsteczki
- wyjaśnianie procesów fermentacyjnych zachodzących podczas wyrabiania ciasta i pieczenia chleba, otrzymywania kwaśnego mleka, jogurtów, serów
- klasyfikowanie włókien

Doświadczenia chemiczne – projektowanie i opisywanie

- potwierdzenie właściwości amfoterycznych aminokwasów
- identyfikacja białek
- reakcja biuretowa
- potwierdzenie obecności grup funkcyjnych w cząsteczce glukozy
- potwierdzenie właściwości redukujących glukozy
- identyfikacja glukozy i fruktozy
- przekształcanie cukrów złożonych, polisacharydów i disacharydów (np. sacharozy), w cukry proste – monosacharydy
- identyfikacja włókien celulozowych, białkowych, sztucznych i syntetycznych

25. Izomeria optyczna

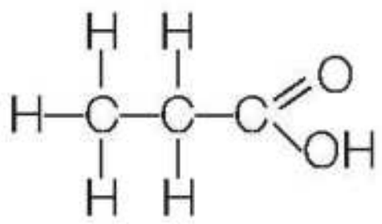
Izomeria optyczna jest to **typ izomerii konfiguracyjnej**, w której zarówno kolejność, jak i sposób powiązania atomów w cząsteczce są jednakowe, a różne jest przestrzenne usytuowanie fragmentów cząsteczki względem siebie.

Izomeria optyczna (zaliczana do stereoizomerii) – zjawisko występowania związku chemicznego czynnego optycznie w postaci stereoizomerów różniących się kierunkiem lub wielkością kąta skręcania płaszczyzny polaryzacji światła.

Centrum chiralności

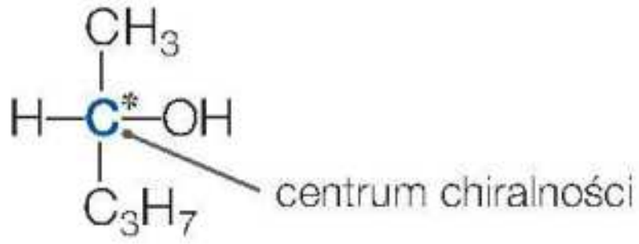
Izomeria optyczna związku chemicznego jest związana z różnym ułożeniem atomów w przestrzeni wokół **centrum chiralności**, nazywanego także: centrum stereogenicznym, centrum asymetrii lub asymetrycznym (chiralnym) atomem węgla. Jest to **atom węgla o hybrydyzacji sp^3 związany z czterema różnymi podstawnikami**. Symbol chemiczny takiego atomu oznacza się gwiazdką **C***. Na przykład cząsteczka kwasu propanowego nie ma centrum chiralności, ponieważ żaden atom węgla nie jest połączony z czterema różnymi podstawnikami:

Centrum chiralności – atom węgla połączony z czterema różnymi podstawnikami w cząsteczce.



Natomiast w cząsteczce pentan-2-olu występuje centrum chiralności, czyli atom węgla połączony z czterema różnymi podstawnikami:

oznaczenie centrum chiralności: *

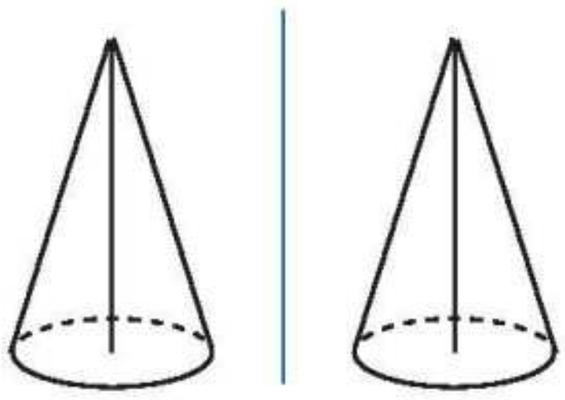


Chiralność

Chiralność – właściwość przedmiotu polegająca na tym, że nie nakłada się on ze swoim odbiciem lustrzanym.

Chiralność to zjawisko polegające na tym, że **przedmiot i jego lustrzane odbicie nie są identyczne** i nie nakładają się na siebie. Chiralne są np. dłonie oraz stopy – nie pokrywają się nałożone jedna na drugą. Chiralne są też uszy, buty, rękawiczki, śruby (jedna prawo-, a druga lewoskrętna) i inne obiekty, które występują w parach lewy-prawy. **Przedmioty chiralne nie mają środka symetrii ani płaszczyzny symetrii**.

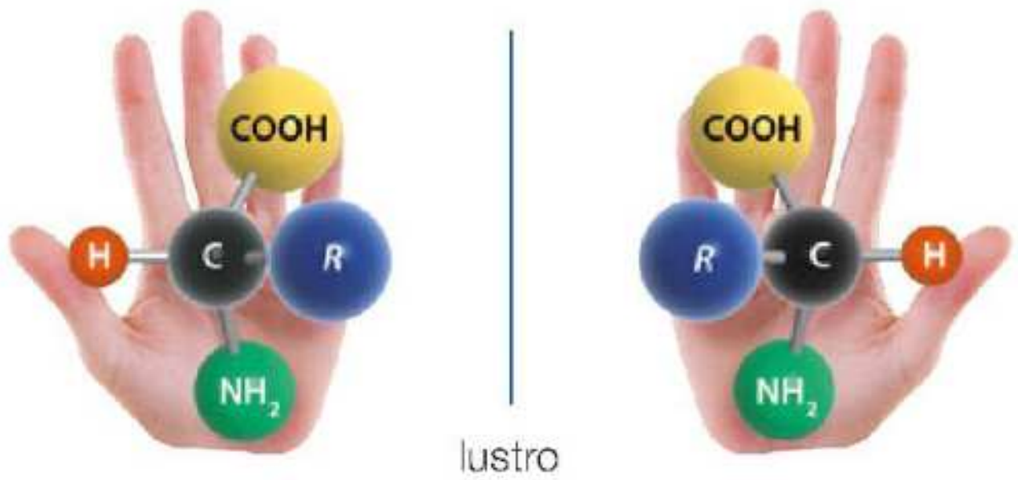
Istnieją też przedmioty **achiralne**, tzn. identyczne ze swoim lustrzanym odbiciem, np. stożek, kula czy walec (rys. 54.).



Rys. 54. Przykład przedmiotu achiralnego.

Chiralne są także cząsteczki niektórych związków chemicznych, które są względem siebie lustrzanymi odbiciami, np. aminokwasy:

Każdej cząsteczce chiralnej odpowiada druga, **przestrzennie nieidentyczna** z nią cząsteczka, będąca jej **lustrzanym odbiciem**.



Chiralne związki chemiczne są nazywane **enancjomerami** (gr. *enantio* – przeciwny). Przyczyną chiralności związku chemicznego jest obecność centrum chiralności w jego cząsteczce.

Enancjomery – cząsteczki, które są odbiciami lustrzanymi i nie nakładają się na siebie.

Wzory stereochemiczne – perspektywiczne i projekcyjne

Chiralność cząsteczek i różnice między izomerami można zauważyć, analizując ich wzory zapisane w sposób przedstawiający przestrzenne rozmieszczenie podstawników. Analiza wzorów przestrzennych nie zawsze jest łatwa, ponieważ na płaszczyźnie dwuwymiarowej, jaką jest kartka, należy narysować przestrzenny obraz cząsteczek.

Wykonanie doświadczenia 59. – ćwiczenia na modelach – umożliwi lepsze zrozumienie zagadnienia chiralności oraz wyćwiczenie umiejętności zapisywania wzorów uwzględniających przestrzenne rozmieszczenie atomów w cząsteczce.

Doświadczenie 59.

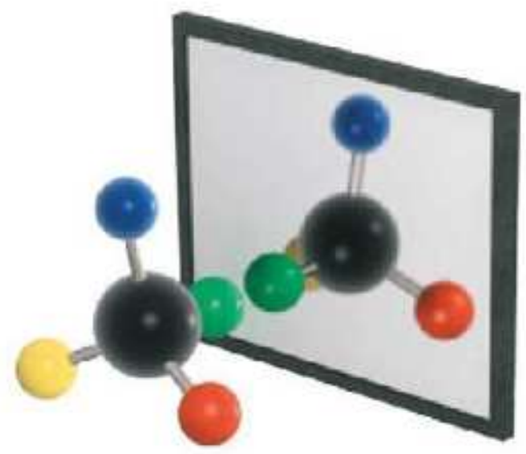
Konstruowanie modelu cząsteczki chiralnej

Sprzęt: modele kulkowe (lub różnokolorowe kulki wykonane z plasteliny), patyczki, lustro.

Instrukcja: Do wykonania modelu cząsteczki chiralnej są potrzebne różnokolorowe modele kulkowe (lub różnokolorowe kulki wykonane z plasteliny) i patyczki.

Do jednej z kulek (np. czarnej) włóż 4 patyczki, tak aby utworzyły model tetraedrycznego atomu węgla, tzn. aby były skierowane ku narożom tetraedru. Następnie na końcach patyczków osadź 4 kulki w różnych kolorach (np. zieloną, czerwoną, niebieską i żółtą). Będą to 4 różne podstawniki.

Wykonany model ustaw tak, aby dwie kulki były przed tobą, jedna na górze, a jedna z tyłu. Ustaw lustro tak, aby uzyskać odbicie modelu.



Do zapisu wzorów określających jednoznacznie konfigurację chiralnych atomów węgla w cząsteczce, czyli **wzorów stereochemicznych**, przyjęto następujące założenia:

- wiązania leżące w płaszczyźnie kartki oznacza się **linią ciągłą** normalnej grubości: —,
- wiązania skierowane za płaszczyznę kartki oznacza się **linią przerywaną**: ·····,
- wiązania skierowane przed płaszczyznę kartki oznacza się klinem ▬, którego węższy koniec jest skierowany w stronę centrum chiralnego.

oznaczenie wiązania leżącego w płaszczyźnie kartki:

—

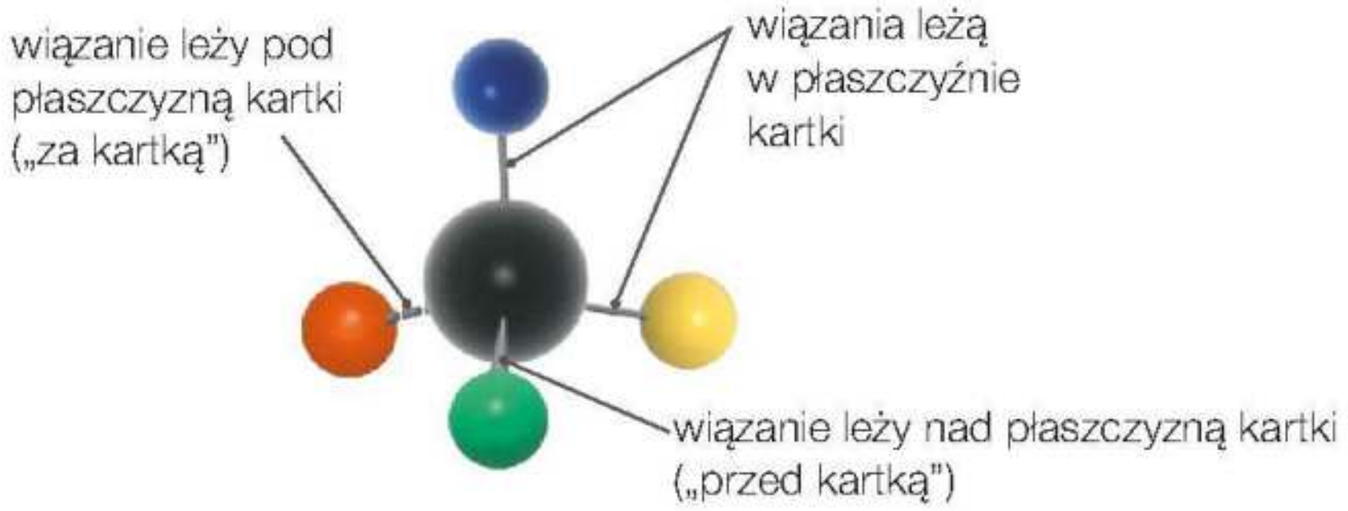
oznaczenie wiązania skierowanego za płaszczyznę kartki:

·····

oznaczenie wiązania skierowanego przed płaszczyznę kartki:

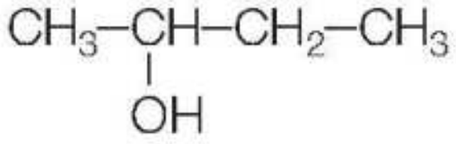
▬

Układ przestrzenny podstawników modelu z doświadczenia 59. można przedstawić zgodnie z przyjętymi założeniami:



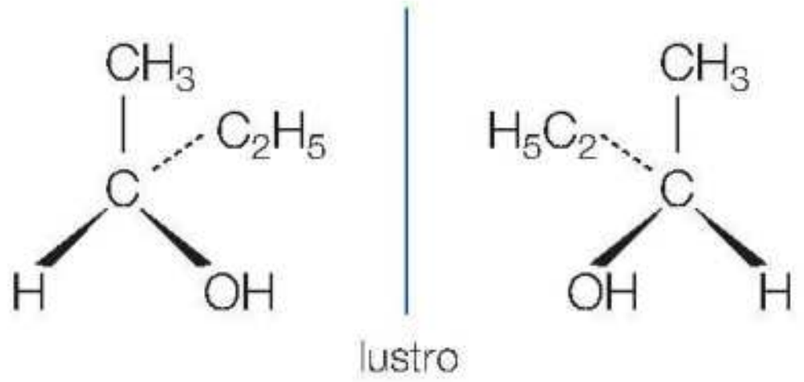
Wzory strukturalne, które były stosowane do tej pory, pokazywały jedynie rozmieszczenie poszczególnych atomów w cząsteczce. Natomiast nie pokazywały ich przestrzennego ułożenia względem siebie. Wzór butan-2-olu był przedstawiany następująco:

wzór półstrukturalny butan-2-olu



Zgodnie z założeniami rysowania wzorów stereochemicznych cząsteczkę butan-2-olu można przedstawić w następujący sposób:

wzory perspektywiczne butan-2-olu



Wzory strukturalne zapisane w ten sposób to tzw. **wzory perspektywiczne**, gdzie:

— to wiązanie leżące w płaszczyźnie kartki,

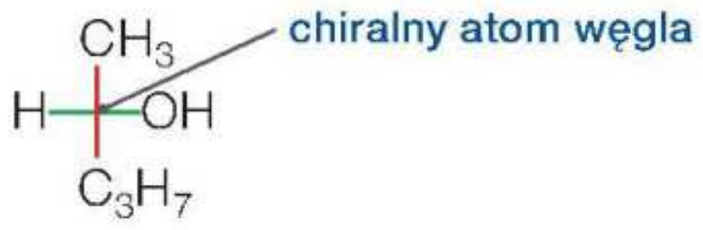
----- to wiązanie skierowane „za kartkę",

▬ to wiązanie skierowane „przed kartkę".

przecięcie linii – chiralne atomy węgla
linie poziome – wiązania „przed kartką", podstawniki
linie pionowe – wiązania „za kartką", łańcuch główny

Budowę przestrzenną związków chemicznych przedstawiają także **wzory projekcyjne**. Wzór projekcyjny (rzutowy), wprowadzony przez niemieckiego chemika **Hermanna Emila Fischera** [czyt. hermana emila fiszera], przedstawia cząsteczkę jako rzut prostokątny na płaszczyznę. We wzorze tym **chiralne atomy węgla** znajdują się **w punkcie przecięcia linii** pod kątem prostym. **Linie poziome** przedstawiają wiązania skierowane **przed płaszczyznę** rysunku, a **linie pionowe** – wiązania skierowane **za płaszczyznę** rysunku. W linii pionowej umieszcza się główny łańcuch węglowy, a w poziomej – podstawniki:

wzór projekcyjny pentan-2-olu



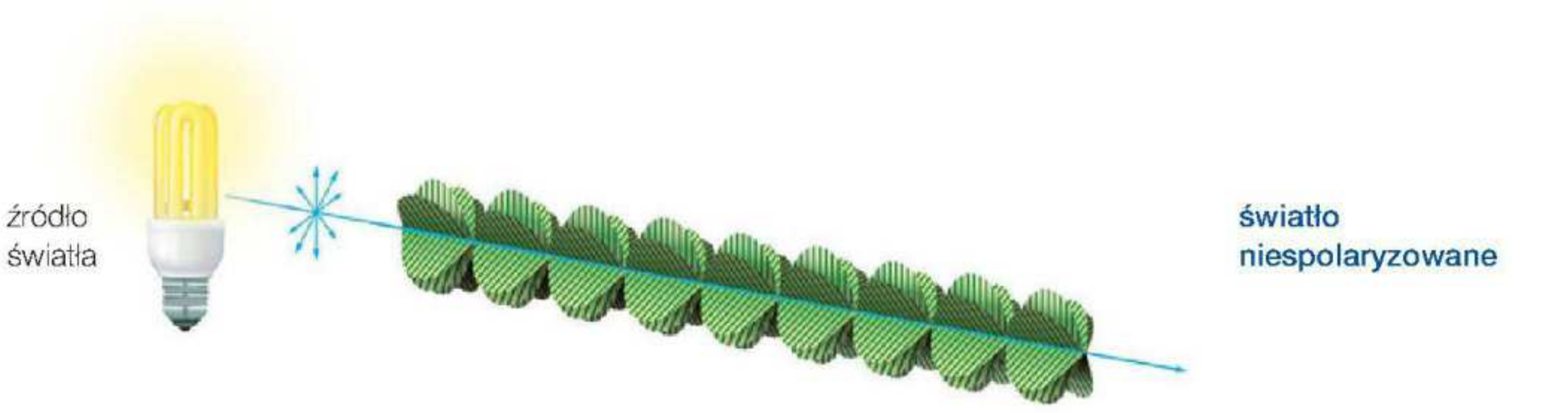
Umiejętność stosowania wzorów Fischera jest niezbędna do odwzorowania budowy cząsteczek aminokwasów, sacharydów oraz innych związków chemicznych, których cząsteczki mają centra chiralności.

Czynność optyczna cząsteczek

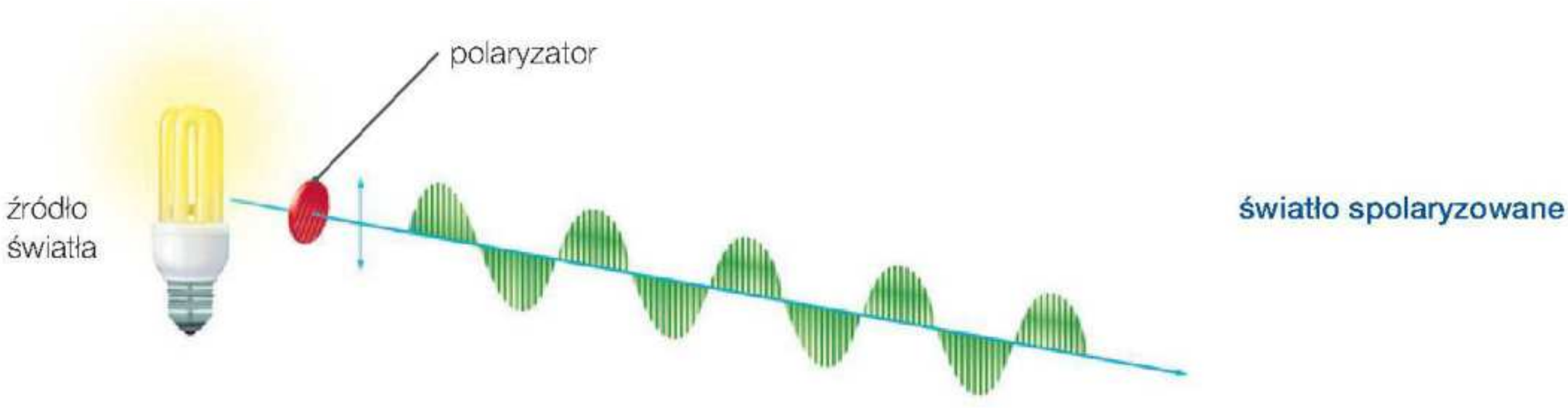
Niektóre związki chemiczne mają **zdolność skręcania płaszczyzny światła spolaryzowanego**, tzn. odchylania jej o pewien kąt w prawo lub w lewo. Właściwość ta nosi nazwę **czynności optycznej**, a takie związki chemiczne nazywa się **optycznie czynnymi**.

Czynność optyczna – zdolność związku chemicznego do skręcania płaszczyzny światła spolaryzowanego w prawo lub w lewo o określony kąt.

Światło rozchodzi się w postaci fal elektromagnetycznych, a drgania fal zachodzą we wszystkich płaszczyznach przecinających się wzdłuż osi światła. Płaszczyzny tych drgań można przedstawić graficznie za pomocą wektorów w następujący sposób:



Po przejściu wiązki światła przez **polaryzator** otrzymuje się **światło spolaryzowane**, tzn. takie, w którym drgania fal zachodzą w jednej płaszczyźnie:

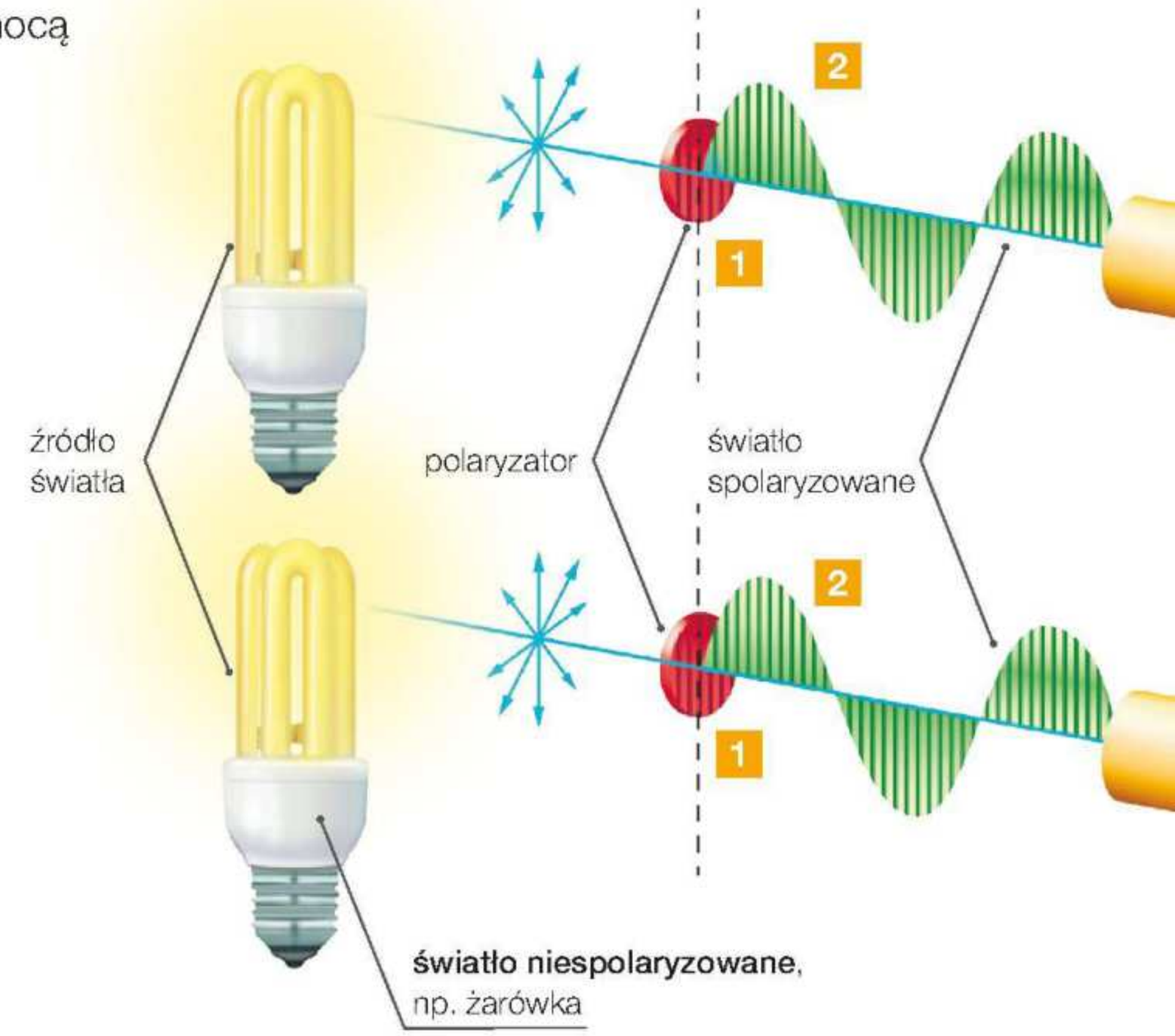


Czynność optyczną, czyli zdolność do skręcania płaszczyzny światła spolaryzowanego, wykazują niektóre substancje. Należą do nich krystaliczne związki nieorganiczne oraz niektóre związki organiczne występujące w postaci kryształów, roztworów wodnych i par. Oznacza to, że **czynność optyczna związku chemicznego wynika z budowy cząsteczek związków chemicznych**, a nie ich sieci krystalicznych.

Krok po kroku

Pomiar czynności optycznej związku chemicznego

Pomiar czynności optycznej związku chemicznego wykonuje się za pomocą **polarymetru**. Jest to urządzenie składające się ze źródła światła, rurki, do której wprowadza się badaną substancję, i dwóch układów optycznych – **polaryzatora** i **analizatora**.

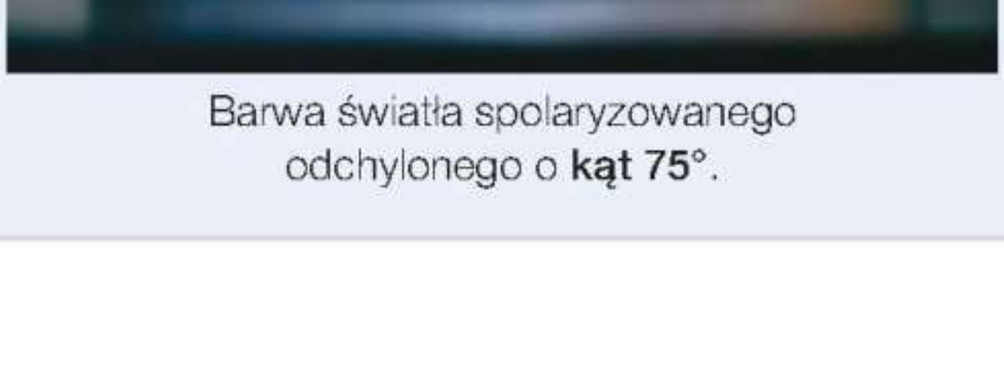


1 Po przejściu wiązki światła przez **polaryzator** otrzymuje się **światło spolaryzowane**.

2 Drgania wiązek światła spolaryzowanego zachodzą w **jednej płaszczyźnie**, np. pionowej.

Jak kąt skręcania płaszczyzny wpływa na barwę światła spolaryzowanego?

Światło spolaryzowane przechodzące przez **roztwór fruktozy** ma różne barwy, w zależności od kąta skręcania płaszczyzny.



Barwa światła spolaryzowanego odchylonego o **kąt 75°**.



Barwa światła spolaryzowanego odchylonego o **kąt 50°**.

3 **Roztwór substancji czynnej optycznie**, znajdujący się **w rurce polarymetrycznej, odchyla płaszczyznę światła spolaryzowanego** o pewien kąt.
Zmniejsza się intensywność światła, które dociera do obserwatora.

4 **Ustawienie analizatora**, tzn. obrócenie go o odpowiedni kąt, powoduje, że **światło ponownie dociera** do obserwatora. Ten kąt obrotu jest zarazem kątem skręcania płaszczyzny polaryzacji i miarą czynności optycznej badanego związku chemicznego.



Substancja prawoskrętna – skręca płaszczyznę światła spolaryzowanego w prawo. Kierunek skręcania płaszczyzny w prawo oznacza się znakiem (+).

Substancja lewoskrętna – skręca płaszczyznę światła spolaryzowanego w lewo. Kierunek skręcania płaszczyzny w lewo oznacza się znakiem (–).

Jak substancja optycznie czynna wpływa na wiązkę światła docierającą do oka obserwatora?

Związki optycznie czynne mają zdolność skręcania płaszczyzny światła spolaryzowanego, tzn. odchylenia jej o pewien kąt w prawo lub w lewo. Należą do nich **krystaliczne związki nieorganiczne**, np. kwarc, **oraz** niektóre **związki organiczne**, np. sacharydy, występujące w postaci kryształów, roztworów wodnych i par. Najczęściej używanym polaryzatorem jest **polaroid**, czyli folia z tworzywa sztucznego rozciągana podczas produkcji w jednym kierunku, a następnie naklejana na szkło. Gdy polaryzator i analizator są odpowiednio ustawione względem siebie i **nie ma między nimi substancji czynnej** optycznie, to niezaburzona wiązka światła dociera do oka obserwatora. Jeśli między polaryzatorem a analizatorem **znajduje się substancja czynna optycznie**, to do obserwatora dociera światło o mniejszym natężeniu, gdyż następuje skręcenie płaszczyzny polaryzacji.

Kwarc jest przykładem związku optycznie czynnego.



Konfiguracja względna enancjomerów D lub L

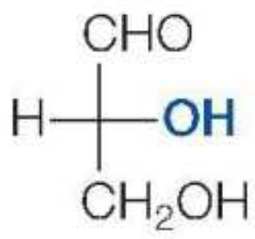
Konfiguracja – przestrzenne rozmieszczenie podstawników wokół centrum chiralności w cząsteczce.

Enancjomery mają taką samą strukturę, ale różnią się rozmieszczeniem podstawników w przestrzeni, czyli **konfiguracją**. Skręcają płaszczyznę polaryzacji światła o ten sam kąt, ale w przeciwnych kierunkach: w lewo albo w prawo. W nazwach enancjomerów konfigurację określamy jako **prawą – oznaczaną literą D** (łac. *dexter* – prawy) lub **lewą – oznaczaną literą L** (łac. *laevus* – lewy). W cząsteczkach enancjomerów o konfiguracji D podstawnik przy centrum chiralności o najwyższym lokancie jest umieszczony po prawej stronie. Natomiast w cząsteczkach enancjomerów o konfiguracji L – po lewej stronie. Jest to **konfiguracja względna**, gdyż wyznacza się ją **względem konfiguracji wzorca**. Wzorcem jest cząsteczka **aldehydu glicerynowego** – najprostszego sacharydu wykazującego izomerię optyczną.

oznaczenie konfiguracji prawej: D

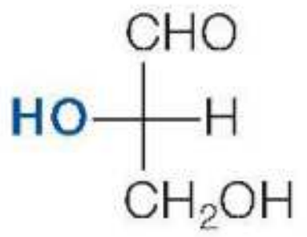
oznaczenie konfiguracji lewej: L

Enancjomer o wzorze:



grupa –OH **po prawej** stronie centrum chiralności

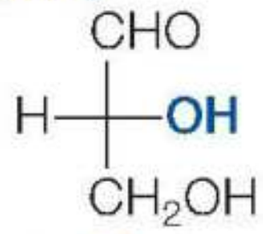
jest to aldehyd **D-glicerynowy**. Natomiast enancjomer o wzorze:



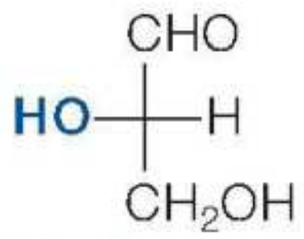
grupa –OH **po lewej** stronie centrum chiralności

jest to aldehyd **L-glicerynowy**.

wzorzec konfiguracji względnej



aldehyd **D**-glicerynowy



aldehyd **L**-glicerynowy

Oznaczenia D i L stosuje się głównie do określania konfiguracji hydroksykwasów, aminokwasów i monosacharydów (patrz s. 327, 341, 372).

Konfiguracja absolutna enancjomerów *R* lub *S*

Oprócz konfiguracji względnej enancjomerów wyznacza się również tzw. **konfigurację absolutną**. Określa ona rzeczywiste rozmieszczenie podstawników wokół centrum chiralności w cząsteczce. Konfigurację absolutną oznacza się jako ***R*** (łac. *rectus* – zgodny, prosty, prawy) lub ***S*** (łac. *sinister* – odwrócony, odwrotny, lewy). Oznaczenia te mają charakter uniwersalny i opierają się na **regułach pierwszeństwa podstawników**.

Ani symbole *R* i *S*, ani symbole D i L nie określają znaku skręcalności optycznej, a jedynie konfigurację centrum chiralności. Natomiast skręcalność płaszczyzny polaryzacji światła (którą wyznacza się doświadczalnie) w prawo oznacza się (+), a w lewo (–). Należy pamiętać, że cząsteczka o konfiguracji absolutnej *R* może mieć konfigurację względną D lub L. Tak samo cząsteczka o konfiguracji absolutnej *S* może mieć konfigurację względną D lub L.

oznaczenie skręcalności płaszczyzny polaryzacji światła:
w prawo (+)
w lewo (–)

Bardzo ważne jest, aby przy zapisywaniu wzoru enancjomeru **pierwszy atom węgla w łańcuchu umieścić na górze**. O przynależności do szeregu konfiguracyjnego D lub L decyduje bowiem konfiguracja centrum chiralności o najwyższym lokancie.

Obecnie do określania konfiguracji enancjomerów stosuje się **system *R*, *S*** oparty na regułach **pierwszeństwa podstawników** przy centrum chiralności (chiralnym atomie węgla). Cząsteczkę „ustawia się" tak, aby podstawnik o najniższej liczbie atomowej był najdalej od obserwatora.

reguły Cahna–Ingolda–Preloga określające pierwszeństwo podstawników

Pierwszeństwo podstawników określają następujące reguły:

Reguła 1. O pierwszeństwie podstawników decyduje liczba atomowa. Pierwszeństwo ma atom o większej liczbie atomowej, np. atom chloru ma pierwszeństwo przed atomem wodoru:



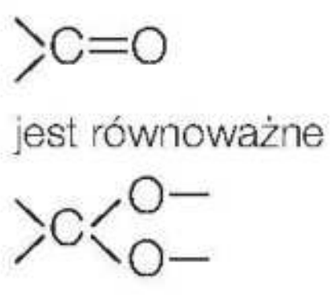
Reguła 2. Gdy podstawnikiem jest grupa atomów, **porównuje się** kolejne **liczby atomowe pierwiastków chemicznych w podstawnikach**, przy czym jeden atom o wyższym pierwszeństwie jest ważniejszy niż dwa lub trzy atomy o niższym pierwszeństwie:



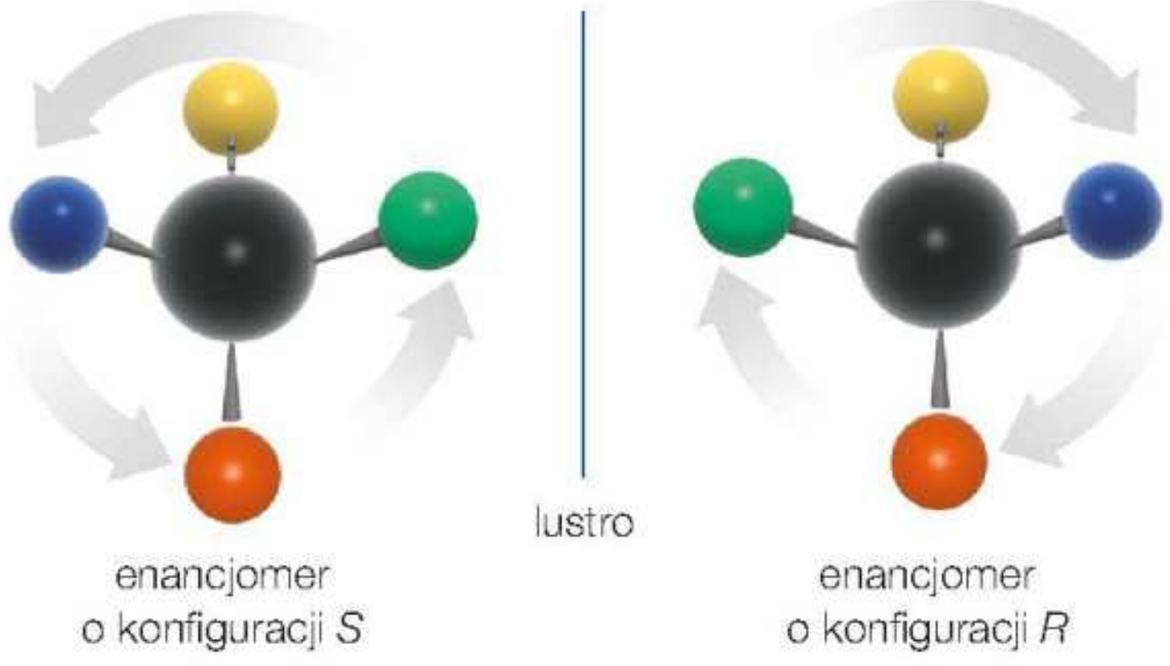
Grupa $-CH_2CH_3$ ma pierwszeństwo przed grupą $-CH_3$, ponieważ grupa etylowa zawiera dwa atomy węgla i ma większą masę.

Reguła 3. Jeśli atomy są połączone **wiązaniami wielokrotnymi**, rozpatruje się je jako podwojone lub potrojone – równoważne tej samej liczbie pojedynczo związanych atomów:





Jeżeli przemieszczamy się od podstawnika o najwyższym pierwszeństwie przez podstawnik o niższym pierwszeństwie do podstawnika o najniższym pierwszeństwie **zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara**, to konfigurację takiego enancjomeru określamy jako ***R***. Jeśli **kierunek jest przeciwny** – enancjomer oznaczamy jako ***S***:



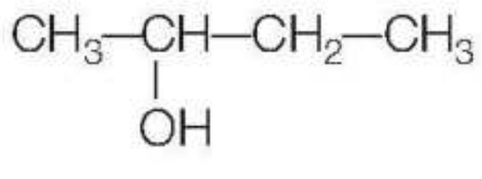
Przykład 17.

Rysowanie konfiguracji *R* i *S* związku chemicznego

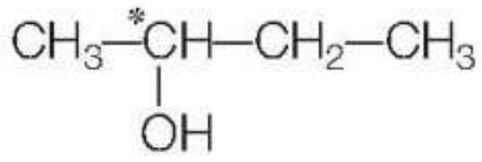
Narysuj konfiguracje *R* i *S* cząsteczki butan-2-olu.

Plan rozwiązywania

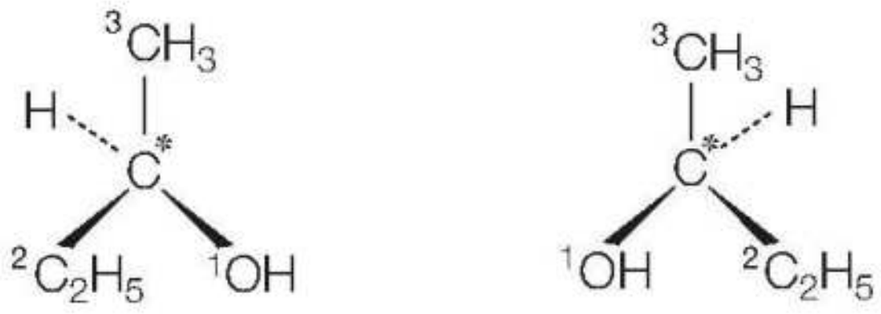
1. Narysuj wzór strukturalny butan 2-olu.
2. Ustal, czy ten związek chemiczny jest chiralny – sprawdź, czy cząsteczka zawiera centrum chiralności, i oznacz go gwiazdką.
3. Zapisz wzory perspektywiczne enancjomerów na podstawie modelu tego związku chemicznego.
4. Ustal kolejność pierwszeństwa podstawników i rodzaj konfiguracji.

1 

2 W butan-2-olu centrum chiralności (chiralny atom węgla) jest połączone z czterema podstawnikami: $-CH_3$, $-OH$, $-C_2H_5$, $-H$:

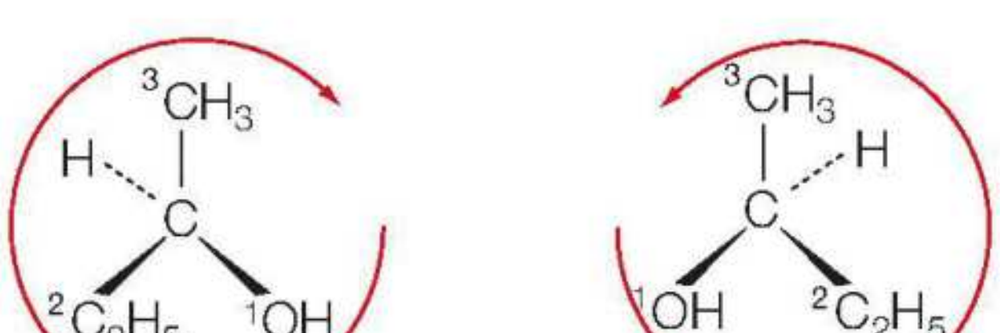


3 Cząsteczkę orientuje się tak, by **atom o najniższym pierwszeństwie był najbardziej oddalony od obserwatora** (linia przerywana). W tym związku chemicznym jest to atom wodoru. Przy oznaczaniu konfiguracji *R* i *S* uwzględnia się trzy pozostałe podstawniki:



4 **Atom tlenu ma większą liczbę atomową** niż atomy węgla i wodoru, a więc jest podstawnikiem o najwyższym pierwszeństwie; zgodnie z regułą 1. (patrz s. 321) we wzorze otrzymuje on numer 1. Zgodnie z regułą 2. (patrz s. 321) grupa etylowa **$-C_2H_5$ ma pierwszeństwo przed** grupą metylową **$-CH_3$**.

Jeżeli przemieścimy się od grupy o najwyższym pierwszeństwie do grupy o najniższym pierwszeństwie **zgodnie z ruchem wskazówek zegara**, to uzyskamy konfigurację ***R***, jeżeli **przeciwnie** – to konfigurację ***S***:



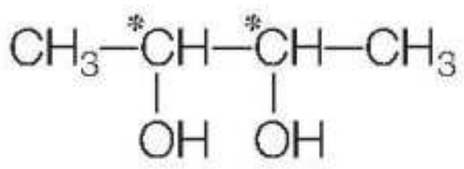
R-butan-2-ol

S-butan-2-ol

Równocenne i nierównocenne atomy węgla w cząsteczce enancjomeru

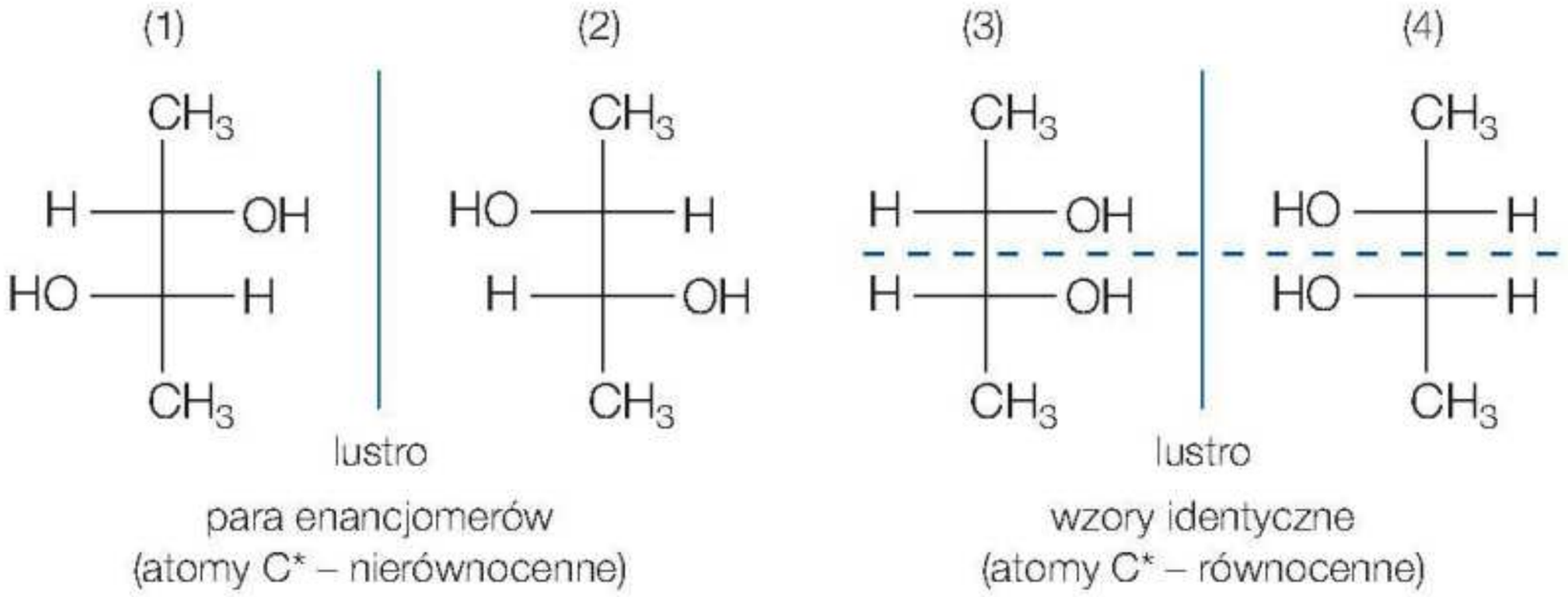
W przypadku związków chemicznych, których cząsteczki zawierają kilka centrów chiralności, może istnieć większa liczba stereoizomerów, ale nie większa od 2^n, gdzie n oznacza liczbę chiralnych atomów węgla w cząsteczce.

Wzór 2^n sprawdza się jedynie wówczas, gdy chiralne atomy węgla w cząsteczce są **nierównocenne**, tzn. takie, w których zestawy podstawników przy centrach chiralności są **różne**. Gdy zestawy podstawników przy centrach chiralności są **identyczne**, a w cząsteczce enancjomeru występuje **płaszczyzna symetrii**, to takie atomy noszą nazwę **równocennych**. Związkiem chemicznym o równocennych centrach chiralności jest np. butan-2,3-diol:



wzór półstrukturalny butan-2,3-diolu

Wzory projekcyjne Fischera izomerów butan-2,3-diolu:



oznaczenie płaszczyzny symetrii

lustro

para enancjomerów
(atomy C* – nierównocenne)

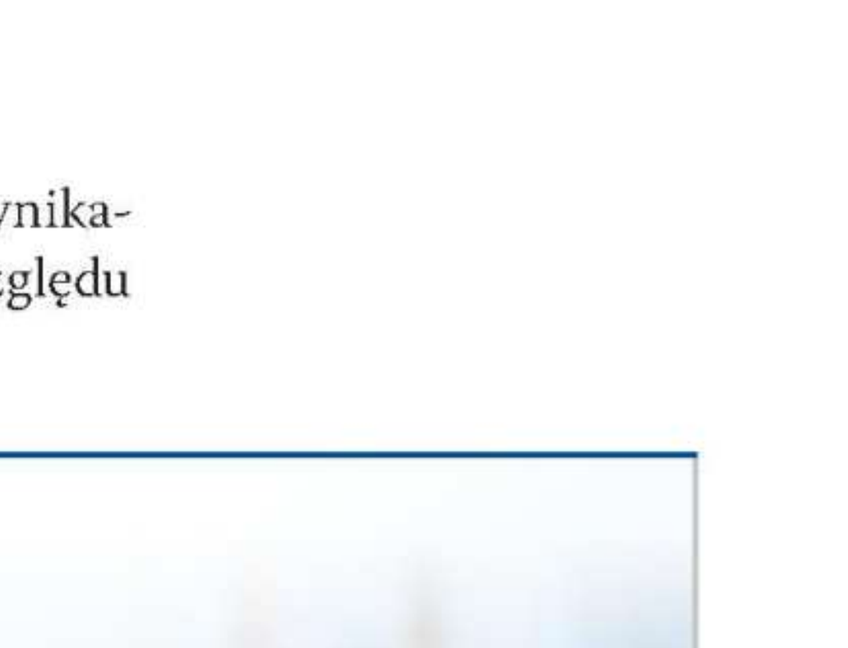
lustro

wzory identyczne
(atomy C* – równocenne)

W tym przypadku liczba stereoizomerów nie wynosi 4 (jak wynikałoby ze wzoru 2^n), lecz 3, gdyż wzory (3) i (4) są identyczne ze względu na obecność równocennych atomów C*.

Odkrycia, które zmieniły świat – różnice we właściwościach enancjomerów

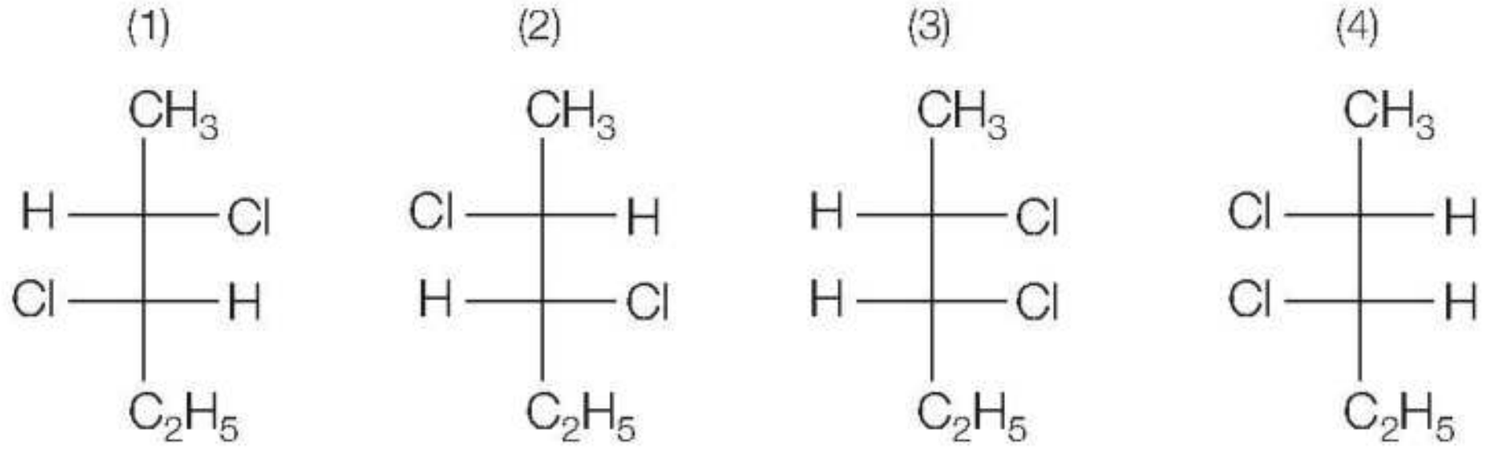
Enancjomery, ze względu na różną budowę przestrzenną, w odmienny sposób oddziałują z chiralnymi receptorami organizmów. Enancjomery mają różne zapachy, barwy oraz właściwości lecznicze. Konfiguracja absolutna ma ogromne znaczenie w medycynie. Od konfiguracji *R* i *S* cząsteczki leku zależy skuteczność jego działania. **Ibuprofen** jest składnikiem większości leków przeciwbólowych. Jednak tylko izomer *S* tego związku chemicznego ma działanie terapeutyczne. Może też się zdarzyć, że jeden z izomerów ma działanie lecznicze, a drugi jest szkodliwy dla organizmu. Przykładem takiego związku chemicznego jest **talidomid** (fot. 137.). Izomer *S* powoduje m.in. powstawanie wad płodu.



Fot. 137. Izomer *R* talidomidu ma działanie przeciwbólowe.

Na przykład 2,3-dichloropentan ma dwa nierównocenne centra chiralności, czyli cztery stereoizomery:

wzory projekcyjne Fischera 2,3-dichloropentanu



Cząsteczki (1) i (2) oraz (3) i (4) są enancjomerami, w obu przypadkach cząsteczki stanowią swoje lustrzane odbicia.

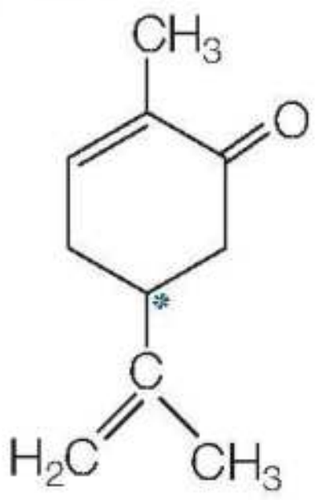
Diastereoizomery

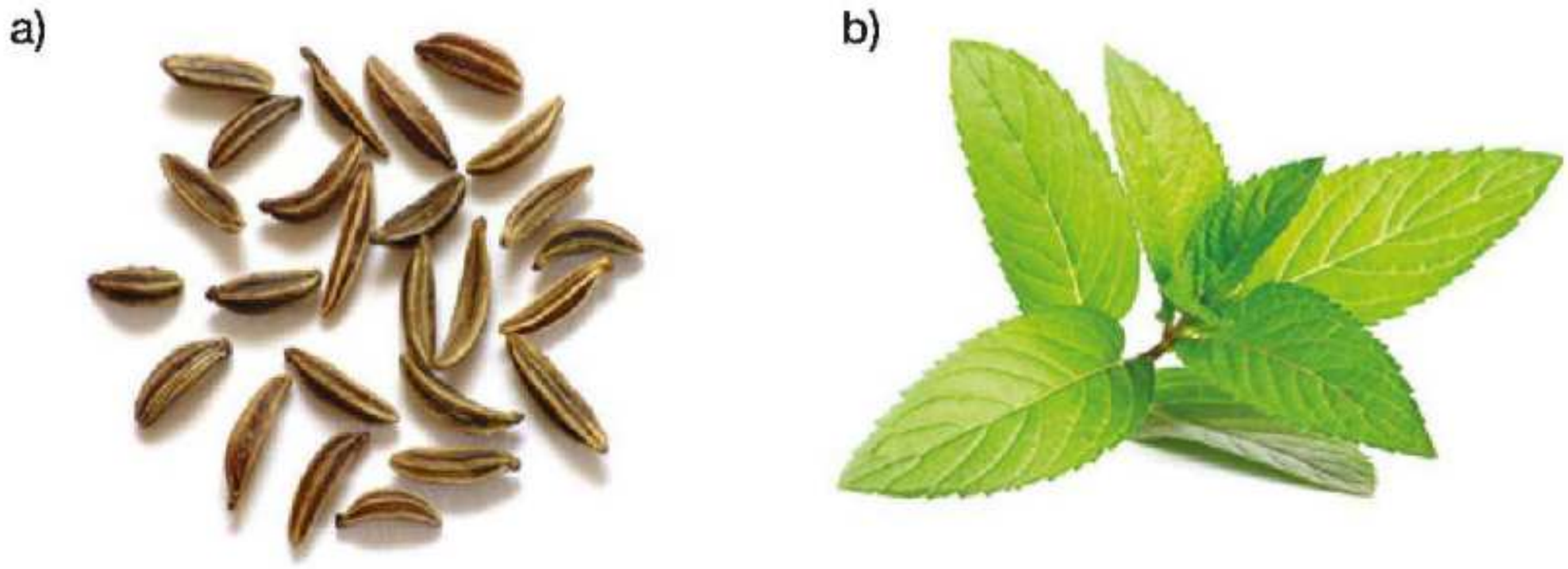
Diastereoizomery – stereoizomery danego związku chemicznego, które nie są względem siebie enancjomerami (odbiciami lustrzanymi).

Cząsteczki 2,3-dichloropentanu oznaczone (1) i (3), (2) i (3), (1) i (4) oraz (2) i (4) nie są parami enancjomerów. Są to tzw. **diastereoizomery, czyli stereoizomery, których cząsteczki nie są swoimi lustrzanymi odbiciami**. Diastereoizomery nie są enancjomerami; mają różne właściwości, a ich cząsteczki różnią się konfiguracją przy niektórych chiralnych atomach węgla. Do diastereoizomerów zaliczają się też izomery *cis-trans* (*Z*, *E*).

Zasadnicza różnica między enancjomerami i diastereoizomerami polega na tym, że **enancjomery mają identyczne właściwości, z wyjątkiem właściwości chiralnych**, np. smak, zapach. Natomiast **diastereoizomery mogą różnić się wszystkimi właściwościami, zarówno chiralnymi**, jak i **achiralnymi**. Mogą więc zachowywać się jak zupełnie różne substancje. Na przykład zapachy związku chemicznego o nazwie zwyczajowej karwon (fot. 138.) są różne w zależności od budowy przestrzennej jego cząsteczki.

wzór półstrukturalny karwonu





Fot. 138. Izomery ketonu o nazwie zwyczajowej karwon różnią się zapachem: a) izomer *S* ma zapach kminku, b) izomer *R* – zapach mięty.

Szczególną odmianą diastereoizomeru jest **odmiana *mezo***. Odmiany *mezo* są to diastereoizomery, które mają płaszczyznę symetrii. Związki te są achiralne, ale mają centra chiralności.

Racemat

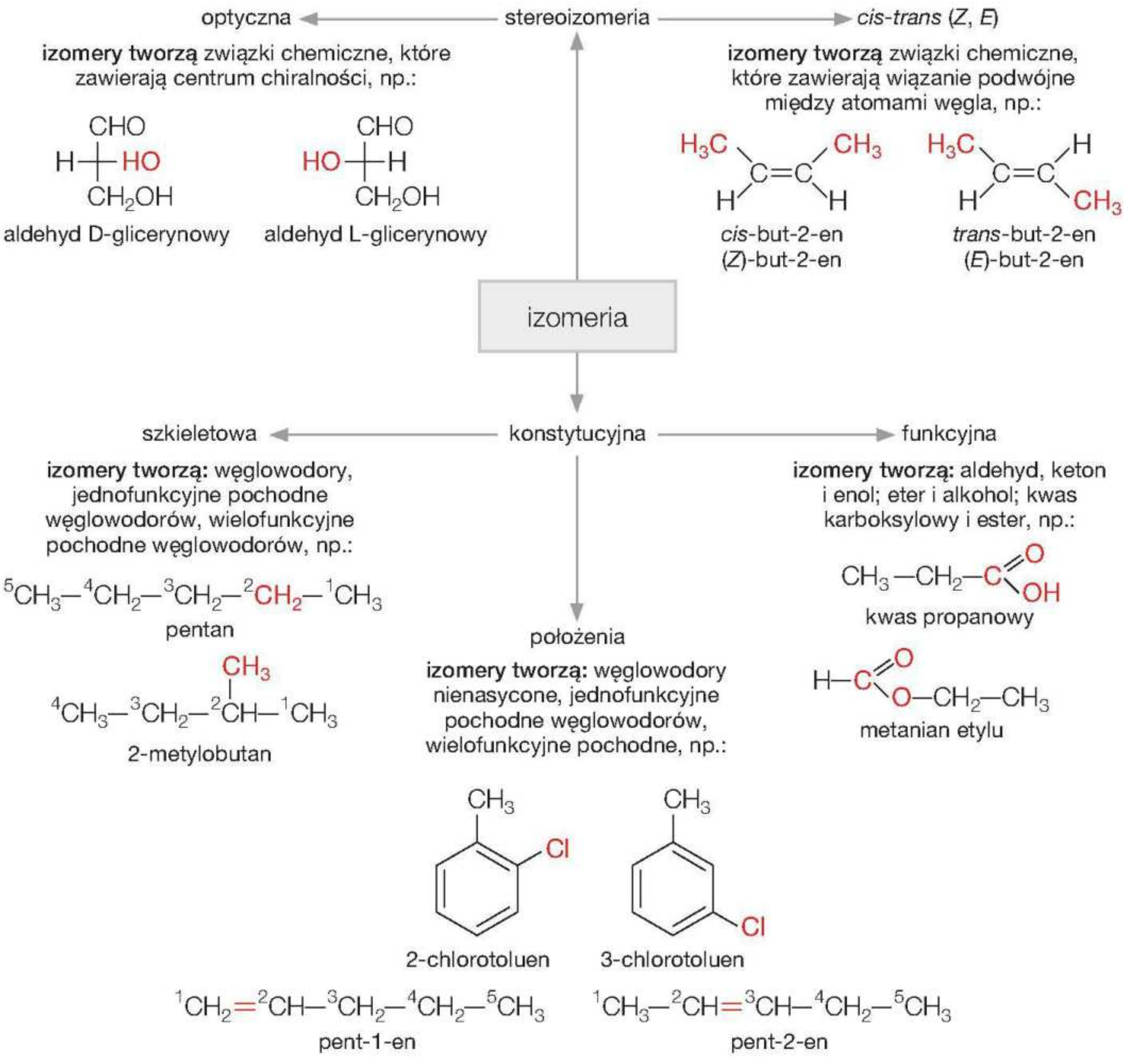
Nie zawsze próbka chiralnego związku chemicznego jest optycznie czynna. W równomolowych mieszaninach enancjomerów danego związku chiralnego nie obserwuje się czynności optycznej.

Jak wiadomo, enancjomery skręcają płaszczyznę polaryzacji światła o taki sam kąt, ale w przeciwnych kierunkach: w prawo (+) i w lewo (–). Gdy w próbce liczba moli obu enancjomerów jest taka sama, wówczas efekty skręcalności płaszczyzny światła spolaryzowanego znoszą się wzajemnie.

Równomolowe mieszaniny enancjomerów noszą nazwę **mieszanin racemicznych** lub **racematów**.

Mieszanina racemiczna (racemat) – równomolowa mieszanina enancjomerów.

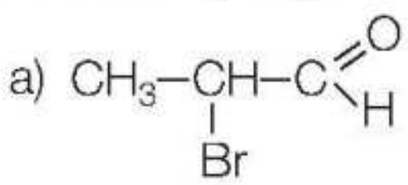
Mapa pojęć – izomeria

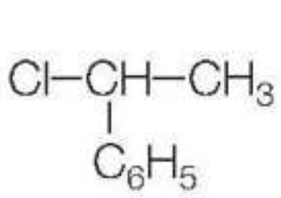


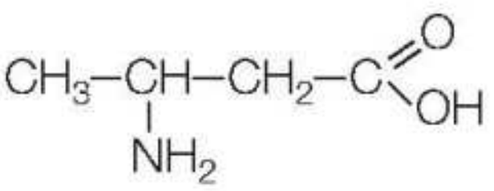
Zadania

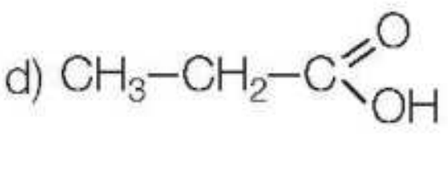
ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Wskaż wzory związków chemicznych, które mogą występować w postaci enancjomerów. Uzasadnij odpowiedź.

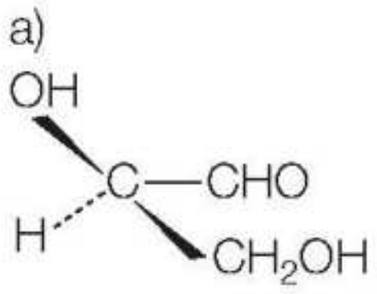
a) 

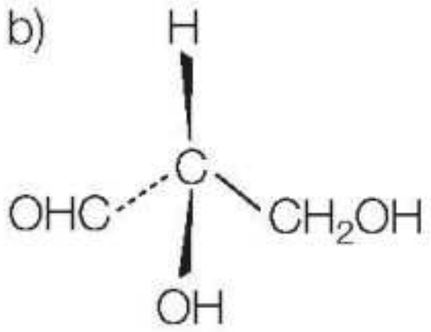
b) 

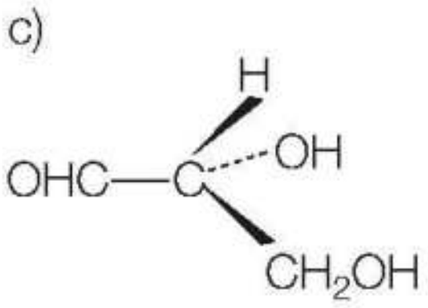
c) 

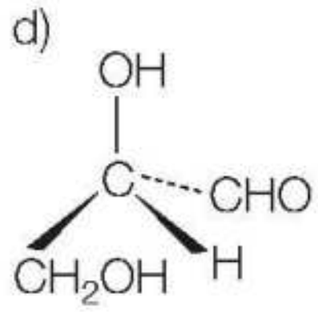
d) 

2. Narysuj wzory projekcyjne Fischera cząsteczek aldehydu glicerynowego przedstawionych za pomocą wzorów perspektywicznych.

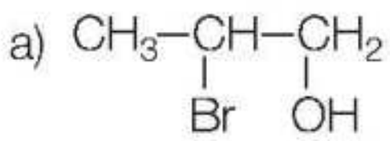
a) 

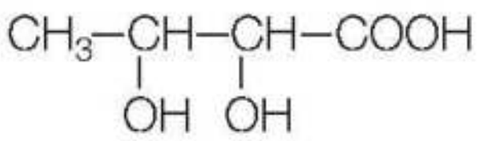
b) 

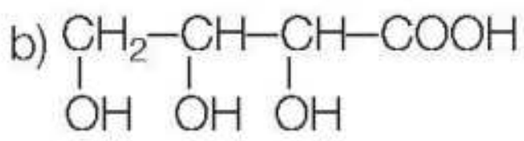
c) 

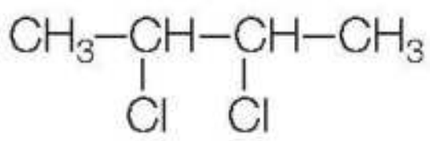
d) 

3. Podaj liczbę stereoizomerów związków chemicznych o podanych wzorach. Odpowiedź uzasadnij.

a) 

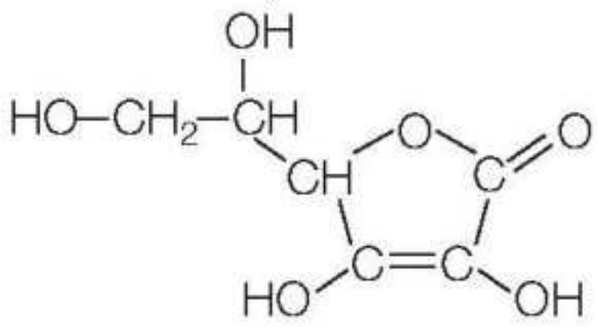
c) 

b) 

d) 

4. Napisz wzory strukturalne jednej pary enancjomerów związku chemicznego o wzorze sumarycznym $C_5H_{12}O$.

5. Witamina C (kwas askorbinowy) to związek chemiczny o wzorze półstrukturalnym:

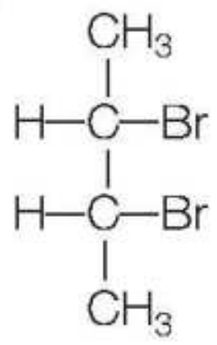


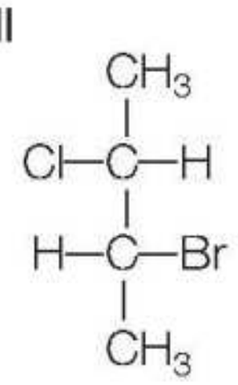
Określ, czy ten związek chemiczny jest optycznie czynny. Odpowiedź uzasadnij.

6. Określ, czy 1,2-dichloroetan zawiera centra chiralności. Odpowiedź uzasadnij.

7. Podaj liczbę centrów chiralności w cząsteczce:
a) 2,3-dichloro-2,3-dimetylopentanu, b) 3-bromo-2,3-dimetyloheksanu.

Informacja do zadań 8. i 9.
Poniżej przedstawiono wzory dwóch fluorowcopochodnych butanu.

I 

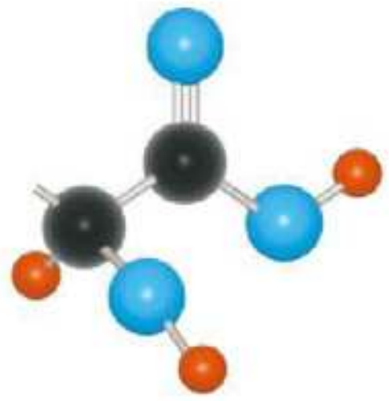
II 

8. Podaj numer związku chemicznego, który nie wykazuje czynności optycznej. Uzasadnij swój wybór.

9. Narysuj wzór półstrukturalny enancjomeru związku optycznie czynnego oraz jego izomeru, który nie wykazuje czynności optycznej.

26. Hydroksykwasy

Hydroksykwasy to związki organiczne, w których cząsteczkach znajdują się **jedna lub kilka grup karboksylowych oraz jedna lub kilka grup hydroksylowych** (rys. 55.).



Rys. 55. Model fragmentu cząsteczki hydroksykwasu.

Modele atomów:
węgla, tlenu, wodoru

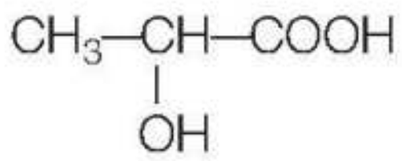
■ Rodzaje hydroksykwasów

Hydroksykwasy dzieli się ze względu na:

- **liczbę grup hydroksylowych** —OH w cząsteczce:

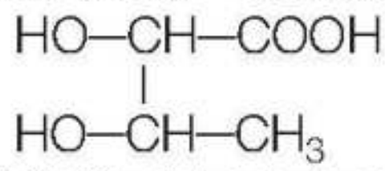
hydroksykwasy

monohydroksylowe
zawierają jedną grupę —OH, np.



kwas 2-hydroksypropanowy

polihydroksylowe
zawierają przynajmniej dwie grupy —OH, np.

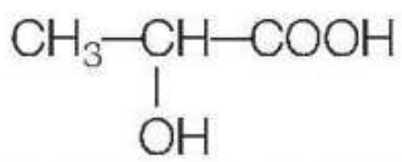


kwas 2,3-dihydroksybutanowy

- **liczbę grup karboksylowych** —COOH w cząsteczce:

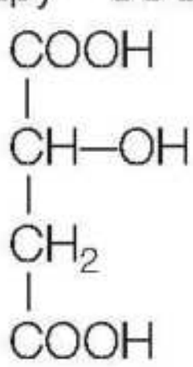
hydroksykwasy

monokarboksylowe
zawierają jedną grupę —COOH, np.



kwas 2-hydroksypropanowy

polikarboksylowe
zawierają przynajmniej dwie grupy —COOH, np.



kwas 2-hydroksybutanodiowy

■ Występowanie hydroksykwasów

O miejscu występowania hydroksykwasów często informują ich nazwy zwyczajowe, np. kwas cytrynowy $C_6H_8O_7$ występuje w cytrynach, a kwas jabłkowy $C_4H_6O_5$ – w jabłkach. Jednym z głównych składników owoców granatu (fot. 139.) jest kwas galusowy $C_7H_6O_5$, który występuje też w liściach herbaty. Z kolei w korze wierzby występuje kwas salicylowy $C_7H_6O_3$ – związek chemiczny zaliczany do hormonów roślinnych (fitohormonów). Hydroksykwasy wpływają także na smak miodu. Występują w nim m.in. kwasy jabłkowy, cytrynowy, glukonowy $C_6H_{12}O_7$, mlekowy $C_3H_6O_3$ i winowy $C_4H_6O_6$.



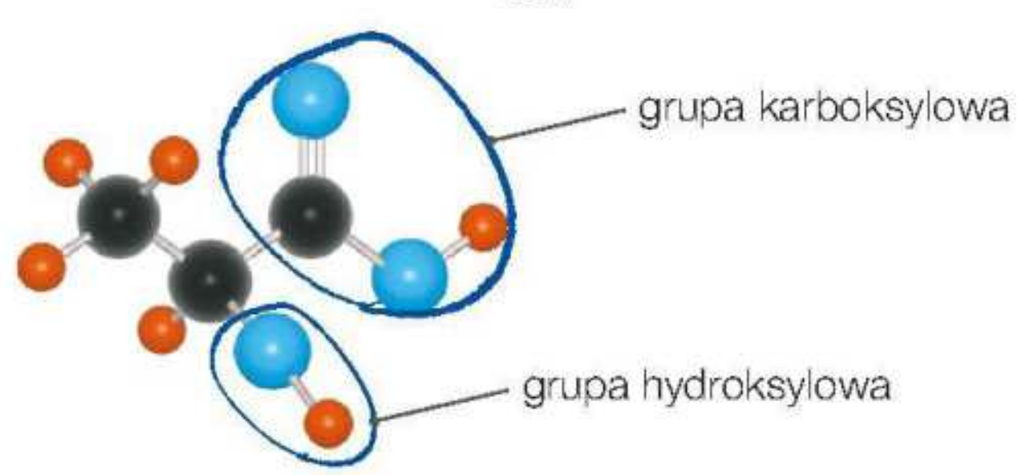
Fot. 139. Owoce granatu są także źródłem polifenoli oraz wielu witamin, np. C, A i E.

Budowa cząsteczek hydroksykwasów

Hydroksykwasy – wielofunkcyjne pochodne węglowodorów zawierające w cząsteczkach dwie grupy funkcyjne: —OH i —COOH.

Hydroksykwasy są pochodnymi węglowodorów, które w cząsteczce zawierają dwie grupy funkcyjne:

- hydroksylową —OH
- karboksylową —C(=O)OH



Modele atomów: węgla, tlenu, wodoru

model cząsteczki kwasu 2-hydroksypropanowego

Wzór ogólny hydroksykwasów:

Wzór ogólny hydroksykwasów

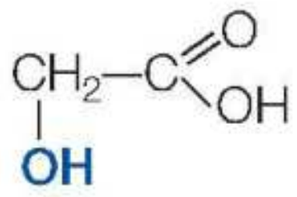
$$(HO)_m—R—(COOH)_n$$

gdzie:
—OH – grupa hydroksylowa,
—COOH – grupa karboksylowa,
—R – grupa alkilowa lub grupa arylowa,
m, n – liczby naturalne; $m, n > 0$.

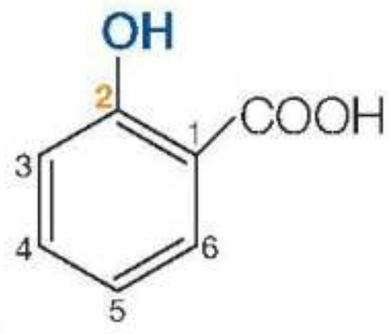
Nazewnictwo hydroksykwasów

2-hydroksykwasy są potocznie nazywane α-hydroksykwasami, a 3-hydroksykwasy – β-hydroksykwasami

Nazwy systematyczne hydroksykwasów monokarboksylowych tworzy się, dodając przedrostek **hydroksy-** i lokant do nazwy systematycznej kwasu karboksylowego, np.:

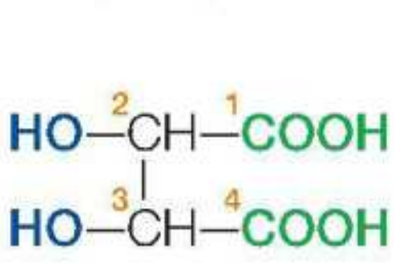


kwas **hydroksy**etanowy
kwas **hydroksy**octowy

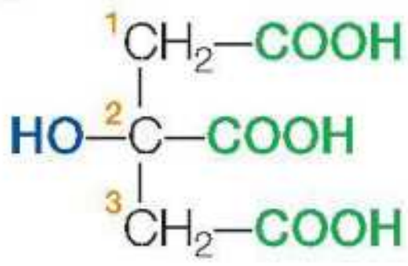


kwas **2-hydroksy**benzenokarboksylowy
kwas **2-hydroksy**benzoesowy

W nazwach systematycznych hydroksykwasów polikarboksylowych uwzględnia się dodatkowo numer atomu węgla, do którego są przyłączone grupy hydroksylowe, oraz krotność grup hydroksylowych i karboksylowych (przedrostki di-, tri- itd.), np.:



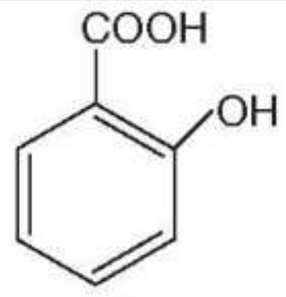
kwas **2,3-dihydroksy**butano**diowy**



kwas **2-hydroksy**propano-**1,2,3-trikarboksylowy**

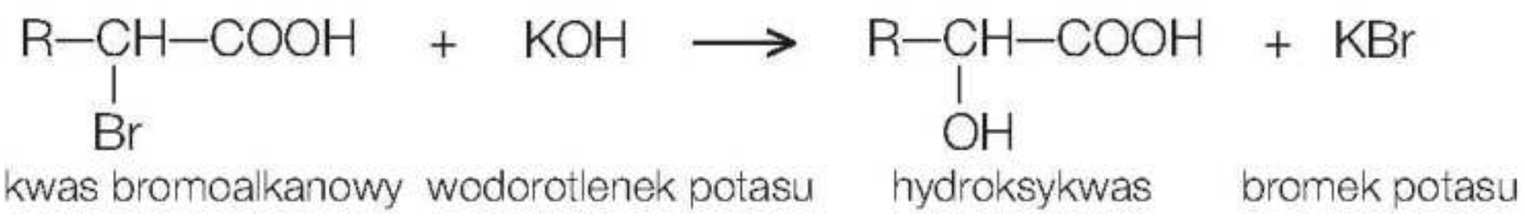
W przypadku hydroksykwasów bardzo często zamiast nazw systematycznych stosuje się nazwy zwyczajowe (tabela 31.).

Tabela 31. Nazwy systematyczne i zwyczajowe wybranych hydroksykwasów

Nazwa hydroksykwasu		Wzór hydroksykwasu	
systematyczna	zwyczajowa	sumaryczny	półstrukturalny
kwas 2-hydroksypropanowy	kwas mlekowy	$C_3H_6O_3$	$CH_3-CH(OH)-COOH$
kwas 2-hydroksybutano-1,4--diowy	kwas jabłkowy	$C_4H_6O_5$	$HOOC-CH(OH)-CH_2-COOH$
kwas 2,3-dihydroksybutanodiowy	kwas winowy	$C_4H_6O_6$	$HOOC-CH(OH)-CH(OH)-COOH$
kwas 2-hydroksypropano-1,2,3--trikarboksylowy	kwas cytrynowy	$C_6H_8O_7$	$HOOC-CH_2-C(OH)(COOH)-CH_2-COOH$
kwas 2-hydroksybenzenokarboksylowy, kwas 2-hydroksybenzoesowy	kwas salicylowy	$C_7H_6O_3$	

Otrzymywanie hydroksykwasów

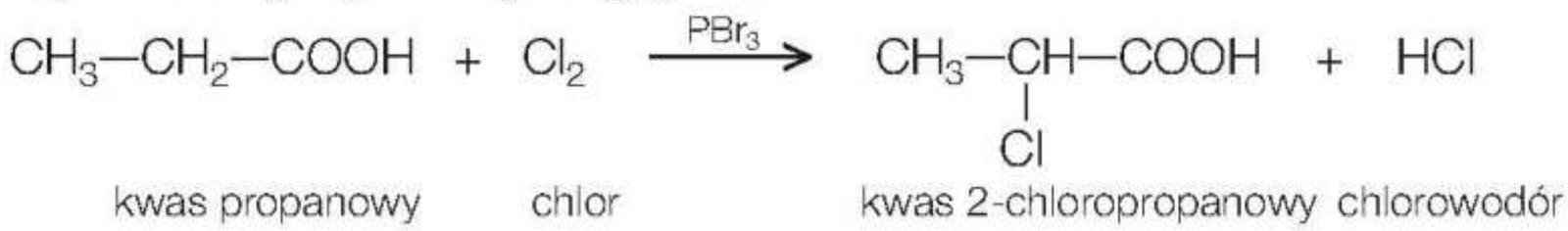
Ogólną metodą otrzymywania **hydroksykwasów alifatycznych** jest reakcja substytucji (podstawienia) atomu fluorowca w kwasie fluorowcokarboksylowym grupą hydroksylową —OH:



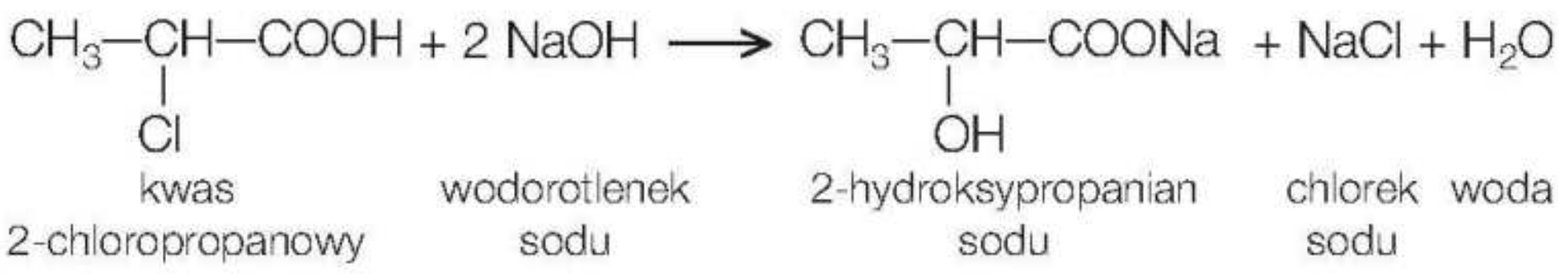
ogólne równanie reakcji otrzymywania hydroksykwasów

Kwas 2-hydroksypropanowy (kwas mlekowy) można otrzymać z kwasu propanowego w trzech etapach:

Etap I. Kwas propanowy reaguje z chlorem:

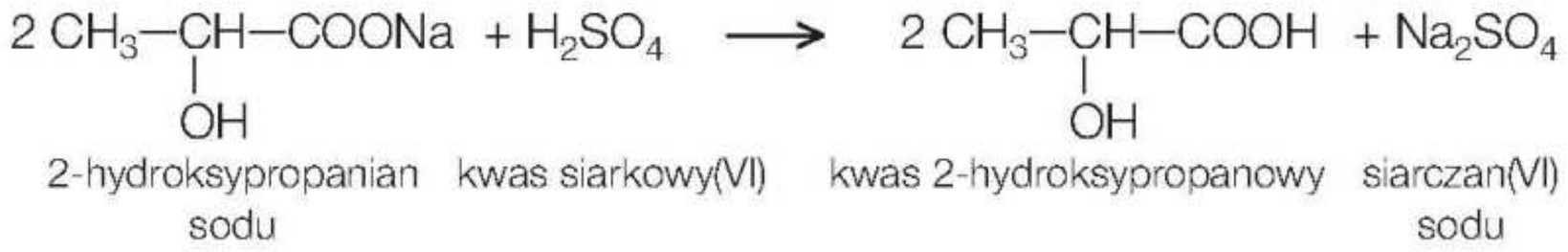


Etap II. Kwas 2-chloropropanowy reaguje z wodorotlenkiem sodu:



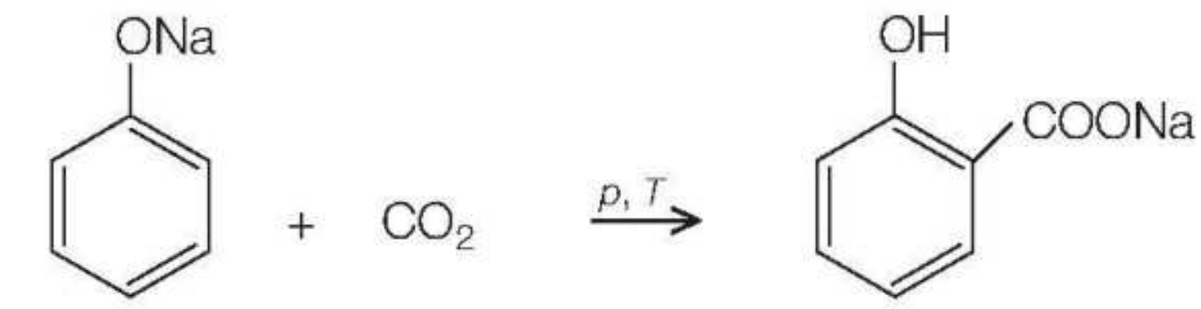
Etap III. 2-hydroksypropanian sodu reaguje z kwasem siarkowym(VI):

otrzymywanie kwasu 2-hydroksypropanowego



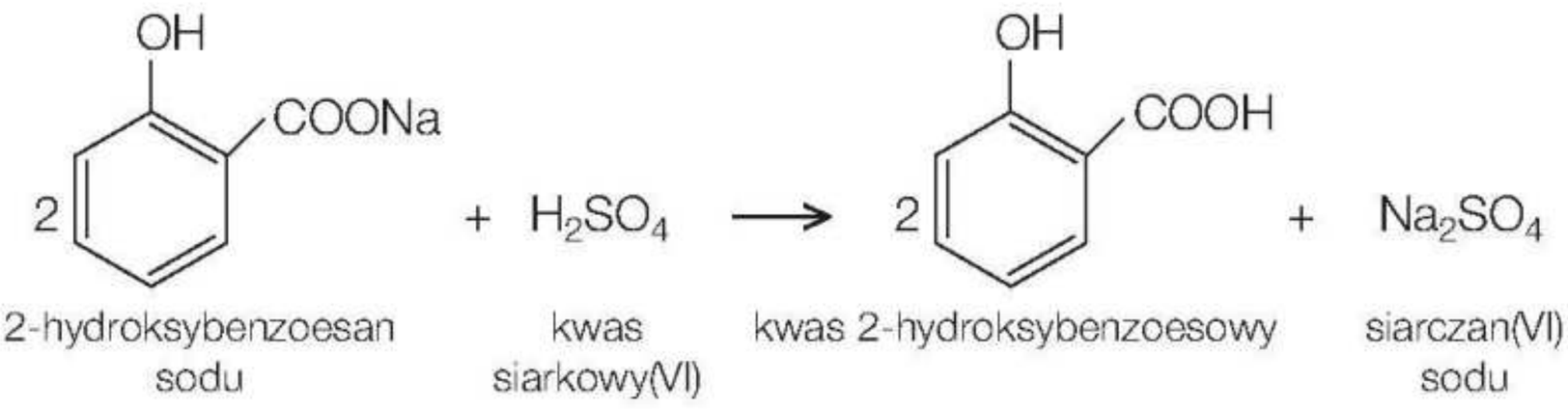
Hydroksykwas aromatyczny – **kwas 2-hydroksybenzoesowy (kwas salicylowy)** – można otrzymać z fenolanu sodu (fenoksylanu sodu) w dwóch etapach:

Etap I. Reakcja fenolanu sodu z tlenkiem węgla(IV):



Etap II. Powstały produkt reaguje z kwasem siarkowym(VI):

otrzymywanie kwasu 2-hydroksybenzoesowego



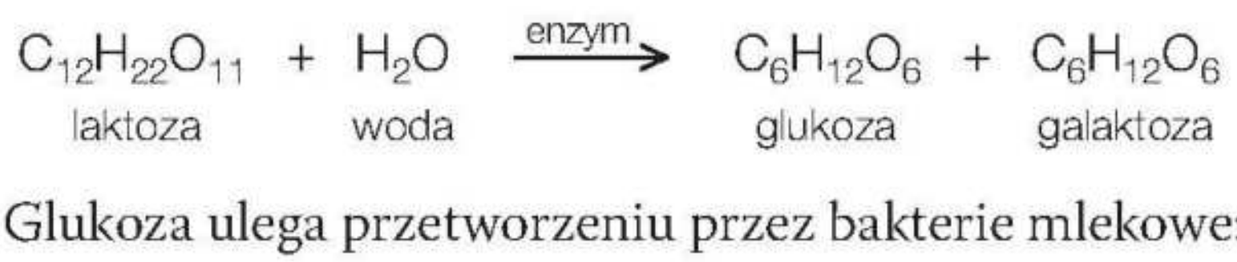
Fermentacja mlekowa

Fermentacja mlekowa – proces zachodzący pod wpływem bakterii kwasu mlekowego, polegający na przemianie monosacharydów w kwas mlekowy.

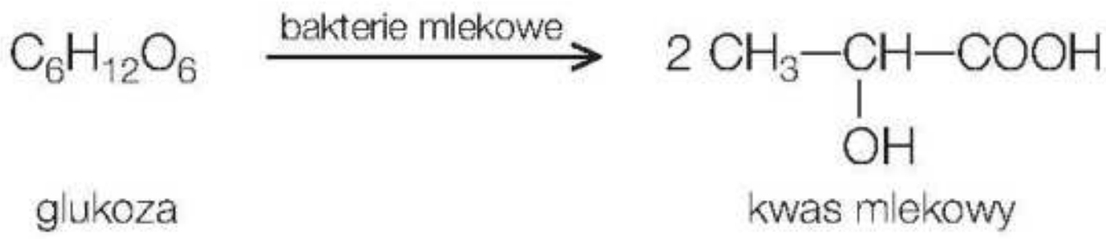
Kwas mlekowy można otrzymać także w wyniku **fermentacji mlekowej**. Proces ten zachodzi pod wpływem enzymów wytwarzanych przez bakterie – pałeczki kwasu mlekowego.

Niektóre sacharydy, np. laktoza (patrz s. 386), która jest składnikiem mleka, ulega przemianom prowadzącym do powstania kwasu mlekowego. Fermentacja mlekowa zachodzi w dwóch etapach:

Etap I. Odpowiedni enzym przekształca laktozę w monosacharydy:



Etap II. Glukoza ulega przetworzeniu przez bakterie mlekowe:



W drugim etapie fermentacji mlekowej powstają związki chemiczne, których roztwory mają odczyn kwasowy – powoduje to zmianę słodkiego smaku mleka na kwaśny. Z upływem czasu mleko rozwarstwia się, tworząc dwie fazy (fot. 140.).



w kwaśnym mleku powstają dwie fazy: przezroczysta na dole i biała, galaretowata na górze

Fot. 140. Słodkie mleko jest mieszaniną jednorodną, a kwaśne – mieszaniną niejednorodną.

Dolna, klarowna część sfermentowanego mleka to serwatka – roztwór laktozy, białek, soli mineralnych i niewielkiej ilości tłuszczu. Galaretowata warstwa nad serwatką to twaróg.

W wyniku kilkugodzinnej fermentacji mlekowej z udziałem bakterii w temp. 40–50°C otrzymuje się także jogurty. Bakterie rozmnażają się, co powoduje gęstnienie mleka. Zmniejszają one także zawartość laktozy, przekształcając ją w kwas mlekowy. Dlatego jogurt mogą jeść osoby cierpiące na nietolerancję laktozy. Jogurt zawiera dużo białek, wapnia i witamin z grupy B.

Proces fermentacji mlekowej zachodzi także podczas wyrabiania żytniego pieczywa (fot. 141.). Pod wpływem bakterii mlekowych zawarta w mące glukoza jest przekształcana w kwas mlekowy.



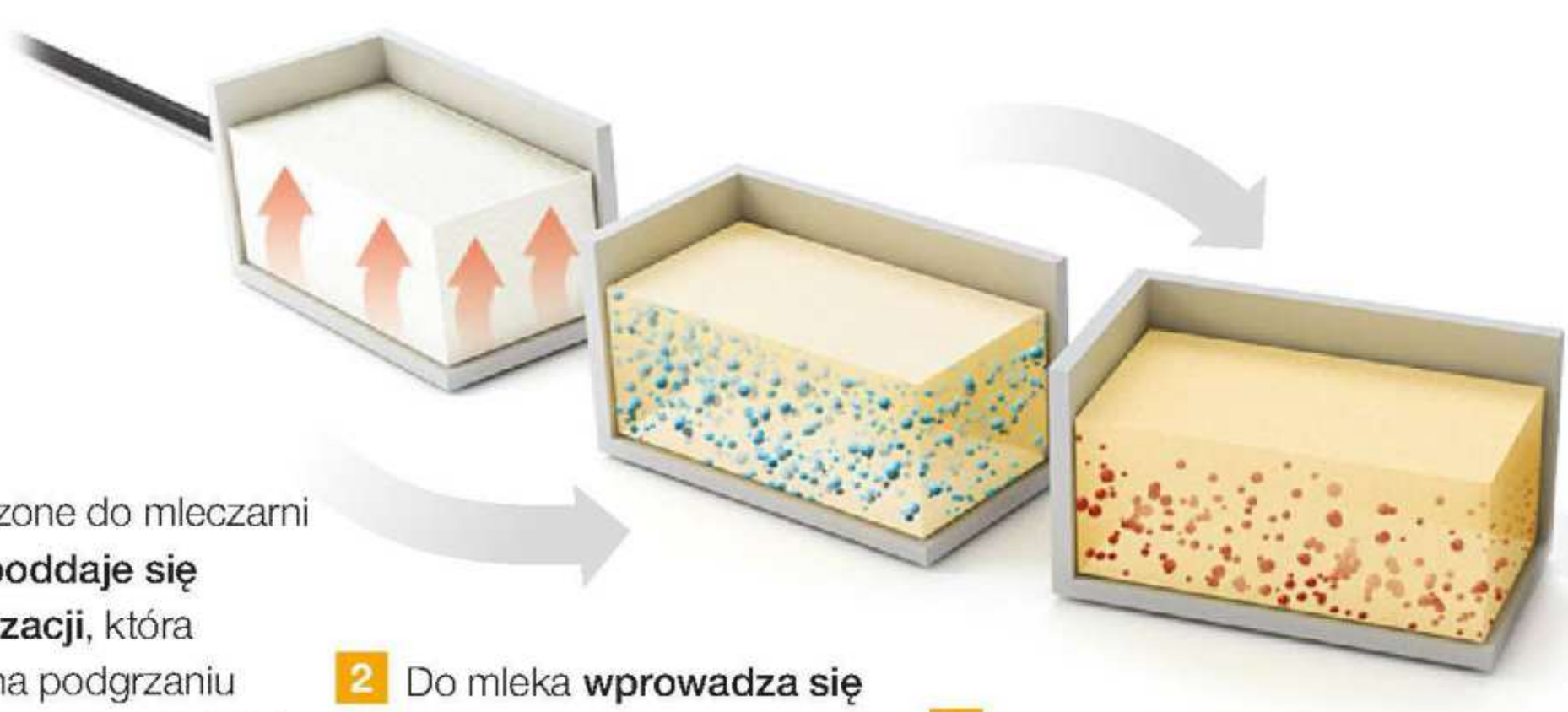
zwiększona kwasowość pieczywa utrudnia rozwój np. pleśni

Fot. 141. Bakterie mlekowe wchodzą w skład zakwasów chlebowych.

Krok po kroku

Proces fermentacji mlekowej

Fermentacja mlekowa to **proces przekształcania sacharydów**, np. laktozy, **w kwas mlekowy** (kwas 2-hydroksypropanowy) **pod wpływem enzymów** wytwarzanych przez bakterie – pałeczki kwasu mlekowego. Proces ten jest wykorzystywany m.in. w przemyśle mleczarskim do produkcji serów. Aby powstał ser o właściwym smaku, zapachu i kształcie, mleko musi przejść kilka etapów produkcji. Jest to proces długotrwały.



1 Dostarczone do mleczarni **mleko poddaje się pasteryzacji**, która polega na podgrzaniu mleka do temp. ok. 80°C, ogrzewaniu go przez kilkanaście sekund w tej temperaturze, a następnie szybkim ochłodzeniu. **Ten proces ma na celu dezaktywację** wszystkich **mikroorganizmów**.

2 Do mleka **wprowadza się** specjalne **bakterie** – pałeczki kwasu mlekowego, **które powodują fermentację** mlekową. Powstaje kwas mlekowy, mleko gęstnieje i zyskuje kwaśny smak.

3 Po ogrzaniu mleka **dodaje się** do niego **podpuszczkę** – enzym trawienny ze śluzówki żołądka cielęcego. **Powoduje on częściowe ścinanie się mleka** – tworzy się skrzep. Jako podpuszczki stosuje się także sok figowy oraz podpuszczki syntetyczne.

W jaki sposób wykorzystuje się fermentację mlekową?

Fermentacja mlekowa znalazła zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu spożywczego, m.in. w przemyśle warzywnym, mleczarskim, piekarniczym oraz mięsnym.



◀ **Kiszenie warzyw** to sposób na przedłużenie ich trwałości i uzyskanie produktów o nowych walorach smakowych. Oprócz kapusty czy ogórków kisić można też np. rzodkiewki.

Proces fermentacji mlekowej zachodzi również podczas dojrzewania **surowych wędlin**, np. salami. ▶



Krążki sera dojrzewają w specjalnych pomieszczeniach, w temp. 8–24°C i przy wilgotności powietrza (zawartości pary wodnej w powietrzu) 85–95%. **Jakość i smak** różnych gatunków sera **zależą od czasu dojrzewania, pochodzenia mleka, dodatkowych zabiegów** przeprowadzonych podczas dojrzewania oraz dodatków.



4 Skrzep **rozdrabnia się**, aby łatwiej **oddzielić od niego serwatkę**. Serwatkę przerabia się na karmę dla zwierząt.



5 Do masy serowej **dodaje się sól i usuwa resztki serwatki**, po czym nadaje się jej odpowiedni kształt.



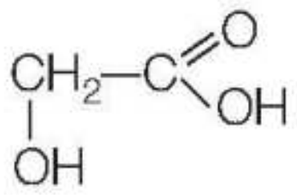
Proces fermentacji mlekowej wykorzystywany jest do zakwaszania ciasta podczas wyrobu **pieczywa z mąki żytniej**.



W zależności od użytych dodatków z mleka otrzymuje się nie tylko różnego rodzaju sery, lecz również **jogurty**, **kefiry** i **kwaśne mleko**.

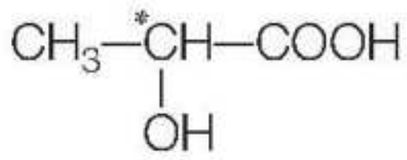
Izomeria optyczna hydroksykwasów

Najprostszym hydroksykwasem jest **kwas hydroksyetanowy** (hydroksyoctowy):



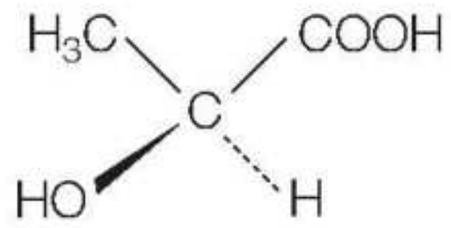
Cząsteczka tego związku chemicznego nie zawiera centrum chiralności – nie jest więc związkiem chiralnym i nie wykazuje czynności optycznej.

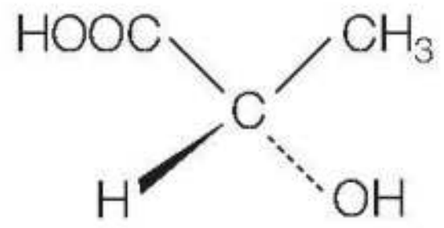
Homologiem kwasu hydroksyetanowego jest kwas **2-hydroksypropanowy** (mlekowy), który jest związkiem chiralnym i wykazuje czynność optyczną, ponieważ w jego cząsteczce znajduje się chiralny atom węgla:



Wzory perspektywiczne enancjomerów kwasu 2-hydroksypropanowego (mlekowego)

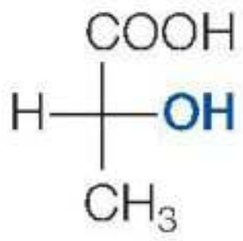
Wzory stereochemiczne (perspektywiczne) enancjomerów kwasu mlekowego mają postać:



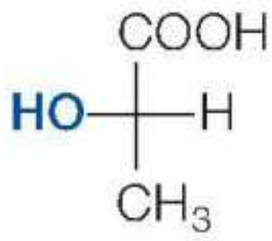


Enancjomery kwasu mlekowego zapisane za pomocą wzorów projekcyjnych Fischera mają postać:

(1)



(2)

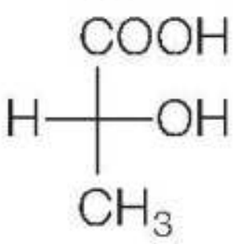


kwas 2-hydroksypropanowy

Właściwości enancjomerów kwasu mlekowego

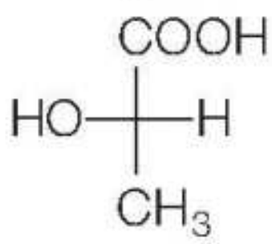
Doświadczalnie stwierdzono, że związek chemiczny o wzorze (1) skręca płaszczyznę polaryzacji światła o 4° w lewo (–), a związek chemiczny o wzorze (2) skręca płaszczyznę polaryzacji światła o 4° w prawo (+). Pozostałe właściwości tych enancjomerów są takie same. Enancjomer (1), mający w projekcji Fischera grupę hydroksylową po prawej stronie, jest oznaczany literą D, a enancjomer (2), mający tę grupę po lewej stronie, oznacza się literą L:

(1)



kwas D-(–)-mlekowy

(2)



kwas L-(+)-mlekowy

kwas 2-hydroksypropanowy

Znak (–) oznacza, że płaszczyzna polaryzacji światła, które przejdzie przez roztwór tego enancjomeru kwasu mlekowego, odchyli się o pewien kąt w lewo, a litera D oznacza, że jest to związek chemiczny o konfiguracji względnej D.

Natomiast znak (+) oznacza, że płaszczyzna polaryzacji światła, które przejdzie przez roztwór tego enancjomeru kwasu mlekowego, odchyli się o pewien kąt w prawo, a litera L oznacza, że jest to związek chemiczny o konfiguracji względnej L (fot. 142.).



Fot. 142. Kwas D-(–)--mlekowy jest produktem fermentacji mlekowej sacharydów, m.in. w procesach kiszenia kapusty, ogórków czy mleka. **Kwas L-(+)-mlekowy** powstaje podczas pracy mięśni, powodując tzw. zakwasy.

Właściwości hydroksykwasów

Hydroksykwasy są najczęściej substancjami stałymi o budowie krystalicznej, na ogół dobrze rozpuszczalnymi w wodzie. Ze względu na występowanie wiązań wodorowych między cząsteczkami hydroksykwasów mają one wysokie temperatury topnienia (tabela 32.) i wrzenia.

Tabela 32. Właściwości fizyczne wybranych hydroksykwasów

Nazwa hydroksykwasu	kwas mlekowy	kwas salicylowy
Stan skupienia w temperaturze pokojowej	lepka ciecz	krystaliczna substancja stała
Barwa	bezbarwny	bezbarwny
Temperatura topnienia*, °C	18°C (mieszanina racemiczna)	159°C
Rozpuszczalność w wodzie	nieograniczona	0,2 g/100 g wody (w temp. 20°C)

* Temperatury topnienia wyznaczone dla p = 1013 hPa.

Ze względu na obecność dwóch różnych grup funkcyjnych cząsteczki hydroksykwasów ulegają reakcjom charakterystycznym dla kwasów karboksylowych oraz alkoholi lub fenoli:

reakcje hydroksykwasów

zawierają grupę hydroksylową, więc:
- reagują z metalami aktywnymi chemicznie
- ulegają reakcji estryfikacji z odpowiednim kwasem karboksylowym
- ulegają odwodnieniu

zawierają grupę karboksylową, więc:
- reagują z metalami aktywnymi, tlenkami metali, wodorotlenkami
- ulegają reakcji estryfikacji z odpowiednim alkoholem
- ulegają dekarboksylacji

Dzięki obecności dwóch grup funkcyjnych hydroksykwasy mogą ulegać reakcjom dimeryzacji i polikondensacji.

Zastosowania

Hydroksykwasy

Najbardziej znanymi hydroksykwasami są wykorzystywane w kosmetyce kwasy AHA (α-hydroksykwasy), BHA (β-hydroksykwasy) oraz PHA (polihydroksykwasy).







■ Przemysł kosmetyczny

Kwasy AHA (np. mlekowy, cytrynowy) i BHA (np. kwas salicylowy) ze względu na działanie nawilżające i złuszczające są **składnikami kremów do stóp**.

■ Przemysł farmaceutyczny

Kwas salicylowy ma działanie przeciwbakteryjne i przeciwgrzybiczne, dlatego jest wykorzystywany do produkcji środka dezynfekcyjnego – **spirytusu salicylowego**.

■ Przemysł spożywczy

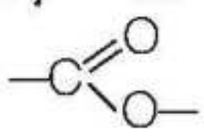
W produkcji soków owocowych jako substancję konserwującą stosuje się kwas jabłkowy, a także kwas mlekowy, który jednocześnie zapobiega rozwojowi grzybów.

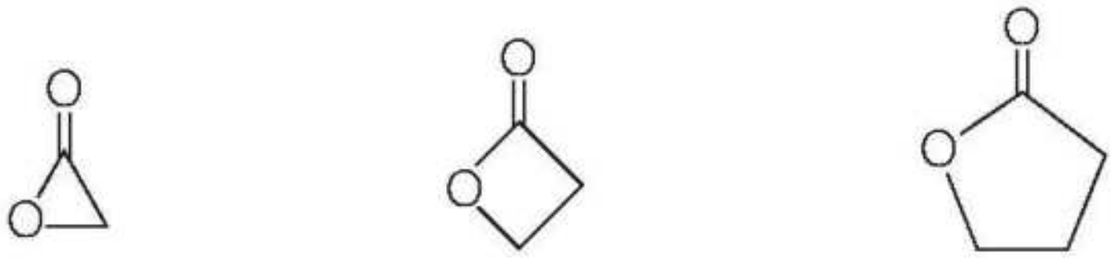
Chemia w medycynie

Produkt reakcji estryfikacji kwasu salicylowego kwasem etanowym – kwas acetylosalicylowy, szerzej znany jako aspiryna, jest jednym z najpowszechniej stosowanych **leków przeciwbólowych, przeciwzapalnych i przeciwgorączkowych**. Podaje się go zazwyczaj w pierwszej fazie przeziębienia. Aspiryna działa również przeciwzakrzepowo – powoduje rozrzedzenie krwi i zapobiega powstawaniu skrzepów.

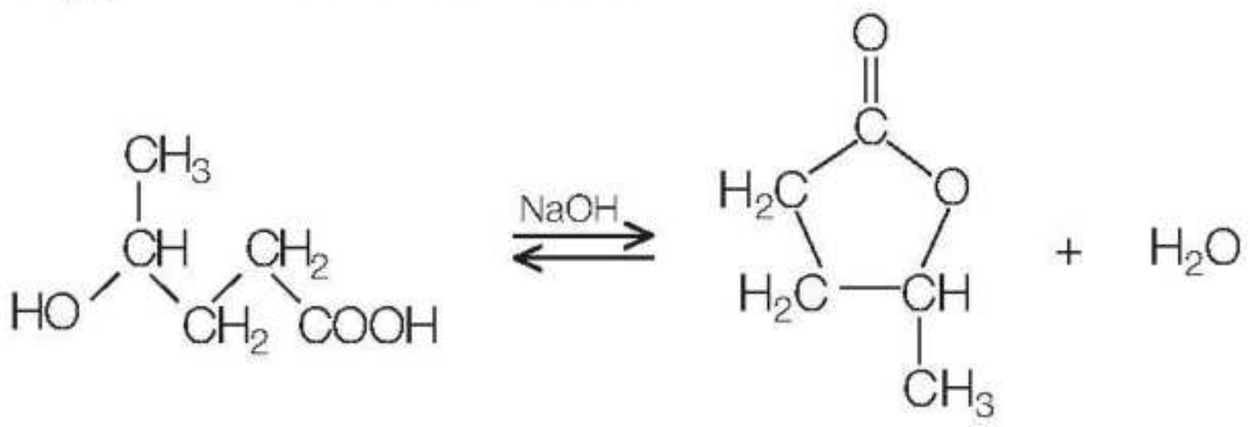


Laktony i laktydy

W wyniku reakcji zachodzącej między grupami hydroksylową a karboksylową tej samej cząsteczki hydroksykwasu powstają **laktony** – wewnątrzcząsteczkowe estry hydroksykwasów. Grupa estrowa  występuje w laktonach w ugrupowaniu cyklicznym, np.:



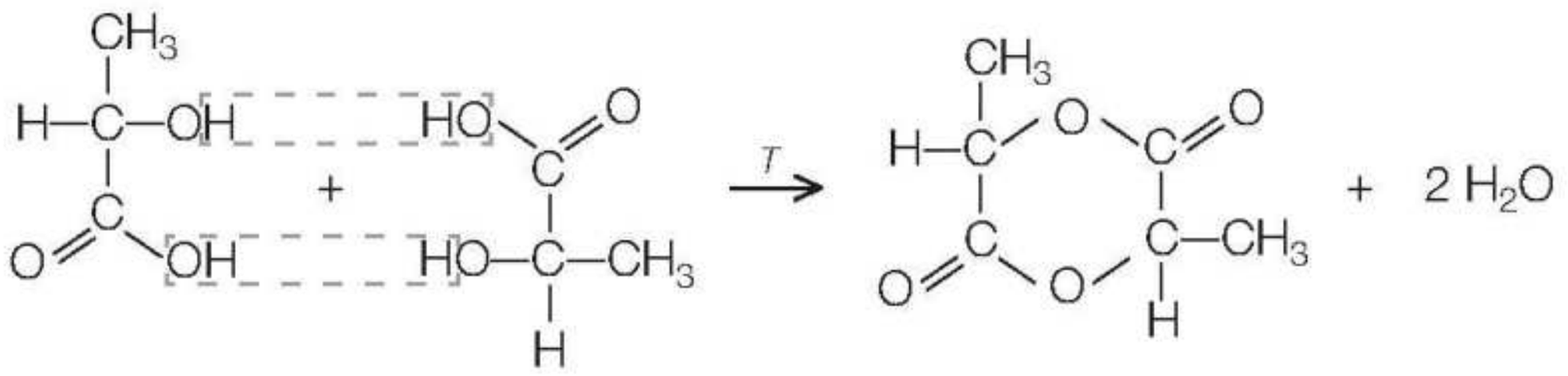
Przebieg reakcji estryfikacji wewnątrzcząsteczkowej, której produktami są laktony, przedstawia równanie:



W wyniku reakcji odwrotnej do estryfikacji – hydrolizy laktonów – otrzymywane są odpowiednie hydroksykwasy.

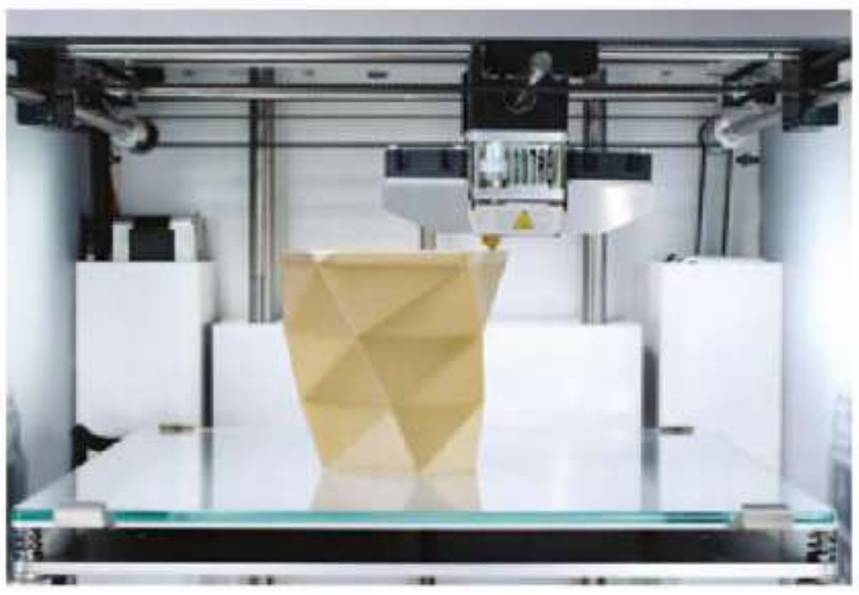
Laktony są stosowane jako monomery w reakcji syntezy polilaktonów, nazywanych także poliestrami (patrz s. 258), oraz do produkcji lakierów i farb do zdobienia szkła.

Kolejną grupą heterocyklicznych związków organicznych zaliczanych do estrów są **laktydy** – diestry hydroksykwasów, np.:



kwas mlekowy kwas mlekowy laktyd kwasu mlekowego woda

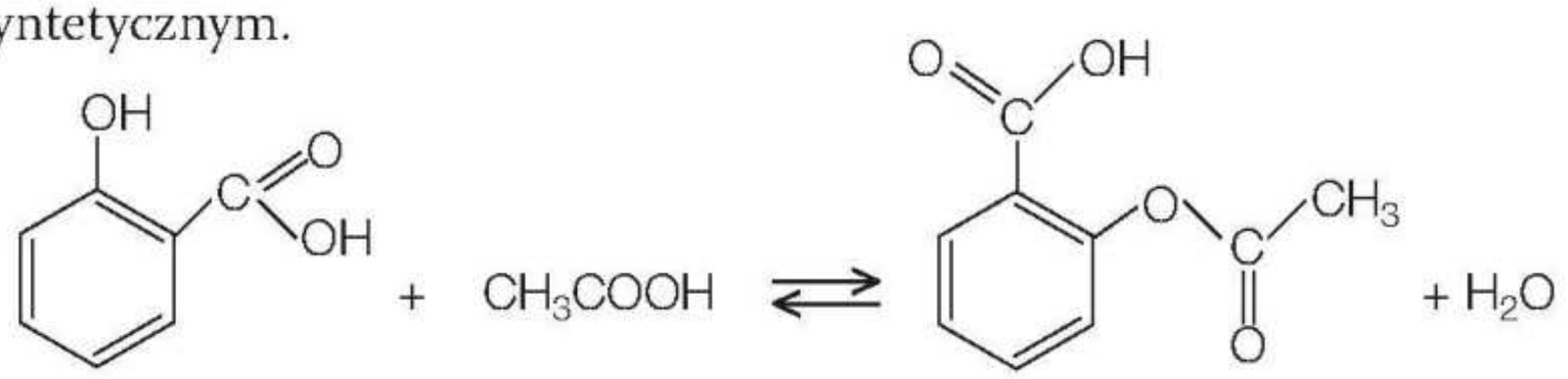
W wyniku polimeryzacji laktydu kwasu mlekowego powstaje polilaktyd (fot. 143.) – tworzywo biodegradowalne stosowane do produkcji wyrobów medycznych, np. nici chirurgicznych, implantów dentystycznych.



Fot. 143. Polilaktyd kwasu mlekowego wykorzystywany jest m.in. jako tworzywo do druku 3D.

Działanie kwasu acetylosalicylowego

Produktem reakcji estryfikacji kwasu 2-hydroksybenzoesowego (salicylowego) z kwasem etanowym (octowym) jest kwas 2-acetoksybenzoesowy, nazywany **kwasem acetylosalicylowym** (fot. 144.). Aspiryna – otrzymana w 1887 r. przez Felixa Hoffmanna – była pierwszym lekiem syntetycznym.

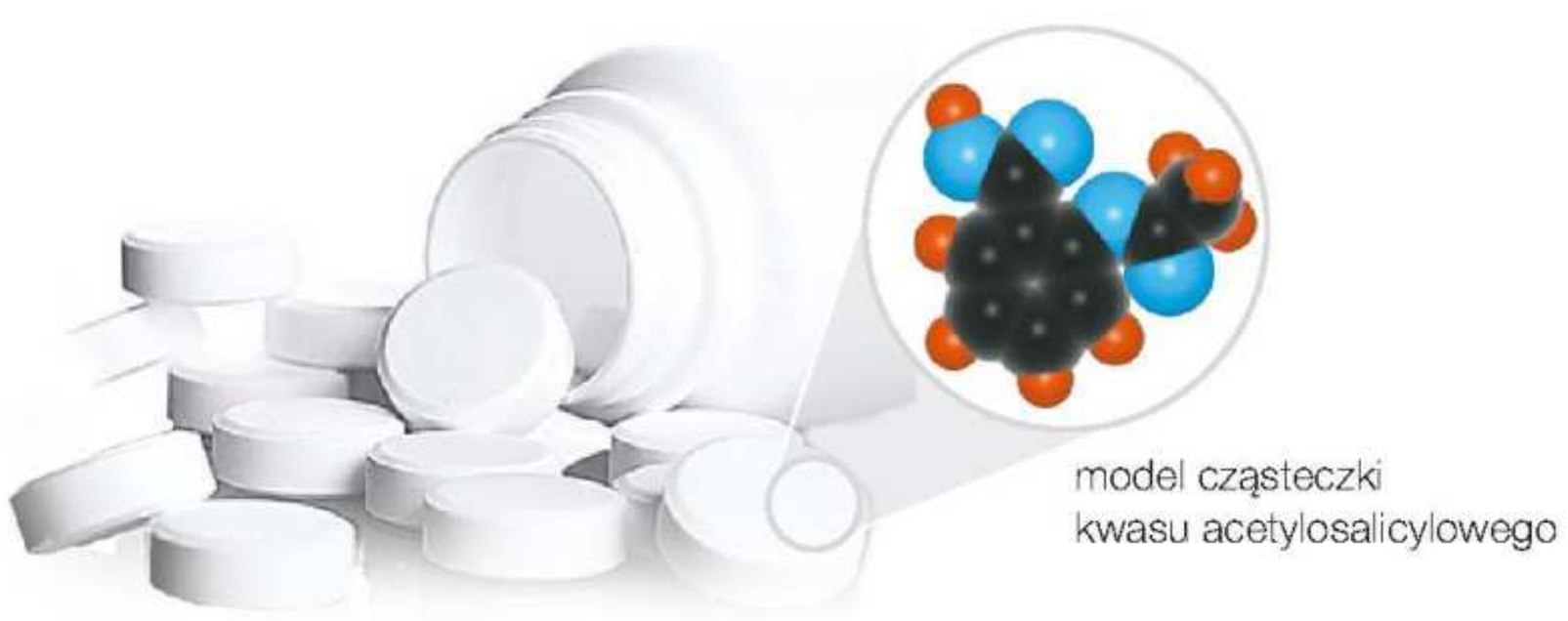


kwas 2-hydroksybenzoesowy (kwas salicylowy) | kwas etanowy (kwas octowy) | kwas 2-acetoksybenzoesowy (kwas acetylosalicylowy) | woda

Leki – mieszaniny substancji leczniczej i substancji pomocniczych – nadających smak, barwę i ułatwiających uzyskanie określonej formy leku.

Kwas acetylosalicylowy to jeden z najczęściej stosowanych **leków** przeciwgorączkowych i przeciwbólowych. Hamuje powstawanie związków chemicznych, które biorą udział m.in. w przekazywaniu bólu oraz powstawaniu gorączki. Działa też przeciwzakrzepowo – ogranicza sklejanie się płytek krwi, czyli jej krzepnięcie. Dzięki temu zmniejsza ryzyko zawału serca i udaru mózgu. Jego nadużywanie grozi jednak krwotokiem.

Nadużywanie kwasu acetylosalicylowego jest szkodliwe dla organizmu.



Modele atomów:
węgla, tlenu, wodoru

Fot. 144. Nazwy handlowe kwasu acetylosalicylowego to **aspiryna** i **polopiryna**.

Działanie lecznicze kwasu acetylosalicylowego, podobnie jak innych substancji leczniczych, zależy od jego **dawki**. Tabletka aspiryny lub polopiryny stosowana jako lek przeciwgorączkowy i przeciwbólowy zawiera 300–500 mg kwasu acetylosalicylowego. Natomiast w profilaktyce przeciwzawałowej stosuje się dawkę 30–150 mg tego kwasu. Małe ilości kwasu acetylosalicylowego nie działają przeciwbólowo ani przeciwgorączkowo.

Substancje lecznicze – pierwiastki lub związki chemiczne, które modyfikują czynności organizmu, tak aby zapobiec chorobie lub ją wyleczyć. Niszczą też mikroorganizmy (wirusy, bakterie, grzyby itp.) wywołujące choroby.

Działanie substancji leczniczych

Wiele substancji leczniczych to związki organiczne, których skuteczność wchłaniania się do organizmu zależy od ich ilości, sposobu podania oraz **odczynu środowiska**. Podobnie jest w przypadku kwasu acetylosalicylowego. Aspiryna jest lekiem podawanym doustnie (patrz tabela 33., s. 339), przemieszcza się przewodem pokarmowym, a do właściwej substancji leczniczej rozkłada się w środowisku kwasowym. Powinno ono występować

dopiero w żołądku, jednak napoje, które mają odczyn kwasowy, wytwarzają takie środowisko już w jamie ustnej. Inne napoje, takie jak kawa czy herbata, zawierają związki chemiczne (kofeinę i teinę), które zakłócają działanie leków lub je potęgują. Skutki tego mogą być bardzo niekorzystne dla zdrowia, dlatego leki należy popijać niegazowaną wodą.

Tabela 33. Sposoby podania leku a szybkość jego działania

Sposób wprowadzenia substancji leczniczej	Charakterystyka
układ krwionośny	Zapewnia najszybsze działanie, ponieważ leki podane w formie zastrzyków dożylnych lub kroplówek trafiają wprost do krwi. Za jej pośrednictwem bardzo szybko są rozprowadzane do wszystkich narządów organizmu – działają zaraz po podaniu.
układ oddechowy	Szybkie działanie mają również leki wziewne. Wdychanie leku sprawia, że substancja lecznicza dociera do krwi przez płuca.
układ pokarmowy	Leki podane doustnie działają wolniej, gdyż nie trafiają bezpośrednio do krwiobiegu. Przemieszczają się przewodem pokarmowym i są wchłaniane do krwi dopiero w jelicie cienkim.
podskórnie lub domięśniowo	Wstrzyknięcie leku podskórnie lub domięśniowo powoduje, że przenika on do krwiobiegu wolniej niż dawka podana wprost do krwi, ale szybciej niż przez układ pokarmowy.
aplikacja na skórę	W postaci plastrów, maści oraz żeli podaje się głównie leki działające antyseptycznie i antyalergicznie. Nie przenikają one do głębszych warstw skóry ani do krwiobiegu, lecz działają natychmiast w miejscu zaaplikowania. W formie plastrów podaje się też czasem witaminy, niektóre hormony i leki przeciwbólowe, które przenikają do krwiobiegu powoli i stopniowo.

Dawka substancji decyduje o tym, jaki wpływ ta substancja będzie miała na organizm (tabela 34.). Porcja soli kuchennej, która u dorosłego człowieka co najwyżej zwiększy pragnienie, u niemowlęcia może poważnie zaburzyć równowagę płynów ustrojowych i doprowadzić do śmierci. Z tego powodu podanie dawki substancji tylko w gramach czy mililitrach nie wystarczy, gdyż ta sama substancja działa na każdy organizm inaczej. Jej skuteczność ma też związek z masą ciała (fot. 145.). Istotny jest również stan zdrowia pacjenta. Kilka gramów cukru nie stanowi żadnego zagrożenia dla zdrowego człowieka, ale może być niebezpieczne dla osoby chorej na cukrzycę (diabetyka).

Tabela 34. Oznaczenie szkodliwości substancji chemicznych

Rodzaje dawek	Charakterystyka
dawka minimalna **DM** (łac. *dosis minima*)	ilość substancji wywołująca pierwsze dostrzegalne zmiany w organizmie
dawka lecznicza **DC** (łac. *dosis therapeutica seu curativa*)	ilość substancji powodująca działanie lecznicze (dawka leku)
dawka toksyczna **DT** (łac. *dosis toxica*)	ilość substancji wywołująca wyraźne zatrucie organizmu
dawka śmiertelna średnia $\mathbf{LD_{50}}$ (ang. *lethal dose*)	średnia ilość substancji, która powoduje śmierć połowy członków badanej grupy

dawki roztworów określa się w mililitrach (centymetrach sześciennych)



Fot. 145. Dawki określa się w jednostkach masy związku chemicznego na jednostkę masy ciała organizmu, tj. w $\frac{mg}{kg}$ lub $\frac{\mu g}{kg}$.

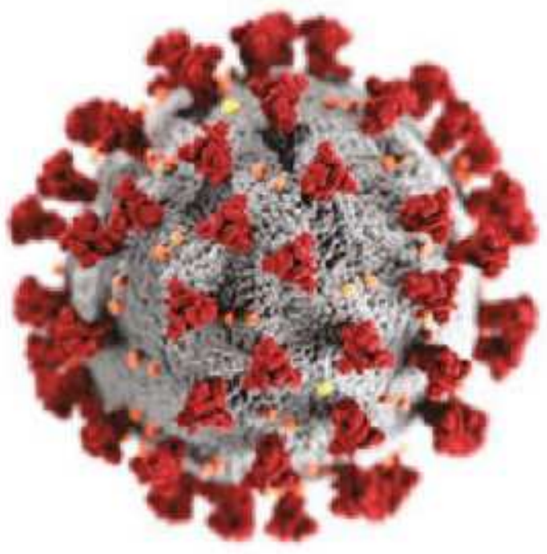
Działanie substancji zależy również od jej rozpuszczalności w wodzie, ponieważ organizmy składają się w większości z roztworów wodnych i koloidów. Związki chemiczne, które w wodzie ulegają dysocjacji, wnikają do organizmu w postaci jonów i działają silniej.

Od leków, podobnie jak od innych substancji, można się uzależnić. Jest to **lekozależność**, nazywana też **lekomanią**. Nadużywanie leków prowadzi do ogólnego zatrucia organizmu. Najczęściej dochodzi do zatruć lekami nasennymi, rzadziej uspokajającymi i psychotropowymi. Inną grupę nadużywanych leków stanowią substancje zwane potocznie **sterydami anabolicznymi** lub **anabolikami**. Są to pochodne testosteronu – męskiego hormonu płciowego. Ich działanie polega na wzmożeniu syntezy białek, zwiększeniu tempa przyrostu masy, siły i wytrzymałości mięśni, a czasami również kości. Te związki chemiczne często są stosowane w sporcie jako substancje dopingujące.

Rozwój farmakoterapii

Wprowadzenie na rynek nowego leku jest zazwyczaj poprzedzone wieloletnimi pracami badawczymi. Ich celem jest tworzenie leków na nieuleczalne dotąd choroby, których działanie nie będzie miało skutków ubocznych, i takich, które będą skuteczniejsze niż obecnie stosowane.

Szkodliwe dla człowieka mikroorganizmy (patogeny), np. bakterie i grzyby, mogą uodparniać się na antybiotyki. Dlatego ciągle trwają prace nad nowymi antybiotykami, na które patogeny nie są jeszcze odporne. Na choroby wirusowe (rys. 56.) i nowotworowe wciąż nie ma skutecznego lekarstwa.

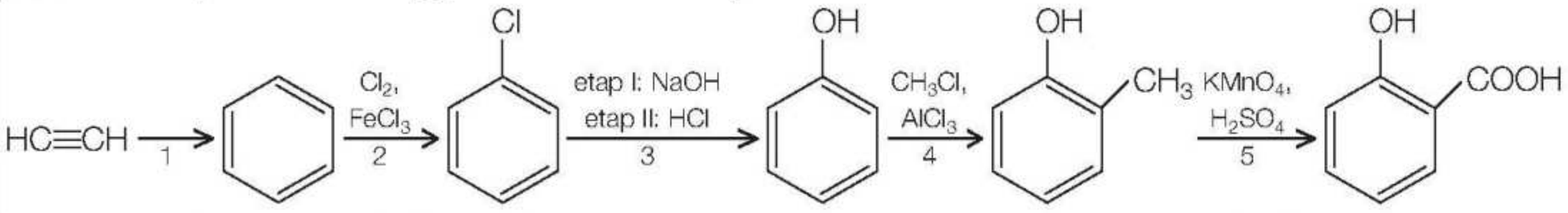


Rys. 56. W przypadku infekcji wirusowych nie stosuje się antybiotykoterapii, ponieważ antybiotyki nie zwalczają patogenów tego typu. Pacjent przyjmuje wówczas leki przeciwwirusowe.

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

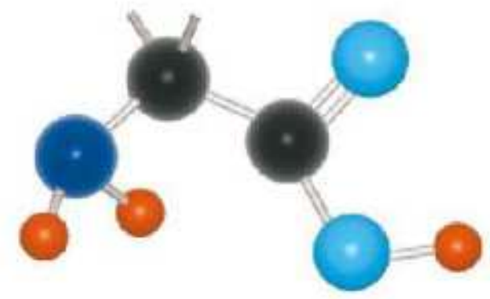
1. **Napisz wzory półstrukturalne i nazwy systematyczne wszystkich możliwych hydroksykwasów o wzorze sumarycznym $C_4H_8O_3$. Zaznacz gwiazdką centra chiralności w cząsteczkach.**
2. **Napisz równanie reakcji chemicznej kwasu hydroksyetanowego z roztworem wodorotlenku sodu, stosując wzory półstrukturalne.**
3. **Napisz równanie reakcji utleniania kwasu hydroksyetanowego do kwasu etanodiowego za pomocą tlenku srebra(I).**
4. **Określ, czy kwas salicylowy jest związkiem czynnym optycznie. Odpowiedź uzasadnij.**
5. Schemat przedstawia ciąg przemian chemicznych:



Napisz równania reakcji chemicznych oznaczonych na schemacie numerami 1–5.

27. Aminokwasy

Aminokwasy (rys. 57.) to pochodne węglowodorów. W swoich cząsteczkach zawierają przynajmniej jedną grupę aminową i przynajmniej jedną grupę karboksylową.



Rys. 57. Model fragmentu cząsteczki aminokwasu.

Występowanie aminokwasów

Aminokwasy są podstawowym składnikiem budulcowym peptydów. Występują w komórkach roślinnych i zwierzęcych oraz w bakteriach. Kwas glutaminowy $C_5H_9NO_4$ to jeden z podstawowych aminokwasów białek roślinnych i zwierzęcych. Został wyizolowany z pszenicy oraz listownicy japońskiej (fot. 146.). Aminokwas ten występuje również w serach typu podpuszczkowego (np. parmezan) oraz w pomidorach. W trakcie dojrzewania serów i warzyw zwiększa się jego zawartość w tych produktach. W białku mleka ssaków oraz w białku jaj znajdują się metionina $C_5H_{11}NO_2S$ oraz tryptofan $C_{11}H_{12}N_2O_2$, który w organizmie ludzkim jest przekształcany w serotoninę $C_{10}H_{12}N_2O$, czyli „hormon szczęścia". Glicyna $C_2H_5NO_2$ występuje w żelatynie oraz kolagenie – białku budulcowym tkanki łącznej.



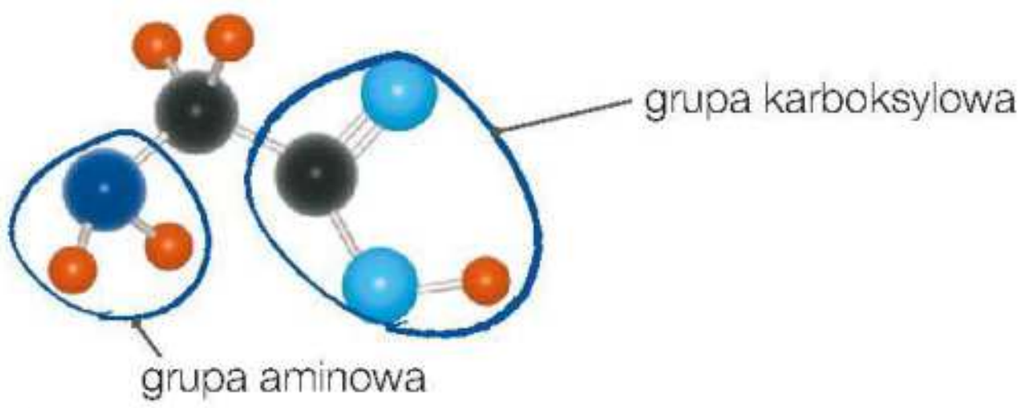
Fot. 146. Listownica japońska to wodorost wykorzystywany w kuchni japońskiej do przyrządzania sushi.

Budowa cząsteczek aminokwasów

Aminokwasy zawierają w cząsteczce dwie grupy funkcyjne:

- aminową $-NH_2$
- karboksylową $-COOH$

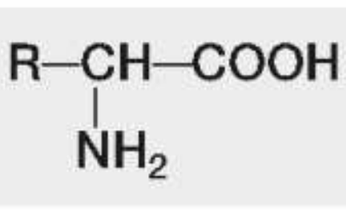
Aminokwasy – wielofunkcyjne związki organiczne, zawierające w cząsteczkach dwie grupy funkcyjne: $-COOH$ i $-NH_2$, połączone grupą węglowodorową.



model cząsteczki kwasu aminoetanowego

Modele atomów:
węgla, tlenu, azotu, wodoru

Cząsteczki aminokwasów, w których obie grupy funkcyjne są połączone z tym samym atomem węgla (tzw. ***α*-aminokwasy**, patrz s. 342), przedstawia wzór ogólny:

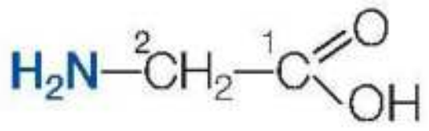


Wzór ogólny *α*-aminokwasów

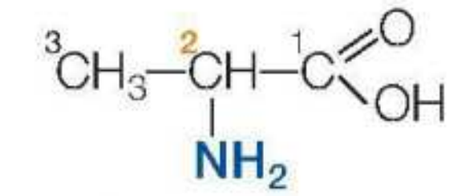
gdzie:
$-NH_2$ – grupa aminowa,
$-COOH$ – grupa karboksylowa,
$-R$ – atom wodoru lub grupa węglowodorowa (np. alkilowa lub arylowa).

Nazewnictwo aminokwasów

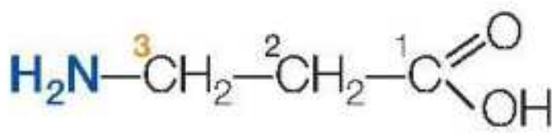
Nazwy systematyczne aminokwasów tworzy się przez dodanie przedrostka **amino-** do nazwy systematycznej kwasu karboksylowego. Lokant i liczbę grup aminowych $-NH_2$ oznacza się tak jak w przypadku innych pochodnych kwasów karboksylowych:



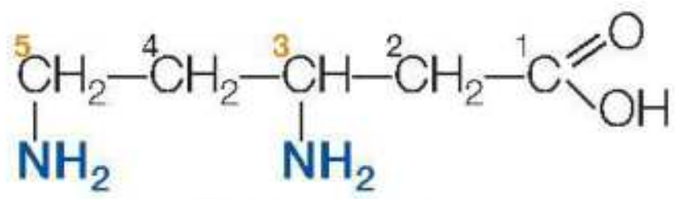
kwas **amino**etanowy



kwas 2-**amino**propanowy



kwas 3-**amino**propanowy

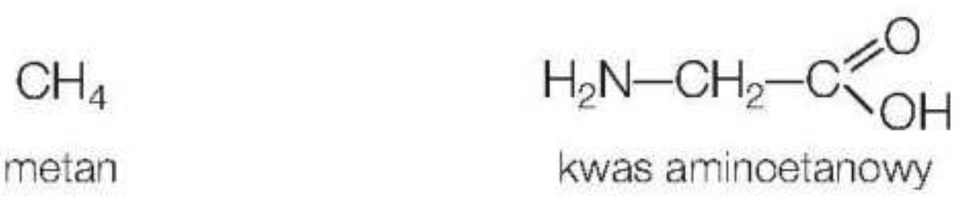


kwas 3,5-**diamino**pentanowy



Fot. 147. Glicyna.

Najprostszym aminokwasem jest **kwas aminoetanowy** (aminooctowy), nazywany także **glicyną** (fot. 147.). Można go traktować jako pochodną metanu, w którego cząsteczce dwa atomy wodoru podstawiono grupami: aminową $-NH_2$ i hydroksylową $-COOH$:

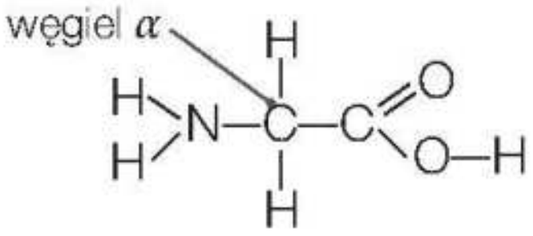


metan

kwas aminoetanowy

α-aminokwasy – aminokwasy, w których cząsteczkach grupy $-COOH$ i $-NH_2$ są związane z tym samym atomem węgla, tzw. atomem α.

Glicyna jest przykładem α-aminokwasu, w którym grupy karboksylowa i aminowa są związane z tym samym atomem węgla, tzw. węglem α:

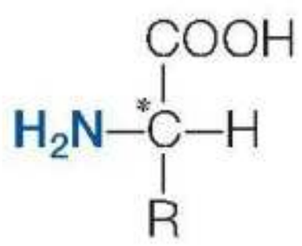


wzór kwasu aminoetanowego

Izomeria optyczna aminokwasów

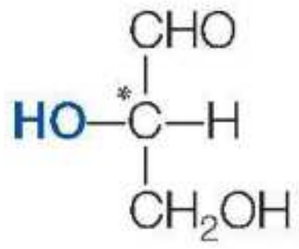
Cząsteczki wszystkich aminokwasów białkowych (patrz s. 431–432) są chiralne, ponieważ zawierają centrum chiralności. Wyjątkiem jest glicyna, której **cząsteczka nie zawiera centrum chiralności**.

Aminokwasy białkowe (poza glicyną) mogą więc występować w odmianach czynnych optycznie. Podobnie jak w przypadku innych tego typu związków chemicznych, ich konfiguracje są określane względem konfiguracji aldehydu glicerynowego. Tworzą też szeregi D i L, np.:



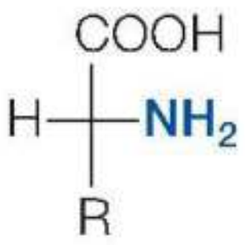
gdzie:
–R – grupa węglowodorowa.

Jest to przykład aminokwasu o konfiguracji **L**, gdyż położenie grupy aminowej $-NH_2$ odpowiada położeniu grupy $-OH$ w cząsteczce aldehydu L-glicerynowego. Znajduje się ona po lewej stronie cząsteczki:

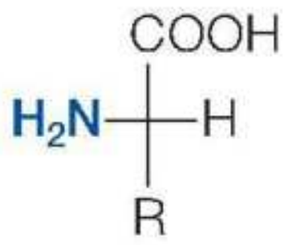


wzór aldehydu L-glicerynowego

Posługując się wzorami projekcyjnymi, ogólne wzory enancjomerów α-aminokwasów można przedstawić w postaci:



konfiguracja D

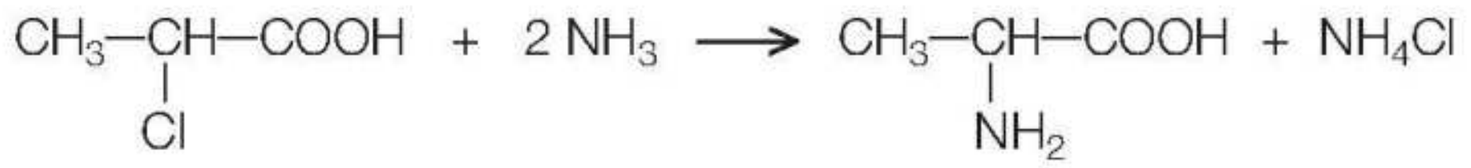


konfiguracja L

Wszystkie aminokwasy wchodzące w skład białek mają konfigurację L.

Otrzymywanie aminokwasów

Istnieje wiele metod syntezy aminokwasów. Najprostsze z nich otrzymuje się w reakcji fluorowcopochodnych kwasów karboksylowych z amoniakiem, w tzw. **reakcji amonolizy**, np.



reakcja amonolizy

kwas 2-chloropropanowy — kwas 2-aminopropanowy

Inną metodą syntezy aminokwasów jest **synteza Streckera** [czyt. sztrekera] (cyjanohydrynowa). Jest to reakcja aldehydów z amoniakiem i cyjanowodorem. Jej produktami są aminonitryle, z których następnie powstają aminokwasy. Aminokwasy są także syntetyzowane przez rośliny (fot. 148.) oraz drobnoustroje, które mają zdolność wiązania w cząsteczki organiczne azotu atmosferycznego i azotu pochodzącego ze związków nieorganicznych.



Fot. 148. Bakterie azotowe (*Azotobacter*) wiążą azot cząsteczkowy (N_2) z atmosfery. Często żyją w symbiozie z roślinami, które są dzięki temu zaopatrywane w azot wykorzystywany m.in. do produkcji aminokwasów.

Właściwości aminokwasów

Doświadczenie 60. NaOH, HCl HCl

Badanie właściwości kwasu aminoetanowego (glicyny)

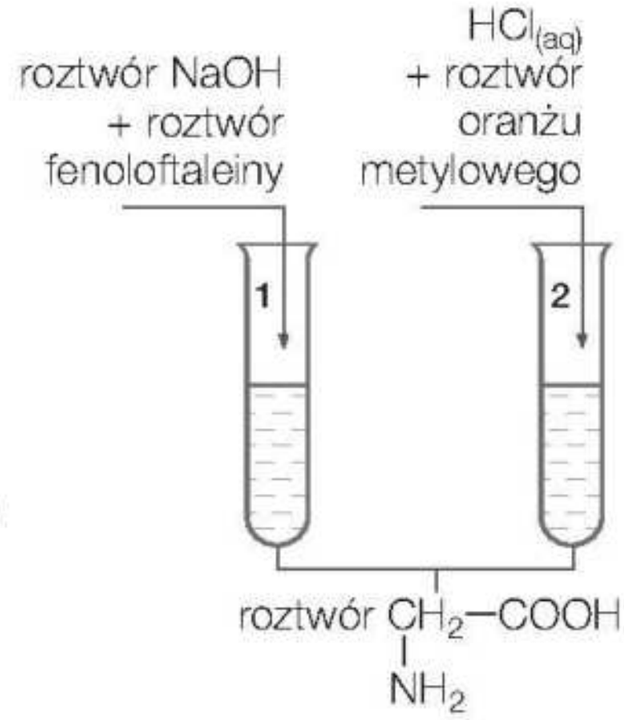
Odczynniki: kwas aminoetanowy (glicyna), woda, roztwór wodorotlenku sodu, roztwór fenoloftaleiny, kwas chlorowodorowy, roztwór oranżu metylowego.

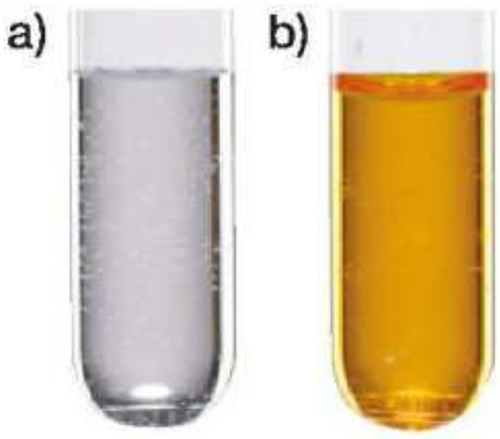
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, wkraplacze.

Instrukcja: a) Określ stan skupienia i barwę kwasu aminoetanowego oraz jego rozpuszczalność w wodzie i odczyn wodnego roztworu.

b) W probówce 1. do roztworu otrzymanego przez rozpuszczenie kwasu aminoetanowego w wodzie dodawaj kroplami roztwór wodorotlenku sodu z dodatkiem roztworu fenoloftaleiny (schemat).

c) W probówce 2. do roztworu kwasu aminoetanowego dodawaj kroplami kwas chlorowodorowy z dodatkiem roztworu oranżu metylowego (schemat).





Fot. 149. Reakcja kwasu aminoetanowego: a) z roztworem NaOH i fenoloftaleiny, b) z roztworem HCl i oranżu metylowego.

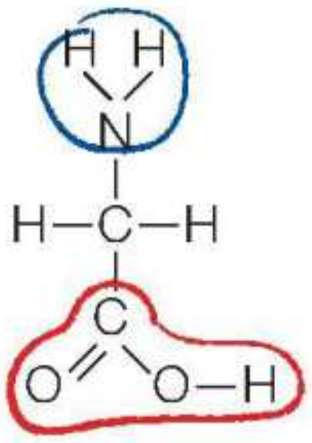
Obserwacje: Kwas aminoetanowy jest krystaliczną substancją stałą. Dobrze rozpuszcza się w wodzie. Roztwór wodorotlenku sodu z roztworem fenoloftaleiny odbarwia się po dodaniu do roztworu kwasu aminoetanowego (fot. 149.a). Kwas chlorowodorowy z roztworem oranżu metylowego po dodaniu do roztworu kwasu aminoetanowego zmienia barwę z czerwonej na żółtą (fot. 149.b).

Wniosek: Wodny roztwór kwasu aminoetanowego ma **odczyn obojętny**.

Ze względu na obecność w cząsteczce aminokwasu grup karboksylowej —COOH (charakter kwasowy) i aminowej $—NH_2$ (charakter zasadowy) **aminokwasy są** jednocześnie kwasami i zasadami, czyli **związkami amfoterycznymi**:

grupa aminowa – odpowiada za charakter zasadowy

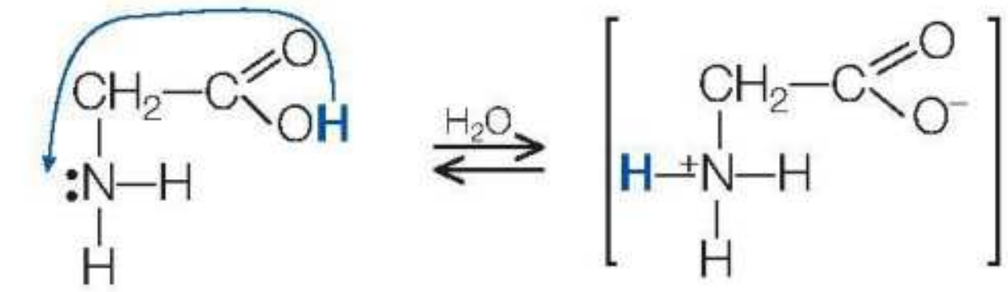
grupa karboksylowa – odpowiada za charakter kwasowy



Jon obojnaczy

Obecne w cząsteczce kwasu aminoetanowego grupy aminowa $-NH_2$ i karboksylowa $-COOH$ ulegają w wodnym roztworze wzajemnemu zobojętnieniu. Dzieje się tak wskutek przeniesienia kationu H^+ z grupy $-COOH$ do grupy $-NH_2$. Powstaje wówczas **jon obojnaczy** lub zwitterjon (niem. *zwitter* – hybrydowy):

Jon obojnaczy zawiera w cząsteczce zarówno grupy kwasowe, jak i zasadowe.



kwas aminoetanowy — jon obojnaczy kwasu aminoetanowego

Równowaga tej reakcji chemicznej w wodzie destylowanej jest przesunięta w prawo. Kwas aminoetanowy występuje więc prawie w całości w postaci jonu obojnaczego.

Punkt izoelektryczny

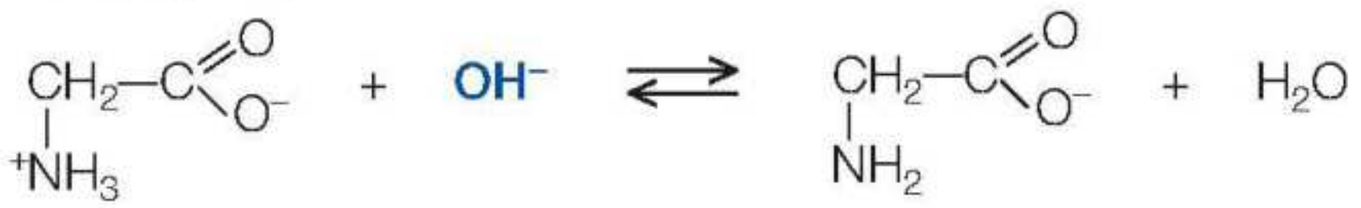
Jony obojnacze w roztworach aminokwasów powstają tylko przy określonych wartościach pH – charakterystycznych dla danego aminokwasu. Wartość pH, przy której większość cząsteczek aminokwasów występuje w postaci jonu obojnaczego, to **punkt izoelektryczny** lub **izojonowy** oznaczany skrótem **pI**.

Punkt izoelektryczny (pI) – wartość pH roztworu, przy której aminokwas występuje w postaci jonu obojnaczego.

Charakter chemiczny kwasu aminoetanowego

Kwas aminoetanowy reaguje zarówno z zasadami, jak i z kwasami. Jest więc **związkiem amfoterycznym**.

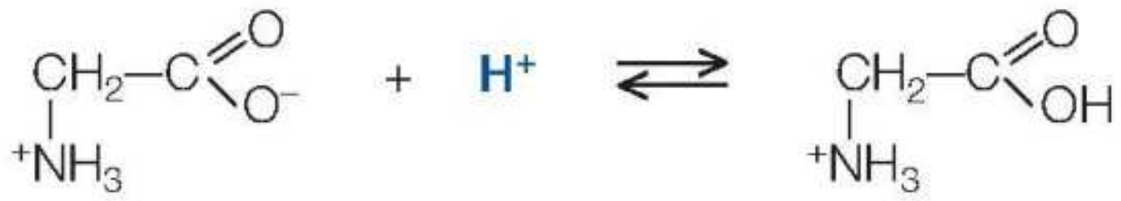
W środowisku zasadowym jony OH^- odłączają jon H^+ z grupy $-NH_3^+$ jonu obojnaczego aminokwasu, w wyniku czego powstają cząsteczka wody i anion aminokwasu:



jon obojnaczy kwasu aminoetanowego — anion wodorotlenkowy — anion aminoetanowy — woda

anion aminoetanowy

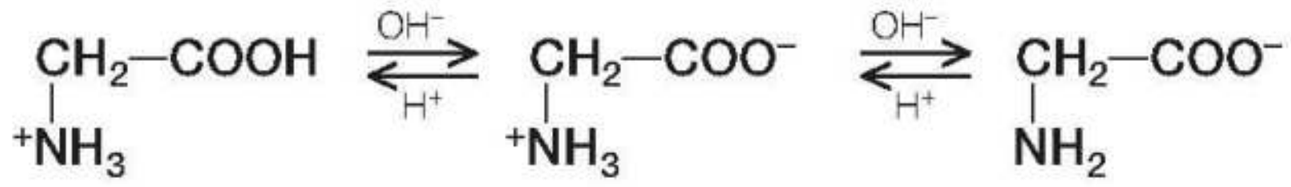
W środowisku kwasowym jony H^+ przyłączają się do grupy $-COO^-$, w wyniku czego powstaje kation aminokwasu:



jon obojnaczy kwasu aminoetanowego — kation wodoru — kation karboksymetanoamoniowy

kation karboksymetanoamoniowy

W wodnym roztworze kwasu aminoetanowego ustala się stan równowagi, w którym istnieją trzy formy jonowe:



kation aminokwasu dominuje w roztworach o odczynie kwasowym

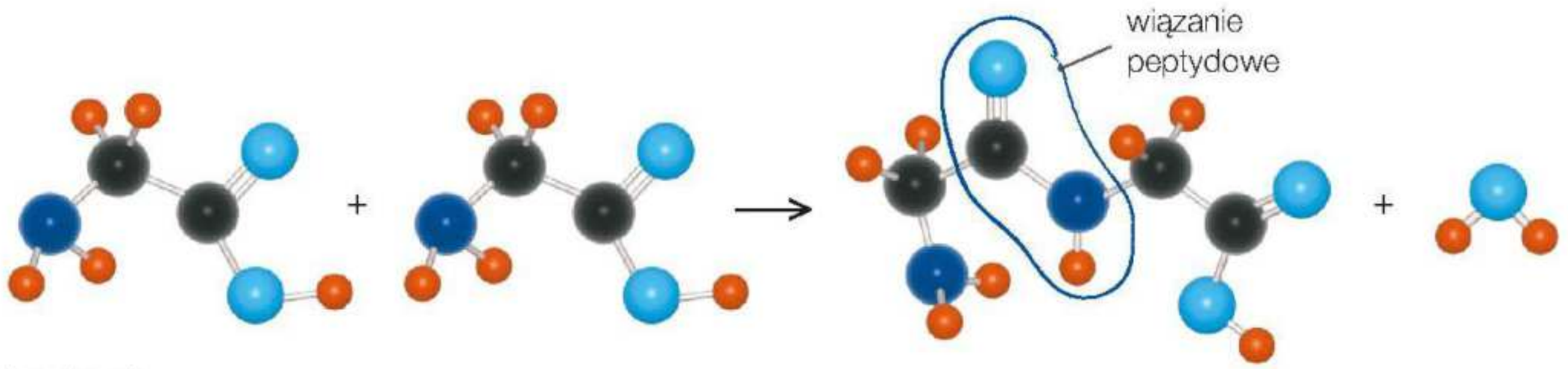
jon obojnaczy dominuje w roztworach o odczynie równym pI

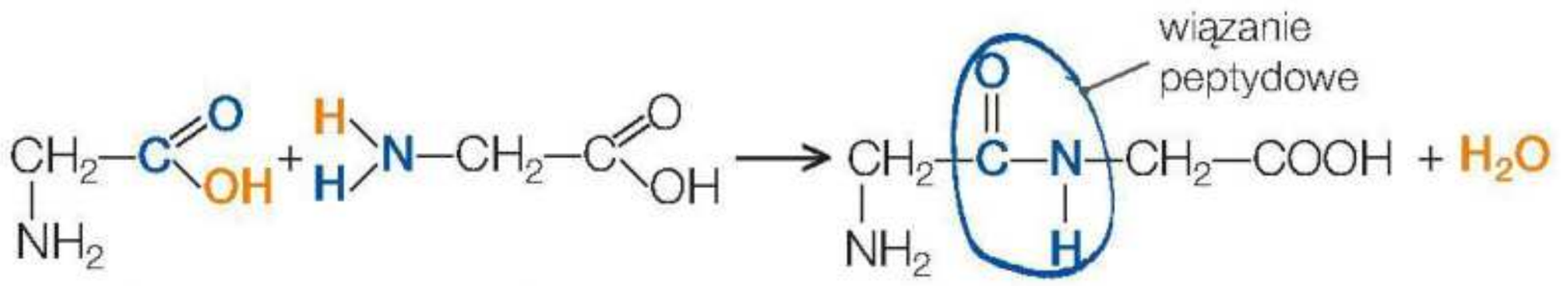
anion aminokwasu dominuje w roztworach o odczynie zasadowym

W środowisku silnie kwasowym równowaga przesuwa się w kierunku tworzenia kationów. W środowisku silnie zasadowym – w kierunku tworzenia anionów.

Wiązanie peptydowe

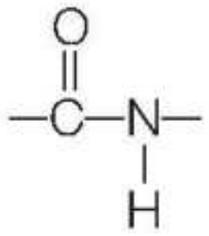
Cząsteczki aminokwasów łączą się ze sobą w specyficzny sposób – grupa karboksylowa jednego aminokwasu reaguje z grupą aminową drugiego. Tworzą się charakterystyczne wiązania, nazywane **wiązaniami peptydowymi**, a produktami tej reakcji chemicznej są **peptydy**:





glicyna kwas aminoetanowy + glicyna kwas aminoetanowy → glicyloglicyna dipeptyd + woda

wiązanie peptydowe



Reakcja dwóch aminokwasów jest przykładem **reakcji kondensacji,** gdyż równocześnie wydziela się produkt uboczny o małej masie cząsteczkowej – woda. Wiązania peptydowe są charakterystyczne **dla wszystkich peptydów oraz białek**.

Aminokwasy białkowe

Aminokwasy białkowe – aminokwasy wchodzące w skład białek.

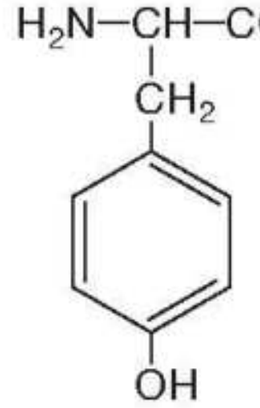
Aminokwasy, które wchodzą w skład białek naturalnych, to **aminokwasy białkowe** (patrz s. 431–432). Ich cechą charakterystyczną jest to, że grupy karboksylowa i aminowa są związane z tym samym atomem węgla, czyli węglem α. Należą więc do ***α*-aminokwasów**.

Aminokwasów białkowych jest 20. Jednak w organizmie człowieka może być syntetyzowanych tylko **11** z nich. Pozostałe, nazywane

aminokwasami niezbędnymi (**egzogennymi**), muszą być dostarczane wraz z pokarmem.

W przypadku aminokwasów białkowych najczęściej stosuje się nazwy zwyczajowe (tabela 35.). Dla uproszczenia zapisu zamiast pełnych nazw zwyczajowych podaje się ich skróty trzyliterowe, np. „Gly" oznacza glicynę. Stosowane są także skróty jednoliterowe.

Tabela 35. Wzory i nazwy wybranych aminokwasów białkowych

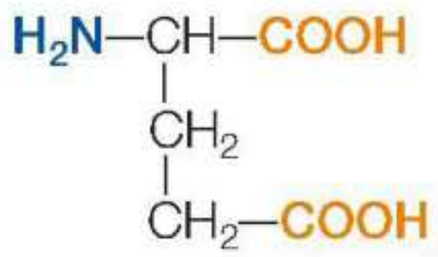
Wzór półstrukturalny	Nazwa zwyczajowa	Skrót nazwy zwyczajowej*
$CH_2(NH_2)-COOH$	glicyna	Gly, G
$H_2N-CH(CH_3)-COOH$	alanina	Ala, A
$H_2N-CH(CH_2OH)-COOH$	seryna	Ser, S
$H_2N-CH(CH_2-SH)-COOH$	cysteina	Cys, C
$H_2N-CH(CH_2-S-CH_3)-COOH$	metionina	Met, M
$H_2N-CH(CH_2-COOH)-COOH$	kwas asparaginowy	Asp, D
$H_2N-CH(CH_2-CH_2-COOH)-COOH$	kwas glutaminowy	Glu, E
$H_2N-CH((CH_2)_4-NH_2)-COOH$	lizyna	Lys, K
	tyrozyna	Tyr, Y

* Międzynarodowe skróty stosowane dla aminokwasów białkowych.

Niektóre aminokwasy białkowe, oprócz typowych dla nich grup $-COOH$ i $-NH_2$, zawierają w cząsteczce również inne grupy, m.in. hydroksylową $-OH$ (np. seryna) i tiolową $-SH$ (np. cysteina).

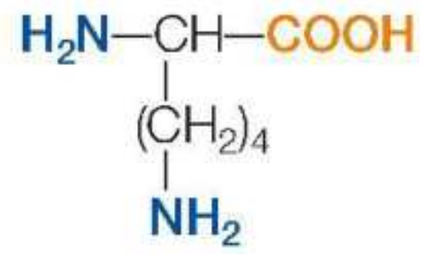
Aminokwasy, w których cząsteczce występuje:

- przewaga grup karboksylowych – zalicza się do **aminokwasów kwasowych**, np.:



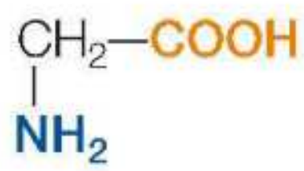
kwas glutaminowy

- przewaga grup aminowych – zalicza się do **aminokwasów zasadowych**, np.:



lizyna

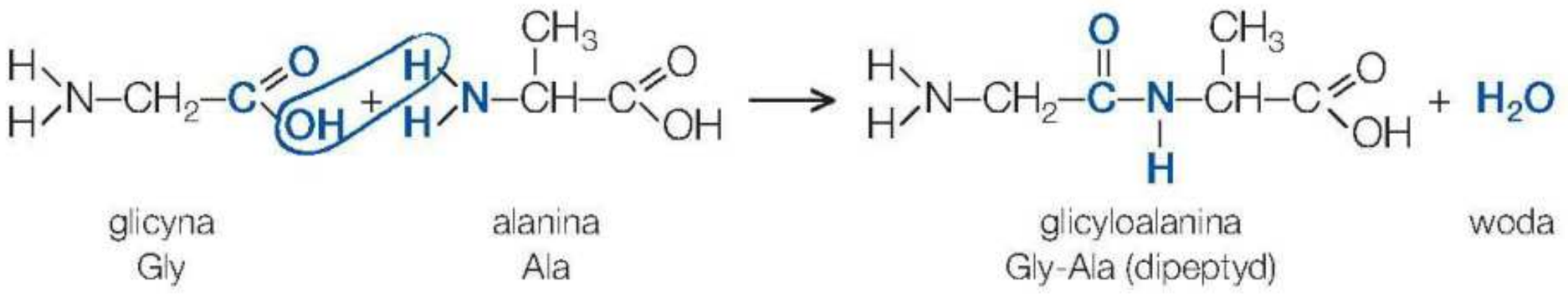
- jednakowa liczba obu grup w cząsteczce aminokwasu – zalicza się do **aminokwasów obojętnych**, np.:



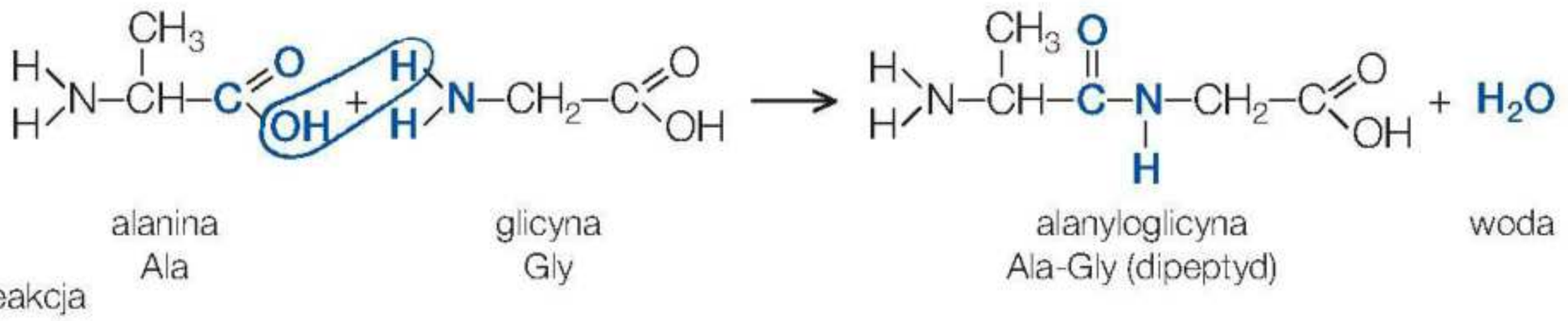
glicyna

Otrzymywanie peptydów

W wyniku reakcji kondensacji aminokwasów białkowych powstają **peptydy**. Na przykład z glicyny i alaniny mogą powstać dwa **dipeptydy**, które są względem siebie izomerami:



glicyna Gly + alanina Ala → glicyloalanina Gly-Ala (dipeptyd) + woda

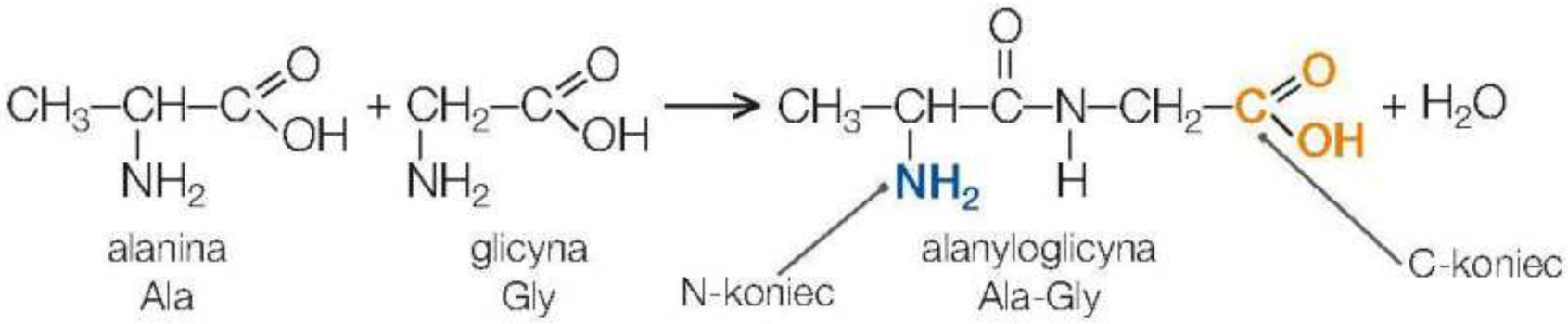


alanina Ala + glicyna Gly → alanyloglicyna Ala-Gly (dipeptyd) + woda

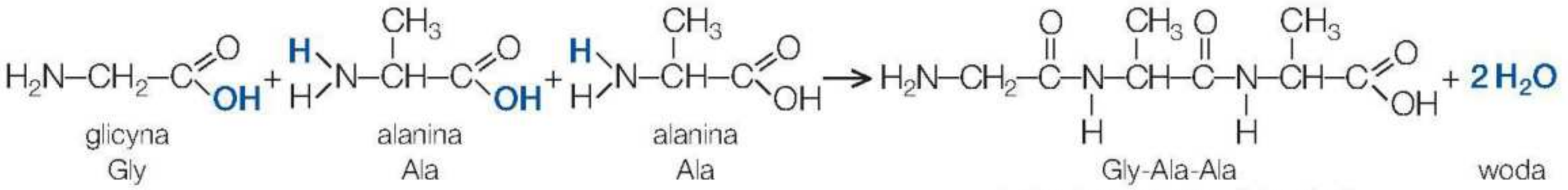
Kondensacja – reakcja łączenia się co najmniej dwóch cząsteczek tego samego lub różnych związków chemicznych z jednoczesnym wydzieleniem prostej cząsteczki, np. wody (jako produktu ubocznego).

W cząsteczce dipeptydu jest jedno wiązanie peptydowe.

W każdym z peptydów można wyróżnić **koniec zawierający grupę aminową, nazywany od atomu azotu N-końcem**, oraz **koniec z wolną grupą karboksylową, nazywany od atomu węgla C-końcem**. Nazwy peptydów tworzy się, wymieniając nazwy reszt aminokwasowych, począwszy od N-końca łańcucha peptydowego:



Kolejność uszeregowania aminokwasów **w łańcuchu peptydowym nazywa się sekwencją aminokwasów**. Z trzech różnych aminokwasów mogą powstać **tripeptydy** różniące się sekwencją. Przykładową reakcję powstawania tripeptydu przedstawia następujący schemat:

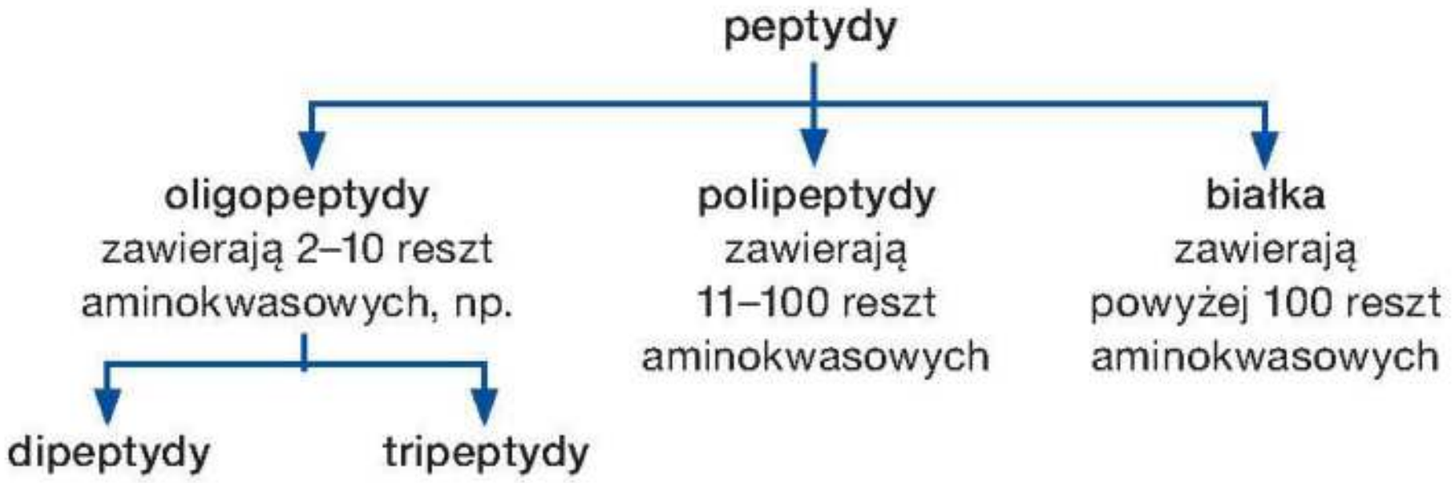


W cząsteczce tripeptydu są dwa wiązania peptydowe.

Peptydy mogą zawierać od kilku do kilkuset reszt aminokwasowych. W organizmach **procesy wielokrotnej kondensacji (polikondensacji) aminokwasów** zachodzą przy udziale biokatalizatorów i prowadzą do powstania peptydów o bardzo różnej liczbie reszt aminokwasowych.

Rodzaje peptydów

Ze względu na liczbę reszt aminokwasowych peptydy dzielą się na:

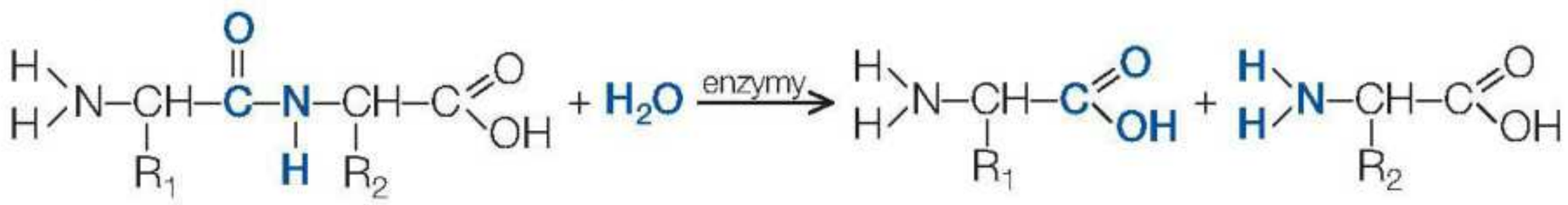


Hydroliza peptydów

Hydroliza peptydów, czyli reakcja odwrotna do reakcji kondensacji aminokwasów, polega na rozerwaniu wiązania peptydowego pod wpływem wody w obecności enzymów. Hydroliza peptydu zachodzi zarówno w środowisku kwasowym, jak i zasadowym.

Hydroliza peptydu – reakcja z wodą, której produktami są aminokwasy.

Ogólny zapis reakcji hydrolizy dipeptydu przedstawia równanie:



hydroliza dipeptydu

Przeprowadzając reakcję hydrolizy i analizując skład powstałej mieszaniny produktów, można ustalić, z jakich aminokwasów składał się peptyd.

Aminokwasy są związkami chemicznymi o fundamentalnym znaczeniu biologicznym. Stanowią podstawę istnienia i funkcjonowania materii ożywionej.

Zastosowania

Aminokwasy

W wykrywaniu sprawców przestępstw pomaga analiza aminokwasów w odciskach palców pozostawionych na miejscu przestępstwa. Umożliwia ona m.in. identyfikację płci podejrzanego. Stężenie aminokwasów w pocie kobiet jest większe niż u mężczyzn.



■ Przemysł rolniczy

Nawozy z dodatkiem aminokwasów stosuje się w celu **zwiększenia plonów** i odporności roślin na zmiany warunków klimatycznych, np. suszę lub przymrozki.



■ Przemysł spożywczy

Kwas glutaminowy jest popularnym dodatkiem spożywczym, poprawiającym smak m.in. **konserwowanych produktów mięsnych**. Natomiast lizyna, dodawana do żywności, podnosi jej wartość odżywczą.

■ Przemysł kosmetyczny

Składnikiem kremów przeciwzmarszczkowych jest prolina, która odbudowuje i regeneruje komórki skóry. Natomiast jako dodatek do **preparatów do pielęgnacji włosów** wzmacnia ich komórki.

Chemia w medycynie

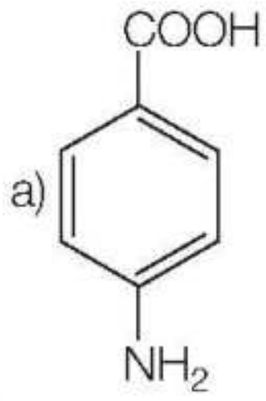
Tryptofan jest przekształcany w organizmie w serotoninę, czyli „hormon szczęścia". Dodaje się go do preparatów **poprawiających jakość snu i nastrój**. Natomiast lizynę stosuje się w preparatach łagodzących objawy przeziębienia oraz hamujących rozwój opryszczki. Z kolei metionina występuje w preparatach działających ochronnie na wątrobę i nerki.

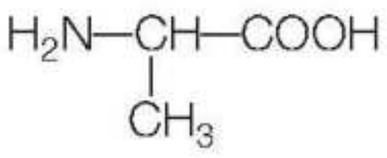


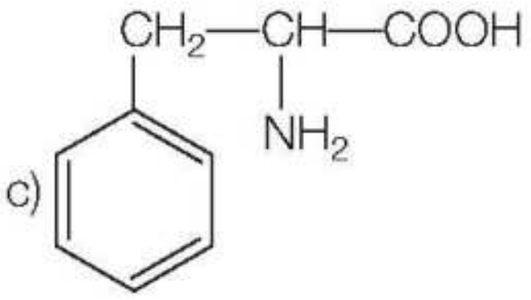
Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Napisz równania reakcji powstawania jonu obojnaczego dla aminokwasów o podanych wzorach.

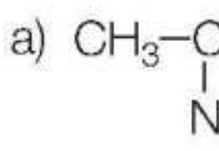
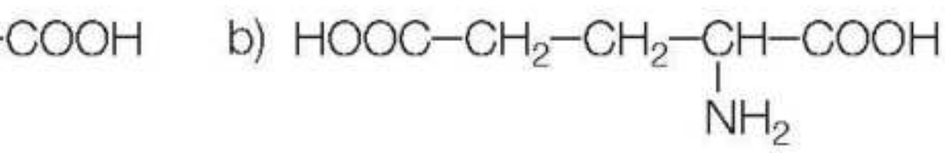
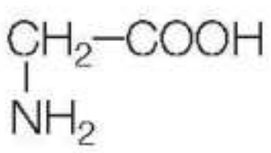
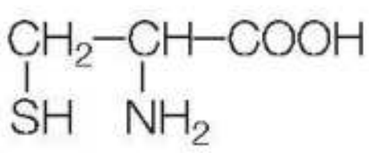
a) 

b) 

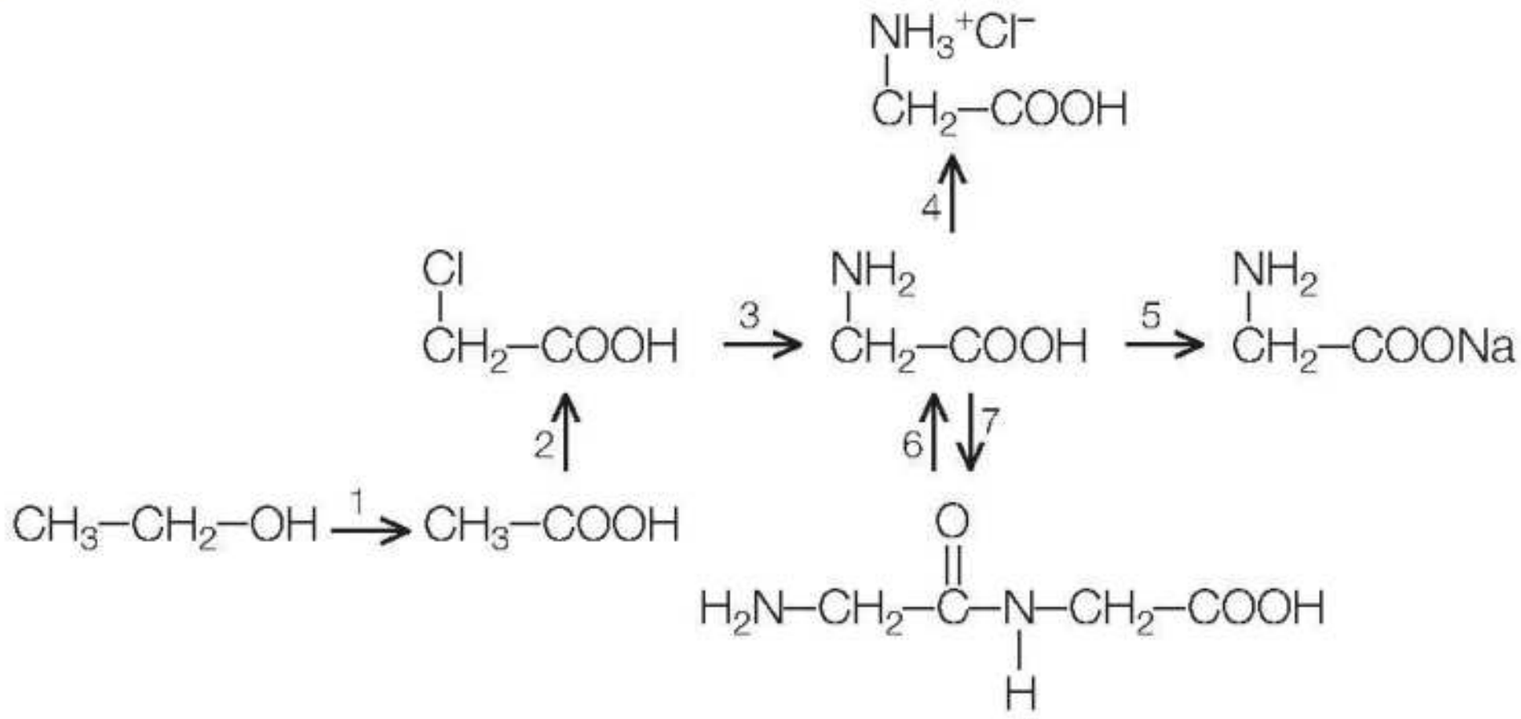
c) 

2. Napisz równanie reakcji powstawania tripeptydu Gly-Cys-Glu. Wskaż w jego wzorze wiązania peptydowe.

3. Wskaż, które z aminokwasów o podanych wzorach są czynne optycznie. Odpowiedź uzasadnij.

a)  b)  c)  d) 

4. Schemat przedstawia ciąg przemian chemicznych:



Napisz równania reakcji chemicznych oznaczonych na schemacie numerami 1–7.

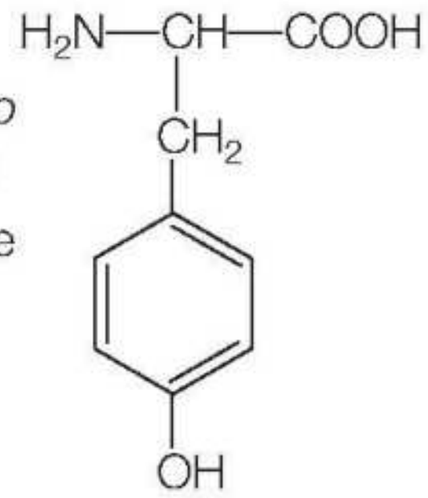
5. Peptyd Leu-Cys-Phe poddano hydrolizie. W powstałym roztworze utrzymano pH = 5,3.
Napisz wzory półstrukturalne jonów (forma kationowa i forma anionowa) będących produktami hydrolizy peptydu w roztworze o podanej wartości pH.

6. Napisz wzory form jonowych glicyny, kolejno dominujących w roztworze wodnym podczas zmiany pH od 2 do 10.

7. Posługując się wzorami strukturalnymi, napisz równanie reakcji kondensacji dwóch cząsteczek glicyny, w wyniku której powstaje dipeptyd Gly-Gly.

Informacja do zadań 8. i 9.

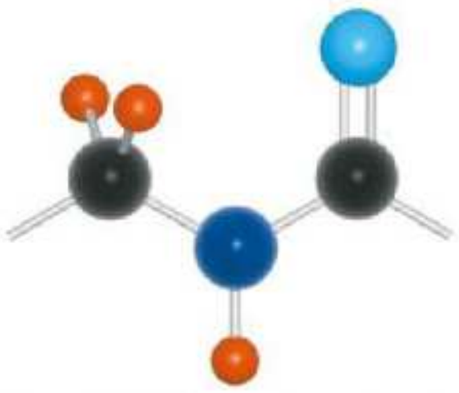
W wyniku wprowadzenia grupy hydroksylowej do pierścienia tyrozyny w pozycję *orto* w stosunku do grupy hydroksylowej otrzymuje się 3,4-dihydroksyfenyloalaninę. Jest to tzw. DOPA – aminokwas stosowany m.in. w leczeniu choroby Parkinsona. Kolejne enzymatyczne przekształcenia DOP-y prowadzą do powstania hormonu adrenaliny. Pierwszym etapem tych przekształceń jest dekarboksylacja (eliminacja cząsteczki CO_2), w której wyniku powstaje tzw. dopamina.


tyrozyna

8. Narysuj wzory półstrukturalne (grupowe) cząsteczek DOP-y i dopaminy.

9. Podaj liczbę centrów chiralności w cząsteczkach DOP-y i dopaminy.

28. Białka



Rys. 58. W cząsteczkach białek występują wiązania peptydowe.

Modele atomów:
węgla, tlenu, azotu, wodoru

Białka są to polimery kondensacyjne aminokwasów białkowych. Są one zbudowane z makrocząsteczek o skomplikowanej budowie. Reszty aminokwasowe białek połączone są wiązaniami peptydowymi (rys. 58.).

■ Rodzaje białek

Ze względu na **skład łańcucha polipeptydowego** białka dzielą się na:

białka

proste (proteiny)
zbudowane wyłącznie z aminokwasów, np.:
- **albuminy** – białko jaja, surowica krwi
- **globuliny** (glicynina w soi, fibrynogen we krwi, globuliny w surowicy, miozyna w mięśniach)
- **keratyny** (włosy, skóra, rogi)

złożone (proteidy)
oprócz aminokwasów zawierają tzw. **grupę prostetyczną** (niebiałkową), np.:
- **fosfoproteidy** zawierające reszty kwasu fosforowego(V)
- **lipoproteidy** zawierające glicerydy, cholesterol i jego estry, fosfolipidy oraz kwasy tłuszczowe
- **chromoproteidy** zawierające barwniki
- **metaloproteidy** zawierające jony metali, np. Fe^{2+}, Mg^{2+}, Cu^{2+}

Uznając za kryterium podziału **zdolność** białek **do rozpuszczania się w wodzie**, można wyróżnić:

białka

włókniste
nierozpuszczalne w wodzie
Tworzą spiralne lub pofałdowane łańcuchy włókniste. Stanowią materiał budulcowy tkanek. Występują we włosach, paznokciach, rogach, piórach, mięśniach, ścięgnach i w naturalnym jedwabiu.

kulisto-globularne
rozpuszczalne w wodzie
Tworzą łańcuchy polipeptydowe zwinięte w kłębek lub kulę. Pełnią funkcje związane z podtrzymywaniem i regulacją procesów życiowych. Są składnikami m.in. enzymów i hormonów.

■ Występowanie białek

Fot. 150. Sierść psa w ok. 90% składa się z białka.

Białka stanowią jedną z najważniejszych grup naturalnych związków wielkocząsteczkowych. Białka są podstawowym budulcem wszystkich organizmów. Biorą także udział w złożonych procesach biochemicznych zachodzących w komórkach. Kolagen to białko, które jest głównym składnikiem tkanki łącznej, kości oraz chrząstek. Z kolei keratyna jest składnikiem włosów i paznokci. Występuje także w wełnie, sierści (fot. 150.), kopytach i rogach zwierząt. Składnikiem naturalnego jedwabiu, uzyskiwanego z kokonów jedwabników morwowego i dębowego, jest fibroina. W nasionach rącznika pospolitego występuje trujące

białko – rycyna (toksalbumina), a w synsepalu słodkim (łac. *Synsepalum dulcificum*), roślinie rosnącej w Afryce, znajduje się mirakulina, która zmienia odczucie smaku kwaśnego na słodki.

Budowa cząsteczek białek

Białka mają niezwykle **złożoną strukturę**, a ich masy cząsteczkowe sięgają milionów jednostek u. Wszystkie są zbudowane **z łańcuchów polipeptydowych**, złożonych **z kilkuset reszt aminokwasowych** połączonych wiązaniami peptydowymi.

Białka – naturalne polimery zbudowane z łańcuchów polipeptydowych połączonych wiązaniami peptydowymi.

Białka powstają w komórkach przy udziale rybosomów (rys. 59.). Łańcuchy białkowe zawierają więcej niż 100 elementów aminokwasowych. Kolejność elementów aminokwasowych w łańcuchu peptydowym ma duże znaczenie dla biologicznych funkcji białka. Na przykład hemoglobina, będąca składnikiem krwi, ma 500 reszt aminokwasowych. Zastąpienie nawet jednej z nich inną prowadzi do choroby nazywanej anemią sierpowatą.

Z 20 różnych aminokwasów białkowych można by zbudować 20^{100} różnych cząsteczek zawierających po 100 reszt aminokwasowych. Świadczy to o ogromnej różnorodności białek. Są one **najbardziej złożonymi związkami chemicznymi występującymi w środowisku przyrodniczym**.



Rys. 59. Model rybosomu. W rybosomach aminokwasy łączą się wiązaniem peptydowym.

Ustalenie budowy i właściwości wielu z nich należy do najważniejszych osiągnięć naukowych XX w. Prace trwają nadal. Współcześnie chemicy pracują też nad niezmiernie złożonym zagadnieniem, jakim jest synteza białek. Niektóre polipeptydy, np. insulinę, udało się otrzymać w laboratorium. Jednak badania nad syntezą bardziej skomplikowanych białek nadal trwają.

W 1984 r. **Robert Bruce Merrifield** [czyt. robert brus meryfild] otrzymał Nagrodę Nobla za opracowanie metody syntezy białka na polimerach stosowanych jako matryce. Przyszłość należy do inżynierii genetycznej i biotechnologii. Naukowcy próbują m.in. wykorzystać proste organizmy (np. bakterie) do syntezy peptydów o określonej strukturze. Daje to nadzieje na powstanie leków przeciw chorobom, które są obecnie nieuleczalne.

Struktury białek

Struktura białek jest niezwykle złożona. Wiązania peptydowe między kolejnymi aminokwasami w łańcuchach polipeptydowych są sztywne. Wokół pozostałych wiązań łańcuch może się swobodnie obracać. Dzięki temu cząsteczki białek przyjmują różne formy przestrzenne. Formy te oraz kolejność ułożenia aminokwasów, czyli **sekwencja aminokwasów** w łańcuchu, decydują o charakterystycznych właściwościach i funkcjach białek w organizmach (fot. 151.). Wyróżnia się cztery struktury białka.

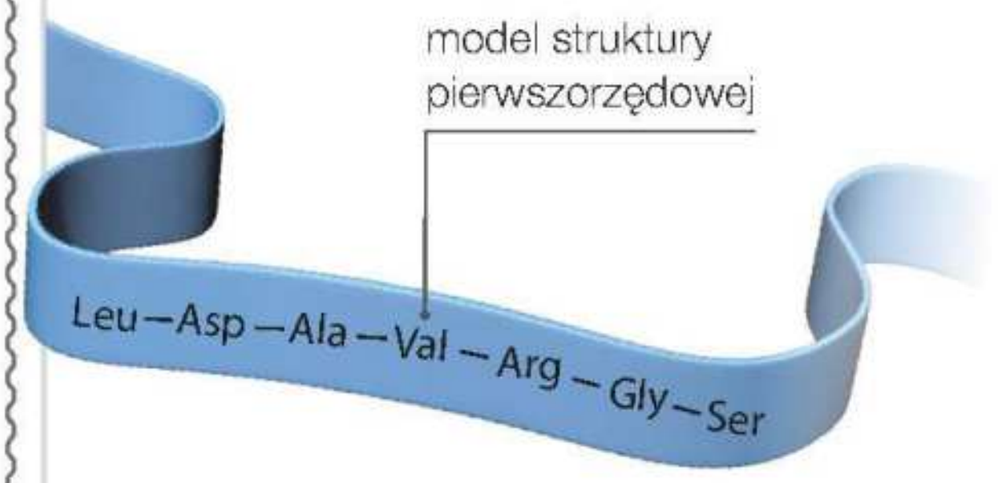


Fot. 151. Pajęcza sieć powstała z białek włóknistych.

Krok po kroku

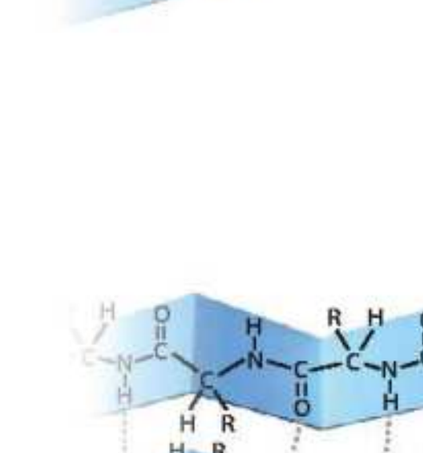
Struktury białek

Białka mogą mieć bardzo złożone struktury. Właściwości białek zależą nie tylko od tego, jakie aminokwasy (a zatem jakie grupy funkcyjne) występują w ich cząsteczkach, lecz także od tego, w jakiej kolejności aminokwasy są ułożone w łańcuchu polipeptydowym i jaki kształt przyjmuje ten łańcuch wskutek wyginania cząsteczki. Rozpoznaje się kilka poziomów struktury białek.



1 **Struktura pierwszorzędowa** określa sekwencję aminokwasów w łańcuchu polipeptydowym. Kolejność aminokwasów w cząsteczce białka jest ściśle określona. Struktura ta informuje także, w jaki sposób atomy są połączone wiązaniami kowalencyjnymi w cząsteczce. Jest to stosunkowo trwała struktura, która znajduje się w każdym białku.

2 **Struktura drugorzędowa** to ułożenie łańcucha polipeptydowego w przestrzeni. Rozróżnia się dwie podstawowe struktury drugorzędowe: α (**α-helisa**) i β (**harmonijka β**).



Struktura α powstaje w wyniku skręcenia się łańcuchów polipeptydowych wokół osi. Oznacza to, że przyjmuje ona kształt linii śrubowej. Struktura ta jest typowa dla keratyny, czyli białka występującego w wełnie, włosach i paznokciach.

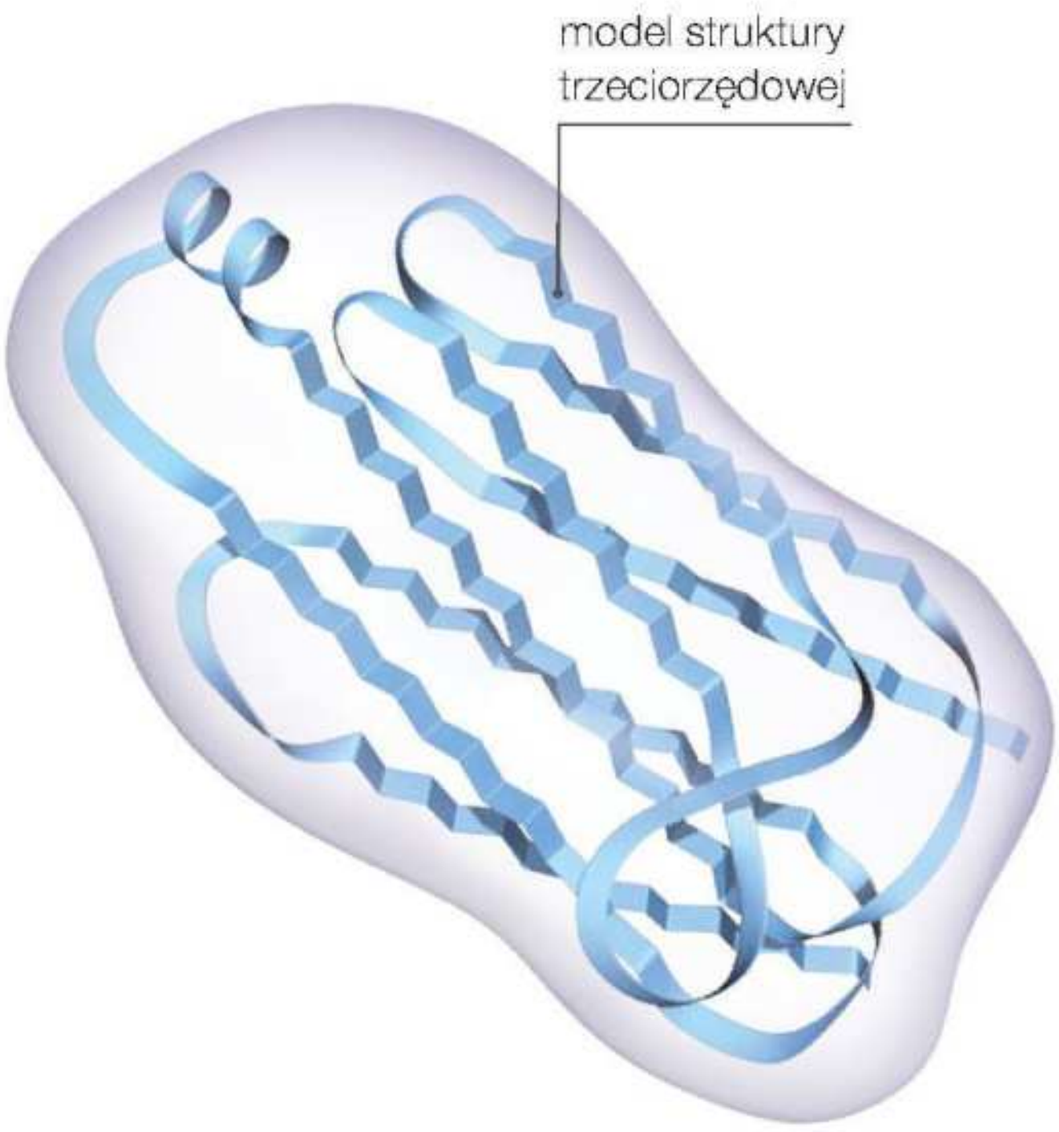


W **strukturze β** dwa równolegle ułożone łańcuchy polipeptydowe stabilizowane są wiązaniami wodorowymi. Całość struktury przypomina pofałdowaną kartkę papieru. Struktura β występuje w fibroinie, czyli białku jedwabiu lub pajęczyny.

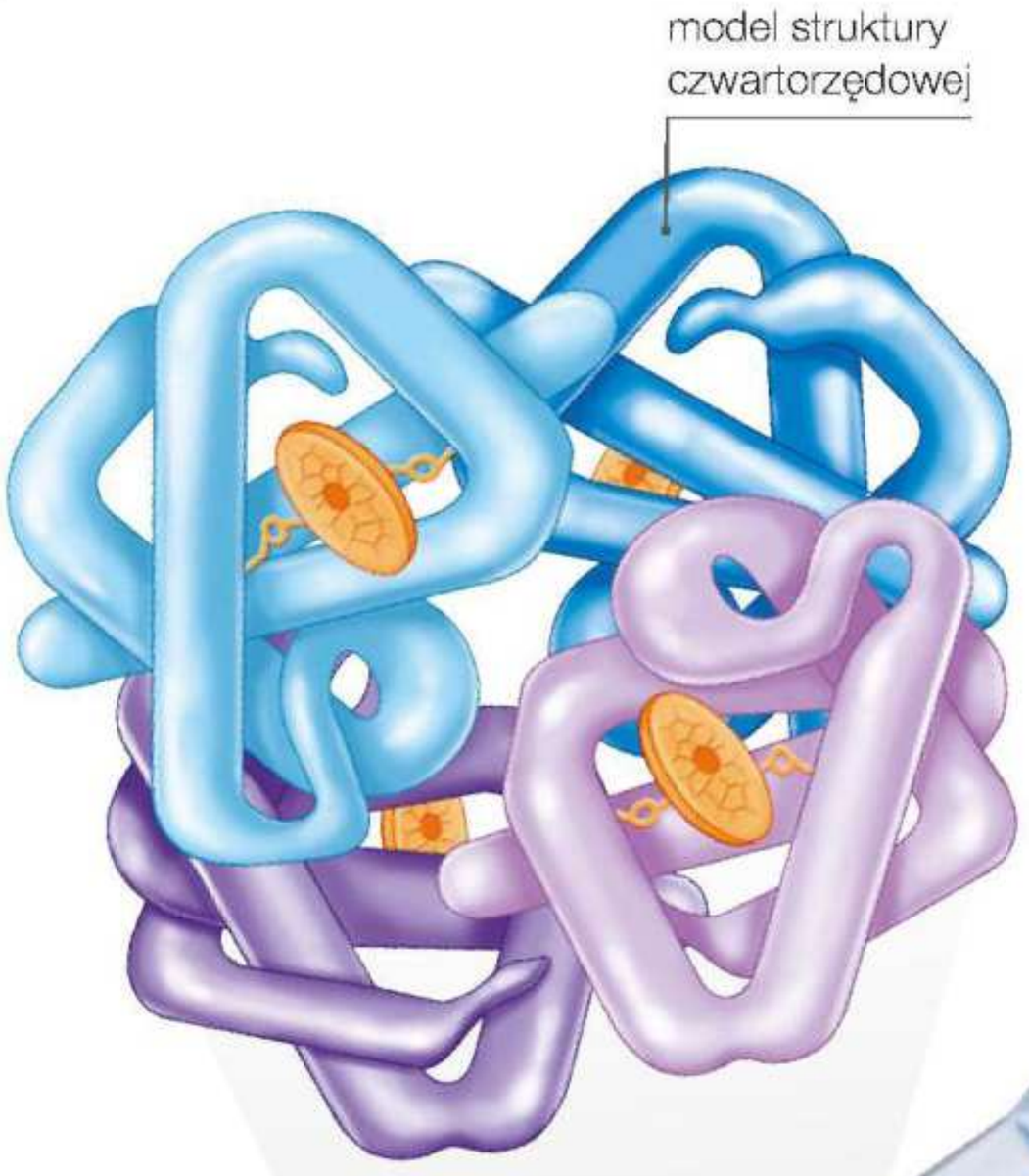
Jakie wiązania stabilizują struktury białek?

Struktura pierwszorzędowa białka jest stabilizowana przez **wiązania peptydowe**. Natomiast w strukturze drugorzędowej między grupą karbonylową a grupą aminową występują **wiązania wodorowe**. Tworzą się one między łańcuchami bocznymi aminokwasów. Z kolei strukturę trzeciorzędową oprócz wiązań wodorowych stabilizują: wiązania jonowe, oddziaływania hydrofobowe i van der Waalsa oraz mostki disulfidowe. **Wiązania jonowe** powstają w wyniku przyciągania elektrostatycznego między grupami funkcyjnymi ($-COO^-$, $-NH_3^+$) należącymi do łańcuchów bocznych aminokwasów. Natomiast **oddziaływania hydrofobowe** występują między niepolarnymi łańcuchami bocznymi aminokwasów, np. łańcuchem węglowodorowym leucyny $(CH_3)_2CHCH_2CH(NH_2)COOH$ i alaniny $CH_3CH(NH_2)COOH$, z kolei **mostki disulfidowe (disiarczkowe)** powstają między atomami siarki dwóch reszt cysteiny. Za stabilizację struktury czwartorzędowej odpowiadają głównie: mostki disulfidowe, oddziaływania hydrofobowe oraz wiązania wodorowe.

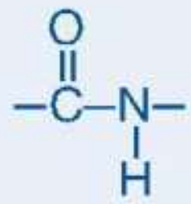
3 **Struktura trzeciorzędowa** to ułożenie poszczególnych odcinków łańcucha polipeptydowego względem siebie w przestrzeni. Łańcuchy polipeptydowe, skręcając się, tworzą zwoje i kłębki. Struktura ta powstaje głównie w wyniku oddziaływań między łańcuchami bocznymi peptydów. Jej zniszczenie powoduje utratę właściwości białka. Strukturę trzeciorzędową ma np. mioglobina, czyli białko szkieletowe wiążące tlen cząsteczkowy.



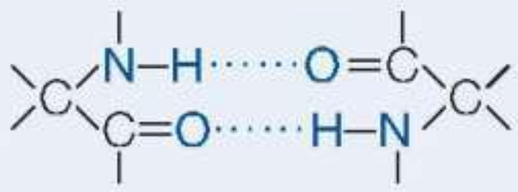
4 **Struktura czwartorzędowa** powstaje w wyniku wzajemnego oddziaływania ze sobą skręconych łańcuchów polipeptydowych. Kłębki łączą się ze sobą w tzw. **podjednostki**, zaś podjednostki tworzą **zespoły**. Tak złożoną budowę ma np. hemoglobina.



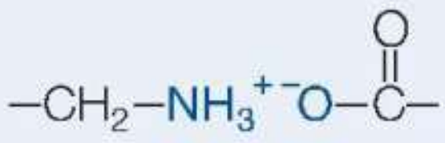
wiązanie peptydowe



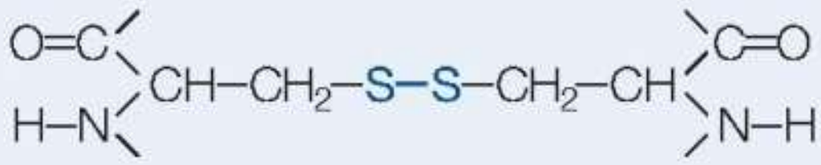
wiązania wodorowe

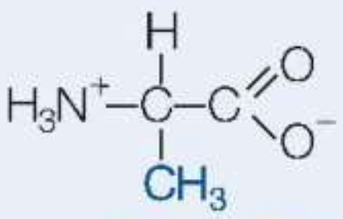


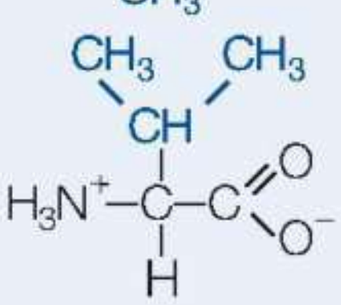
wiązanie jonowe



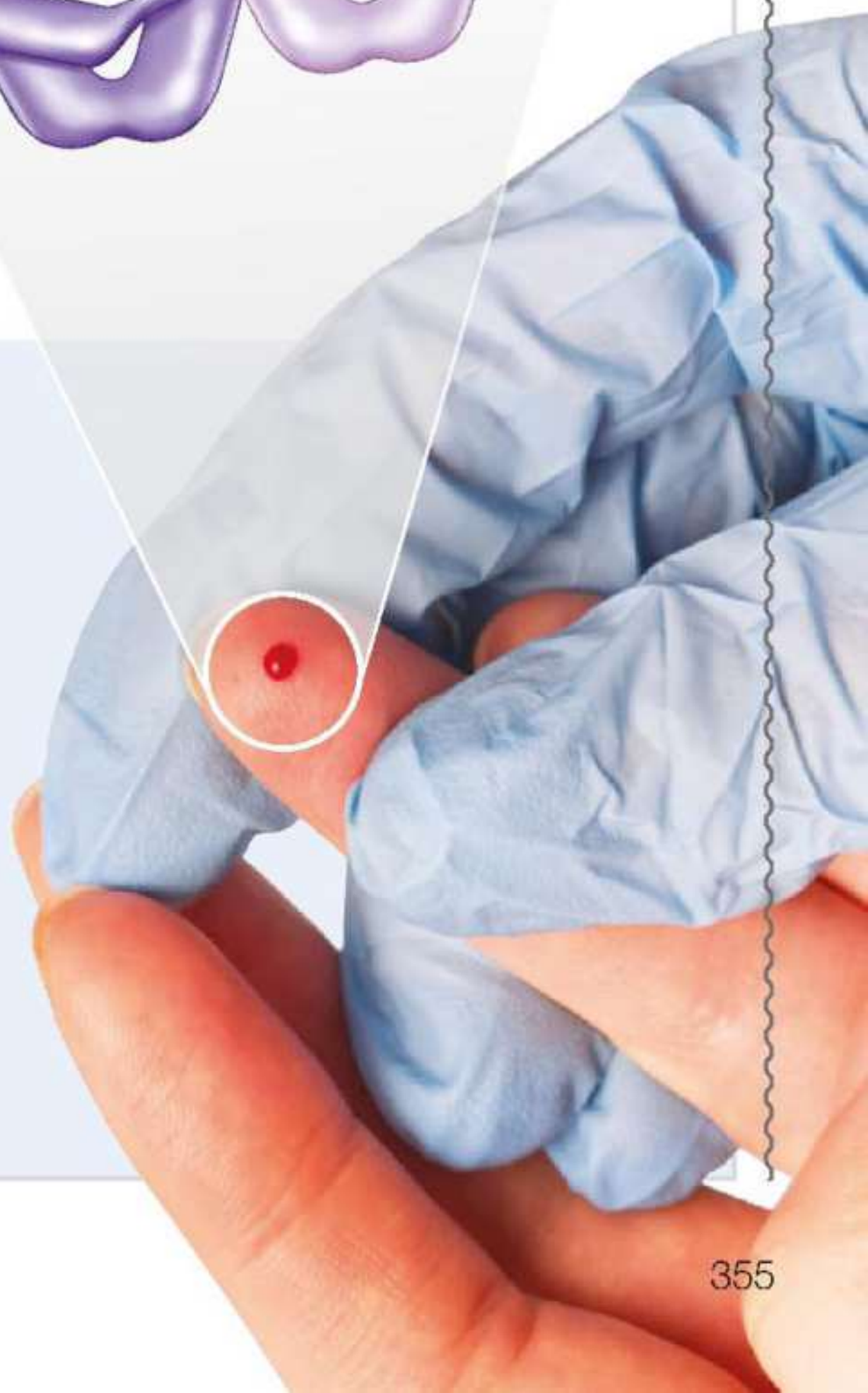
mostek disulfidowy







oddziaływania hydrofobowe



Właściwości białek

Doświadczenie 61.



Fot. 152. Mieszanina białka z wodą zmienia się pod wpływem działania chlorku sodu.

Zol białka – układ koloidalny białka z wodą.

Koloid – mieszanina, w której cząstki substancji rozpuszczanej mają rozmiary od 10^{-9} m do 10^{-7} m.

Badanie procesu wysalania białka

Odczynniki: białko, woda destylowana, nasycony wodny roztwór chlorku sodu.
Szkło laboratoryjne: probówka.
Instrukcja: Do probówki nalej ok. 3 cm^3 mieszaniny białka z wodą. Dodaj ok. 3 cm^3 nasyconego roztworu chlorku sodu (schemat). Następnie dodaj ok. 10 cm^3 wody destylowanej i całość wymieszaj.



Obserwacje: Po dodaniu roztworu chlorku sodu NaCl do roztworu mieszaniny białka z wodą strąca się biały osad (fot. 152.). Dodanie wody powoduje, że osad się rozpuszcza.
Wniosek: Po dodaniu chlorku sodu do zolu białka następuje strącenie, czyli **koagulacja (wysalanie) białka**. Białka z wodą tworzą układy koloidalne – zole.

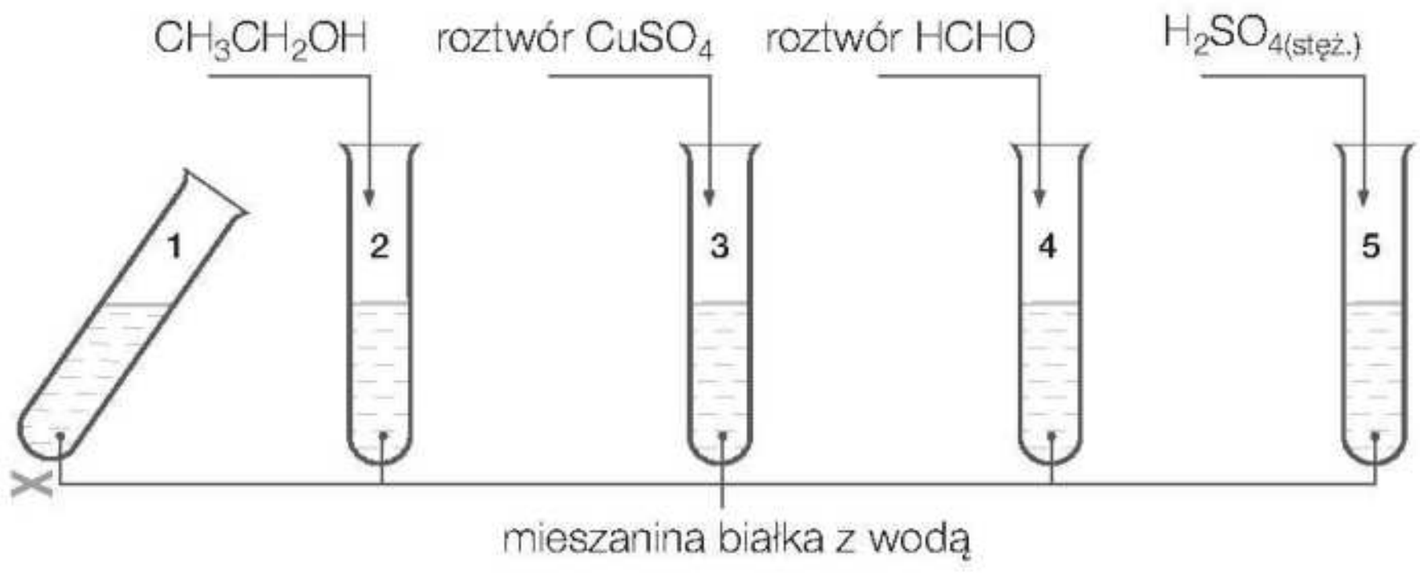
Koagulacja białka (patrz s. 358) pod wpływem soli NaCl jest procesem odwracalnym, czyli nie narusza struktury przestrzennej cząsteczki białka. Proces odwrotny do koagulacji to peptyzacja (patrz s. 358).

Doświadczenie 62.

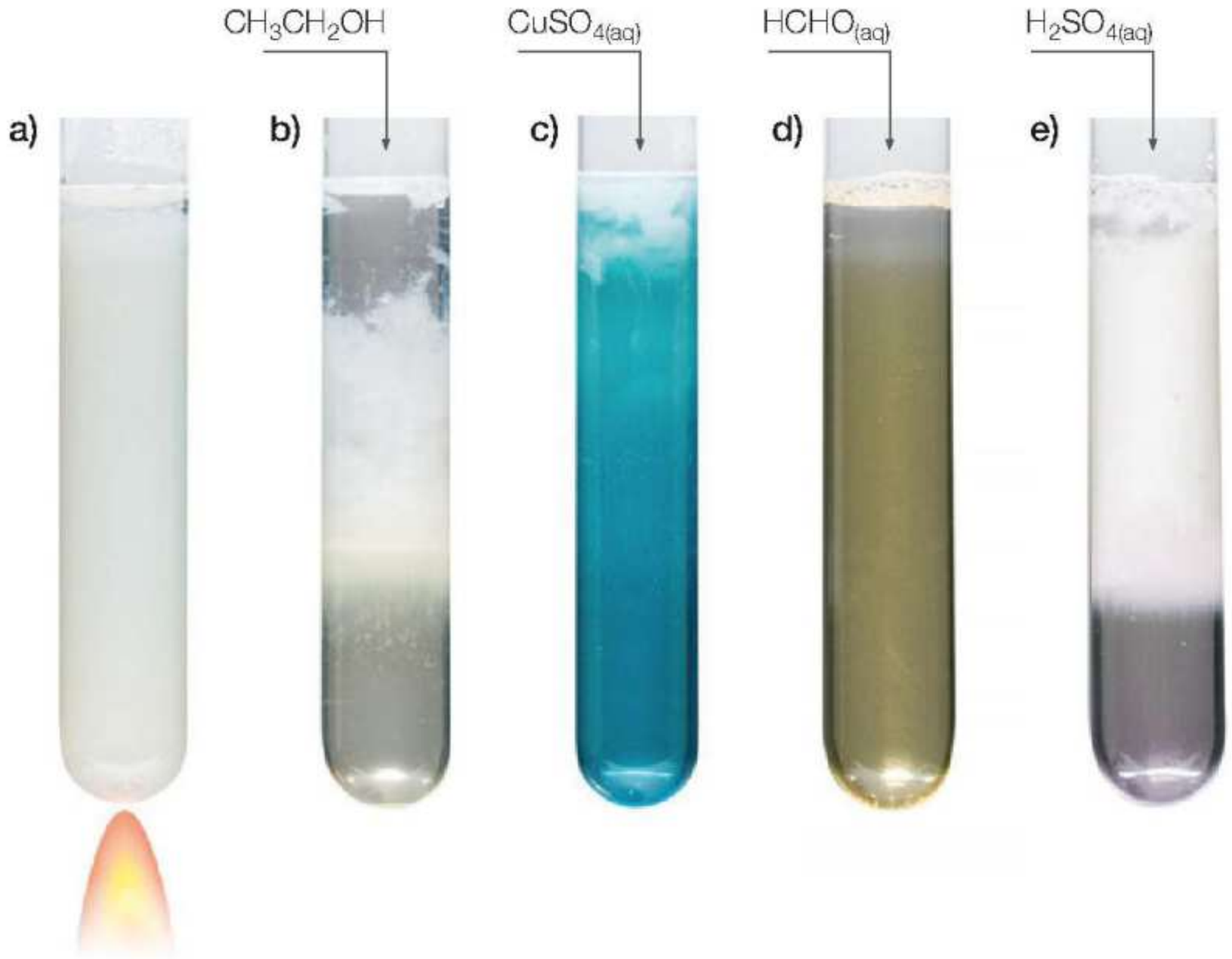


Badanie działania różnych substancji i wysokiej temperatury na mieszaninę białka z wodą

Odczynniki: białko, woda destylowana, roztwór etanolu, 5-procentowy roztwór siarczanu(VI) miedzi(II), roztwór metanalu, stężony roztwór kwasu siarkowego(VI), gorąca woda.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, wkraplacze, palnik.
Instrukcja: Do pięciu probówek nalej po ok. 3 cm^3 mieszaniny białka jaja z wodą. Probówkę 1. ogrzej w płomieniu palnika lub dodaj do niej niewielką ilość wrzącej wody. Do pozostałych probówek dodaj po kilka kropel: do probówki 2. – roztworu etanolu, 3. – 5-procentowego roztworu siarczanu(VI) miedzi(II), 4. – roztworu metanalu, 5. – stężonego roztworu kwasu siarkowego(VI) (schemat). Następnie do każdej probówki dodaj ok. 10 cm^3 wody destylowanej i wymieszaj ich zawartość.



Obserwacje: We wszystkich probówkach powstał osad, który nie rozpuszcza się po dodaniu wody (fot. 153.).
Wniosek: Pod wpływem temperatury i dodanych odczynników chemicznych nastąpił nieodwracalny proces ścinania białka, nazywany **denaturacją białka**.



Fot. 153. Wpływ na białko: a) podwyższonej temperatury, b) roztworu CH_3CH_2OH, c) roztworu $CuSO_4$, d) roztworu HCHO, e) stężonego roztworu H_2SO_4.

Odkrycia, które zmieniły świat – antyperspiranty

Białka zawarte w pocie ulegają denaturacji w środowisku kwasowym. Dlatego w **antyperspirantach** (fot. 154.) stosuje się substancje o takim odczynie. Takie środowisko hamuje także rozwój bakterii odpowiedzialnych za rozkład potu, który jest przyczyną przykrego zapachu. W antyperspirantach stosuje się także sole glinu, które reagują z białkiem, np. z keratyną, blokując gruczoły potowe. Zamknięcie dużej liczby gruczołów potowych zapobiega wydzielaniu się potu.



Fot. 154. Antyperspiranty to kosmetyki, które zmniejszają wydzielanie potu z gruczołów potowych.

Krok po kroku

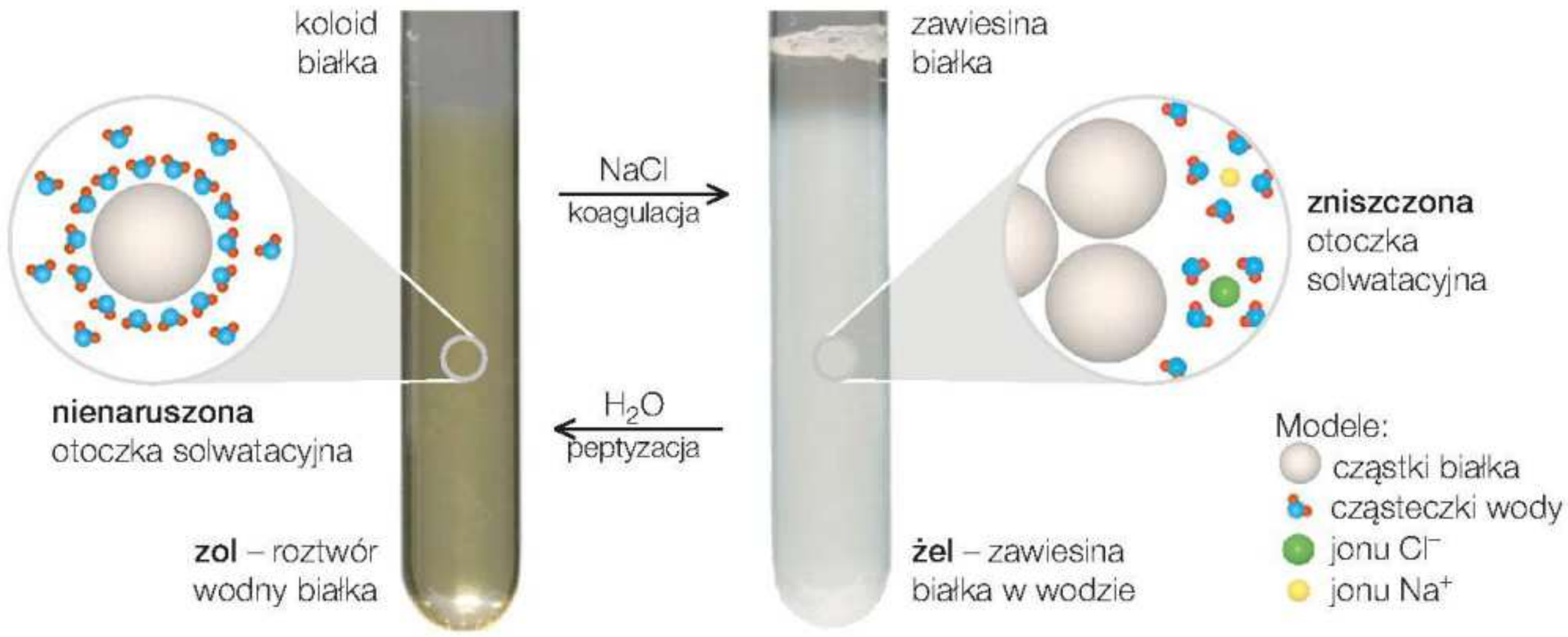
Przemiany białek

Białka tworzą z wodą układy koloidalne – zole. Cząstki białka są w nich otoczone cząsteczkami wody, tworzącymi tzw. **otoczkę solwatacyjną**. Jest to warstwa, która zapobiega łączeniu się cząstek białek. W otoczce solwatacyjnej cząsteczki wody ustawiają się biegunem ujemnym w stronę cząstki białka.

Procesy odwracalne

1 Po dodaniu do zolu metali lekkich, np. NaCl, Na_2SO_4 lub KCl, następuje strącenie białka, czyli **koagulacja**. Oddziaływanie cząsteczek wody z jonami soli jest silniejsze niż oddziaływanie cząsteczek wody z cząstkami białka. Jony soli wprowadzone do koloidu są otaczane przez cząsteczki wody. Następuje zniszczenie otoczki solwatacyjnej, a cząstki białka łączą się w większe zespoły. Koagulacja białka, czyli proces przemiany zolu w żel, nosi nazwę **wysalania białka**.

2 Po dodaniu wody żel się rozpuszcza. Następuje proces odwrotny do wysalania białka – **peptyzacja**, czyli przemiana żelu w zol.



Procesy nieodwracalne

Denaturacja to nieodwracalny proces ścinania białka. Polega on na trwałym zniszczeniu wyższych struktur białka przy zachowaniu jedynie struktury pierwszorzędowej, a niekiedy również i drugorzędowej. Proces ten zachodzi pod wpływem wysokiej temperatury oraz roztworów: alkoholi, soli metali ciężkich, stężonych roztworów kwasów i zasad. Czynniki te powodują rozerwanie wiązań wodorowych, jonowych i mostków disulfidowych (disiarczkowych), czyli niszczą oddziaływania stabilizujące strukturę przestrzenną łańcuchów polipeptydowych.

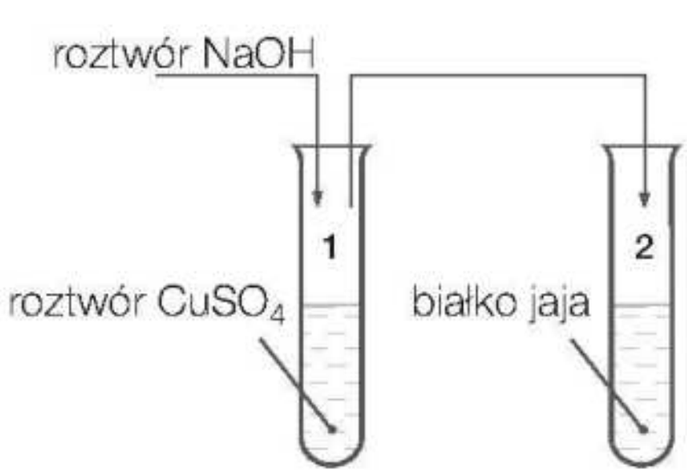


Reakcje charakterystyczne białek

Doświadczenie 63. $CuSO_4$ NaOH

Reakcja biuretowa

Odczynniki: białko, roztwór wodorotlenku sodu, roztwór siarczanu(VI) miedzi(II).
Szkło laboratoryjne: probówki.
Instrukcja: Do białka jaja w probówce 2. dodaj wodorotlenek miedzi(II), otrzymany w probówce 1. w reakcji roztworu siarczanu(VI) miedzi(II) z roztworem wodorotlenku sodu (schemat).



Obserwacje: W probówce 2. białko się ścina (fot. 155.a) i zawartość probówki zmienia kolor na ciemnofioletowy (fot. 155.b).
Wniosek: W reakcji białka z wodorotlenkiem miedzi(II) tworzy się związek o fioletowej barwie. Jest to **reakcja charakterystyczna** dla związków chemicznych, w których występuje wiązanie peptydowe (patrz s. 429).



Fot. 155. Reakcja biuretowa: a) dodanie wodorotlenku miedzi(II) do białka; b) ciemnofioletowe zabarwienie roztworu.

Doświadczenie 64. $NaOH$, HNO_3 HNO_3

Reakcja ksantoproteinowa

Odczynniki: białko, stężony roztwór kwasu azotowego(V), rozcieńczony roztwór wodorotlenku sodu.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, wkraplacze.
Instrukcja: Do ok. 3 cm^3 białka jaja dodaj 2 krople stężonego roztworu kwasu azotowego(V) (schemat), a następnie kilka kropli rozcieńczonego roztworu wodorotlenku sodu.

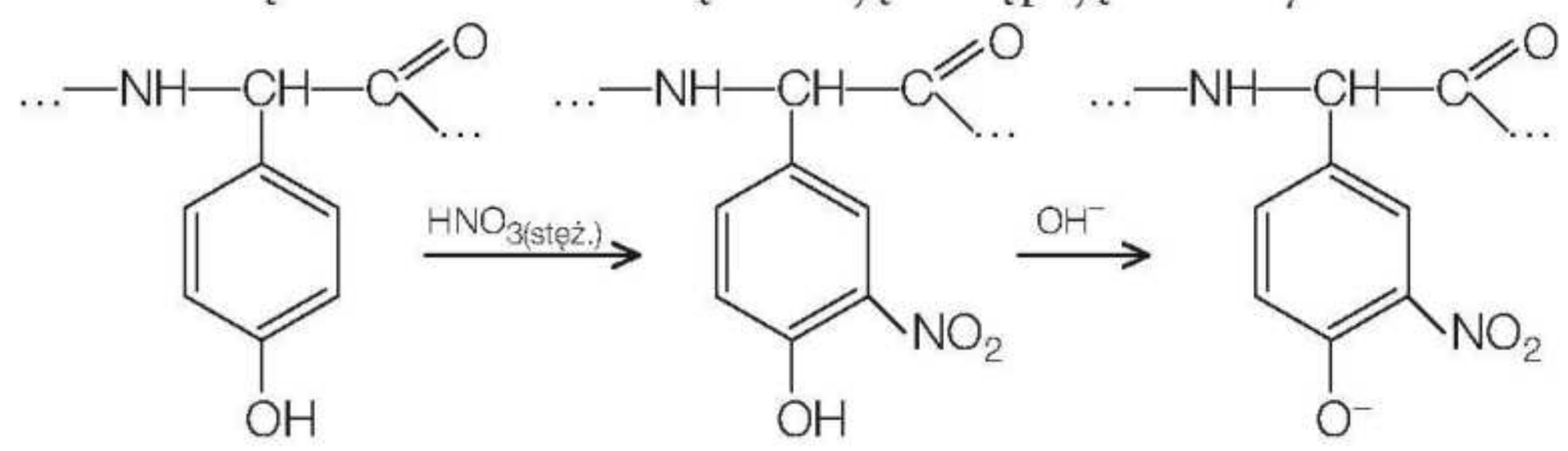


Obserwacje: Pod wpływem stężonego roztworu kwasu azotowego(V) białko zmienia barwę na żółtą.
Wniosek: Reakcja chemiczna białka ze stężonym roztworem HNO_3 jest nazywana **reakcją ksantoproteinową** (gr. *ksanthos* – żółty).

Pod wpływem stężonego roztworu kwasu azotowego(V) zachodzi nitrowanie pierścieni aromatycznych w resztach aminokwasów białkowych. Powstające związki chemiczne mają żółtą barwę (fot. 156.). Dodanie zasady sodowej zwiększa intensywność barwy – zmiana barwy z żółtej na pomarańczową. Powstałe nitrozwiązki mają następujące barwy:



Fot. 156. Reakcja ksantoproteinowa z próbką mleka.



reszta aminokwasu tyrozyny — **bezbarwna**
nitrowa pochodna tyrozyny — **żółty**
anion nitrowej pochodnej tyrozyny — **pomarańczowy**

Zastosowania

Białka

Żelatyna to mieszanina białek i peptydów, która powstaje w reakcji hydrolizy kolagenu. W przemyśle spożywczym pełni ona funkcję emulgatora oraz środka żelującego, np. w galaretkach. Natomiast w przemyśle chemicznym wykorzystuje się ją do produkcji amunicji używanej w paintballu.



■ Przemysł chemiczny

Do produkcji **klejów do tapet** wykorzystuje się kazeinę, która zalicza się do fosfoprotein. Natomiast kleje do drewna powstają na bazie glutenu.



■ Przemysł kosmetyczny

Keratynę stosuje się w **szamponach i odżywkach do włosów**. Wbudowuje się ona w ich strukturę, dzięki czemu działa regenerująco.

■ Przemysł spożywczy

Gluten, czyli mieszanina białek roślinnych, odgrywa ważną rolę podczas **wypieku pieczywa**. Dzięki niemu ciasto jest kleiste i ciągliwe.

Chemia w medycynie

Składnikiem suplementów diety wzmacniających stawy oraz układ kostny jest kolagen. Wzmacnia on chrząstki, więzadła i kości. Stosuje się go w leczeniu osteoporozy. Kolagen **zmniejsza także ból towarzyszący zapaleniu stawów.**



Inne przemiany białek

Substancje zawierające białko ulegają skomplikowanemu procesowi – **gniciu**. Zachodzi on **w warunkach beztlenowych** z udziałem bakterii gnilnych. W wyniku gnicia powstają związki chemiczne o nieprzyjemnym zapachu, np. siarkowodór H_2S. Końcowymi produktami gnicia są proste związki chemiczne, łatwo przyswajalne dla roślin, m.in. NH_3, CO_2, H_2O, H_2, N_2.

Jeśli rozkład substancji zawierających białko zachodzi **w warunkach tlenowych**, nazywany jest **butwieniem**. Produktami butwienia są m.in. CO_2, H_2O i NH_3. W wyniku butwienia powstaje kompost (fot. 157.), który stosuje się do wzbogacania gleby w próchnicę.



Fot. 157. Gnicie zachodzi, gdy do kompostownika dociera zbyt mała ilość tlenu.

Procesy te oraz jełczenie i fermentacja masłowa (patrz s. 266) są odpowiedzialne np. za psucie się żywności. Część produkowanej żywności od razu konsumujemy, pozostałą magazynujemy, ale z upływem czasu przechowywane produkty ulegają przemianom. Zachodzą one samoistnie lub pod wpływem mikroorganizmów. Żywność poddaje się więc obróbce, która ma na celu m.in. przedłużenie jej trwałości lub otrzymanie produktów o nowych walorach smakowych.

Odkrycia, które zmieniły świat – UHT

UHT (ang. ***U**ltra **H**igh **T**emperature processing*) to **proces sterylizacji** produktów żywnościowych, **polegający** na ich kilkusekundowym **ogrzewaniu** w temp. ponad 100°C **i błyskawicznym ochłodzeniu** do temperatury pokojowej. Taka sterylizacja niszczy drobnoustroje, umożliwiając kilkumiesięczne przechowywanie produktów bez zmian ich jakości.

Mleko UHT (fot. 158.) otrzymuje się przez ogrzewanie mleka w temp. 135–150°C przez 2–9 s i natychmiastowe schłodzenie do temp. ok. 20°C.



Fot. 158. Metoda UHT wydłuża trwałość mleka, jednak po otwarciu opakowania należy je przechowywać w lodówce.

Zastosowania

Konserwacja żywności

Żywność przetwarza się głównie w celu zahamowania rozwoju mikroorganizmów, a także po to, aby nadać jej nowe walory smakowe. Metody te polegają m.in. na usunięciu wody z żywności (suszenie), stworzeniu warunków do przebiegu odpowiedniej reakcji chemicznej (kiszenie) oraz na obróbce cieplnej (gotowanie).



Mrożenie

Obniżenie temperatury nie zatrzymuje rozwoju mikroorganizmów, a jedynie spowalnia proces psucia się żywności. Jednak kryształki lodu, które powstają podczas zamrażania, mogą niszczyć strukturę żywności, szczególnie takiej, jak owoce zawierające dużo wody. Do mrożenia w warunkach przemysłowych używa się m.in. **ciekłego N_2**, który zapobiega niszczeniu struktury żywności.



Liofilizacja

Metoda polegająca na **usunięciu wody z żywności**. Produkty zamraża się, a następnie usuwa H_2O przez sublimację – kryształki lodu przechodzą w parę wodną, która jest usuwana. Otrzymana w ten sposób żywność jest lekka, a jej walory smakowe można w części przywrócić przez ponowne zmieszanie z wodą. W tym procesie powstają m.in. owoce liofilizowane i kawa rozpuszczalna.



Wędzenie

Proces **obsuszania żywności dymem**, a także nadawania jej specyficznego wyglądu, smaku i zapachu. Działa grzybobójczo i bakteriobójczo. Wędzi się głównie ryby, mięso i sery. Niestety w skład dymu wchodzą substancje szkodliwe, więc coraz częściej zamiast wędzenia dodaje się do żywności barwniki i sztuczny aromat dymu wędzarniczego. Preparaty te nie mają właściwości konserwujących.



Peklowanie

Proces polegający na **nasycaniu mięsa mieszanką peklującą** – jej głównymi składnikami są **NaCl** oraz **sole kwasów azotowego(III)** i **azotowego(V)**. Efektem peklowania jest utrwalanie barwy, wytworzenie charakterystycznego smaku i zapachu mięsa oraz przedłużenie trwałości produktu poprzez zahamowanie wzrostu bakterii chorobotwórczych i gnilnych. Wadą peklowania jako metody konserwowania jest utrata części substancji odżywczych mięsa. Gotowanie peklowanego mięsa prowadzi do powstania związków rakotwórczych.

Suszenie

Duża zawartość wody sprzyja psuciu się żywności. Już **usunięcie** ok. 70% **wody** zabezpiecza przed rozwojem mikroorganizmów. W dzisiejszej kuchni często stosuje się suszone owoce, warzywa oraz grzyby.

Solenie i dodawanie cukru

Zwiększenie stężenia soli – chlorku sodu **NaCl** – powoduje wydzielanie się wody zarówno z mięsa, jak i z mikroorganizmów, które na nim występują. Na skutek tego procesu mikroorganizmy giną. W ten sposób konserwuje się głównie ryby i mięso.
Cukru – sacharozy – używa się do konserwowania przede wszystkim owoców. Już 50–60% zawartość **sacharozy** w dżemach i konfiturach uniemożliwia bakteriom przeżycie.



Marynowanie

Metoda utrwalania żywności i nadawania jej specyficznego smaku. Polega na **wykorzystaniu zalewy**, zawierającej głównie **10-procentowy roztwór kwasu octowego**. Kwasowe środowisko hamuje rozwój szkodliwych mikroorganizmów. Marynuje się głównie warzywa.



Pakowanie próżniowe

Usunięcie powietrza z opakowań, czyli **wytworzenie próżni**, zapobiega utlenianiu związków chemicznych obecnych w żywności i rozwojowi drobnoustrojów tlenowych. Próżniowo (w opakowania z tworzywa sztucznego) pakuje się m.in. sery i wędliny.



Pasteryzacja

Niszczenie mikroorganizmów przez **ogrzewanie żywności w szczelnie zamkniętych opakowaniach** (zwykle w temp. 80–95°C) przez określony czas. Pasteryzację stosuje się do utrwalania produktów kwaśnych, czyli o pH < 4,5, np. przetworów owocowych.



Kiszenie

Metoda **przetwarzania żywności z wykorzystaniem fermentacji mlekowej**. Kwas mlekowy wytwarza środowisko kwasowe, które podobnie jak w przypadku marynowania hamuje rozwój szkodliwych mikroorganizmów. Kisi się głównie kapustę, ogórki i pasze dla zwierząt.

Gotowanie

Obróbka żywności w wodzie **w wysokiej temperaturze** powoduje denaturację białek i rozkład skrobi. Ugotowane produkty łatwiej zjeść, są lekkostrawne. Niestety podczas gotowania traci się wiele cennych składników żywności, np. witaminy.

Wpływ składników żywności na organizm

Warunkiem prawidłowego funkcjonowania organizmu jest dostarczanie mu wraz z pokarmem odpowiedniej ilości **składników odżywczych**. Należą do nich pierwiastki i związki chemiczne, takie jak białka, tłuszcze, sacharydy (nazywane potocznie cukrami lub węglowodanami), witaminy i sole mineralne.

Ze względu na funkcje pełnione w organizmie składniki odżywcze można podzielić na trzy grupy.

składniki odżywcze

budulcowe
dostarczają organizmowi materiału m.in. do budowy tkanek
- białka i niektóre sole mineralne, np. $CaCO_3$, $Ca_3(PO_4)_2$

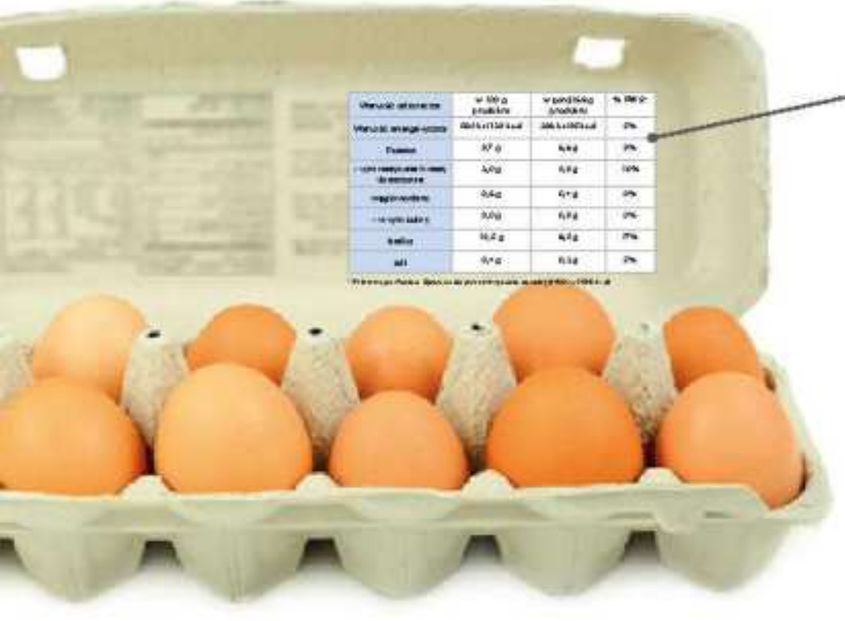
energetyczne
stanowią główne źródło energii potrzebnej do pracy mięśni
- sacharydy i tłuszcze

regulujące
pomagają regulować procesy zachodzące w organizmie, np. proces trawienia
- witaminy, woda, sole mineralne, niektóre białka (enzymy i hormony)

Ilość składników odżywczych w produktach żywnościowych określa **wartość odżywcza**, którą najczęściej wyraża się w g/100 g produktu. Z kolei **wartość energetyczna** pokarmu to ilość energii, jaką organizm może przyswoić w wyniku jego strawienia. Wartość energetyczną wyraża się w kilodżulach na gram ($\frac{kJ}{g}$) lub w kilokaloriach na gram ($\frac{kcal}{g}$).

Na opakowaniach produktów żywnościowych oprócz danych dotyczących wartości odżywczej składników znajdują się najczęściej informacje przedstawione zgodnie z systemem RWS, czyli referencyjna wartość spożycia.

Oznaczenia te (rys. 60.) wskazują liczbę kilokalorii (kcal) oraz ilość składników odżywczych zawartych w jednej porcji produktu (procent masowy). Wszystkie dane o referencyjnej wartości spożycia przedstawione w oznaczeniach RWS wyliczono na podstawie badań naukowych dla zdrowej dorosłej osoby o prawidłowej wadze i normalnym poziomie aktywności fizycznej.



Wartość odżywcza	w 100 g produktu	w porcji 68 g produktu	%RWS*
Wartość energetyczna	582 kJ/139 kcal	396 kJ/95 kcal	5%
Tłuszcz	9,7 g	6,6 g	9%
– tym nasycone kwasy tłuszczowe	3,0 g	2,0 g	10%
Węglowodany	0,6 g	0,4 g	0%
– w tym cukry	0,0 g	0,0 g	0%
Białko	12,5 g	8,5 g	17%
Sól	0,4 g	0,3 g	5%

* Referencyjna wartość spożycia dla przeciętnej osoby dorosłej (8400 kJ/2000 kcal).

Rys. 60. Wartości %RWS podaje się w odniesieniu do jednej porcji produktu.

Dodatki do żywności

Już od wieków starano się nadać żywności jak najdłuższą trwałość, wydobyć jej walory smakowe oraz uatrakcyjnić spożywane posiłki. Solenie, suszenie, kiszenie oraz marynowanie z czasem okazały się niewystarczające. Zaczęto stosować **dodatki do żywności**, czyli substancje, które nie są jej typowymi składnikami. Używa się ich m.in. po to, aby ochronić żywność przed utratą składników odżywczych i polepszyć jej smak. Obecnie większość produktów żywnościowych wytwarza się z udziałem dodatków, które wpływają na trwałość i jakość jedzenia. Jako dodatki stosuje się:

- przeciwutleniacze – zapobiegają ciemnieniu owoców czy utlenianiu tłuszczów,
- substancje konserwujące – hamują procesy psucia się żywności,
- syntetyczne substancje słodzące – stosowane są jako zamienniki cukru w produktach typu light,
- barwniki naturalne i sztuczne – nadają lub przywracają żywności barwę (tabela 36.),
- aromaty – nadają żywności smak i zapach,
- regulatory kwasowości – zmieniają kwasowość żywności,
- emulgatory – utrzymują trwałość emulsji,
- substancje zagęszczające – zwiększają objętość.

Tabela 36. Wybrane barwniki naturalne

Nazwy	Barwy	Przykłady występowania
karoteny	żółta, pomarańczowa, czerwona	marchew 
antocyjany	niebieska, fioletowa, czerwona	bakłażan 
likopen	czerwona	pomidor 
chlorofil	zielona	sałata 

Krok po kroku

Przegląd dodatków do żywności

Obecnie większość produktów spożywczych zawiera dodatki, które decydują m.in. o ich trwałości i jakości. Najczęściej wykorzystywanymi dodatkami są barwniki, przeciwutleniacze, syntetyczne substancje słodzące, aromaty, regulatory kwasowości, emulgatory, substancje zagęszczające oraz substancje konserwujące.

dodatki do żywności

naturalne
otrzymane z surowców naturalnych metodami fizycznymi

identyczne z naturalnymi
mają takie same właściwości jak dodatki naturalne, np. syntetyczna substancja o zapachu gorzkich migdałów

syntetyczne
otrzymane w wyniku syntezy chemicznej

sztuczne
nie występują naturalnie i otrzymuje się je wyłącznie w wyniku syntezy chemicznej, np. aspartam stosowany jako słodzik

Jak oznacza się dodatki do żywności?

Każda substancja dodatkowa jest opatrzona **numerem identyfikacyjnym** stosowanym w międzynarodowym systemie INS (ang. *International **N**umbering **S**ystem*) **oraz symbolem „E”**. Symbol „E” umieszczony na opakowaniu jest deklaracją producenta, że zastosowane substancje dodatkowe są na liście zatwierdzonej przez Unię Europejską. Kody te stosuje się m.in. dlatego, że nazwy chemiczne substancji mogą być długie, co utrudniałoby wymienienie na etykiecie wszystkich składników produktu. Symbol „E” nie oznacza, że substancja ma właściwości szkodliwe dla zdrowia.



E 110
żółcień pomarańczowa — dodatek syntetyczny

E 220
tlenek siarki(IV) — dodatek syntetyczny

E 260
kwas octowy — dodatek identyczny z naturalnym

E 330
kwas cytrynowy — dodatek identyczny z naturalnym

E 460
celuloza — dodatek naturalny

E 951
aspartam — sztuczna substancja słodząca

aromaty — substancje te, ze względu na różnorodność, są grupą dodatków do żywności bez symbolu „E” i numeru

- **barwniki** nadają lub przywracają żywności barwę — np.: karoten (**E 160a**), chlorofil (**E 140**), karmel syntetyczny (**E 150d**)
- **przeciwutleniacze**, nazywane też antyoksydantami, zapobiegają ciemnieniu owoców czy utlenianiu tłuszczów — np.: witamina C (**E 300**), kwas cytrynowy (**E 330**), kwas fosforowy(V) (**E 338**)
- **syntetyczne substancje słodzące są** stosowane jako zamienniki cukru w produktach typu light — np.: sacharyna (**E 954**), aspartam (**E 951**), acesulfam K (**E 950**)
- **aromaty** nadają żywności odpowiedni smak oraz zapach — np.: cytral, limonen, butanian etylu
- **regulatory kwasowości są** stosowane w celu zmiany kwasowości oraz zwiększenia trwałości żywności — np.: kwas octowy (**E 260**), octan wapnia (**E 263**), kwas mlekowy (**E 270**)
- **emulgatory** utrzymują trwałość emulsji, natomiast **substancje zagęszczające** tworzą żele lub pęcznieją, co powoduje zwiększenie objętości produktu — np.: agar (**E 406**), mączka chleba świętojańskiego (**E 410**), guma arabska (**E 414**)
- **substancje konserwujące** hamują zachodzące w żywności procesy spowodowane działaniem enzymów i mikroorganizmów — np.: kwas propionowy (**E 280**), benzoesan sodu (**E 211**), tlenek siarki(IV) (**E 220**)



◀ **Aspartam (E 951)**, czyli syntetyczna substancja słodząca, jest niskokaloryczny i mogą go stosować osoby chore na cukrzycę.



▲ **Guma arabska (E 414)**, pochodząca z drzewa akacji senegalskiej, to emulgator i substancja zagęszczająca wyrobów cukierniczych, żelek, pastylek oraz cukierków ślazowych.



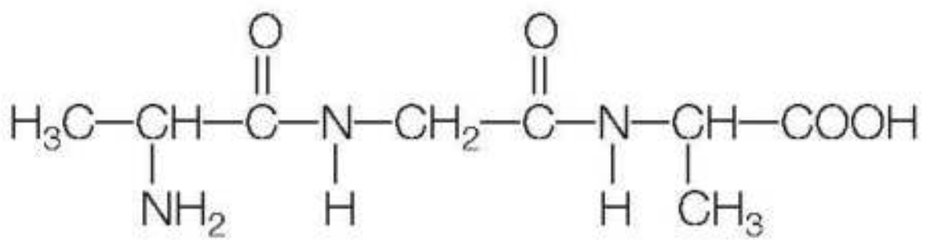
◀ **Butanian etylu** stosuje się w przemyśle spożywczym jako aromat do ciast.

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Hemoglobina krwi zawiera 0,355% żelaza. **Oblicz masę cząsteczkową hemoglobiny, wiedząc, że w jej cząsteczce znajduje się jeden atom żelaza.**

2. Poniżej przedstawiono wzór pewnego peptydu.



a) **Napisz równanie reakcji hydrolizy tego peptydu.**

b) **Wskaż, który z produktów hydrolizy jest związkiem czynnym optycznie. Odpowiedź uzasadnij.**

3. Korzystając z różnych źródeł informacji, wymień przykłady białek katalitycznych, hormonalnych i transportowych. Wyjaśnij, jakie funkcje pełnią w organizmie.

4. Uzupełnij zdania.

a) Sekwencja aminokwasów w łańcuchu peptydowym określa [?] strukturę białka.

b) Wiązania jonowe i disulfidowe są odpowiedzialne za [?] strukturę białka.

c) Pod wpływem alkoholu białko ulega [?].

d) Hemoglobina jest przykładem białka o [?] strukturze.

e) Struktura drugorzędowa białka powstaje na skutek tworzenia się [?].

f) Pozytywny wynik próby ksantoproteinowej potwierdza obecność w białku [?].

g) Pozytywny wynik próby biuretowej potwierdza obecność w białku [?].

5. Dopasuj nazwy sposobów konserwowania żywności wymienionych w punkcie a) do substancji lub procesów w nich stosowanych podanych w punkcie b).

a) wędzenie, mrożenie, pasteryzacja, peklowanie, kiszenie, marynowanie

b) fermentacja mlekowa, wytworzenie próżni, dym, roztwór kwasu etanowego, chlorek sodu, temp. 80–95°C, ciekły azot

6. Gąbczasta encefalopatia bydła, zwana potocznie chorobą szalonych krów, jest spowodowana gromadzeniem się w ośrodkowym układzie nerwowym nieprawidłowej izoformy białka prionowego PrP. Białko prionu występuje w dwóch formach: prawidłowej PrP^{C}, kodowanej przez gen PRNP, oraz nieprawidłowej PrP^{Sc}, powstającej w wyniku konwersji formy prawidłowej. Mechanizm przekształcania się formy prawidłowej w nieprawidłową nie został dotychczas wyjaśniony. O obu izoformach wiadomo, że różnią się strukturą przestrzenną przy identycznej sekwencji aminokwasowej. W strukturze PrP^{C} obecne są dwie α-helisy i dwie harmonijki β, a w formie PrP^{Sc} przeważają struktury typu β.

Oceń prawdziwość podanych informacji. Zaznacz P, jeśli informacja jest prawdziwa, albo F – jeśli jest fałszywa.

1.	Izoformy PrP^{C} i PrP^{Sc} różnią się strukturą pierwszorzędową.	P	F
2.	α-helisa i harmonijka β to przykłady struktur drugorzędowych białka.	P	F
3.	Konwersja prawidłowej formy prionu PrP^{C} do formy PrP^{Sc} odpowiedzialnej za chorobę jest związana ze zmianą struktury drugorzędowej łańcucha polipeptydowego.	P	F

Informacja do zadań 7.–9.

Dany jest pewien tripeptyd zbudowany z trzech różnych aminokwasów białkowych.
O aminokwasach tych wiadomo, że:

- jeden z nich jest zbudowany tylko z dwóch atomów węgla,
- wartość punktu izoelektrycznego jednego z aminokwasów jest najniższa spośród wszystkich aminokwasów białkowych,
- aminokwasem C-końcowym jest aminokwas zdolny do tworzenia mostków disulfidowych (disiarczkowych).

7. Za pomocą trójliterowych kodów napisz wszystkie możliwe sekwencje opisanego tripeptydu.

8. Narysuj wzór półstrukturalny jonu obojnaczego aminokwasu C-końcowego.

9. Uczeń otrzymał zadanie przeprowadzenia próby, która umożliwi odróżnienie tripeptydu opisanego w informacji do zadania od tripeptydu o sekwencji aminokwasowej Ser-Tyr-Phe. W tym celu postanowił przeprowadzić doświadczenie chemiczne, w którym na wodne roztwory obydwu tripeptydów działał stężonym roztworem kwasu azotowego(V).

a) **Podaj nazwę próby, jaką postanowił przeprowadzić uczeń.**

b) **Określ, czy dodanie $HNO_{3(stęż.)}$ umożliwi odróżnienie wodnych roztworów obydwu tripeptydów. Odpowiedź uzasadnij.**

10. Zaznacz, które z poniższych reakcji nie są wspólne dla peptydu Ala-Ser-Gly i dla mieszaniny produktów jego hydrolizy. Uzasadnij swój wybór, odwołując się do budowy tych związków.

1. Reakcja biuretowa.
2. Reakcja estryfikacji.
3. Reakcja hydrolizy.
4. Reakcja spalania.

11. Trwała ondulacja włosów, które składają się przede wszystkim z keratyny o strukturze α-helisy, jest wynikiem częściowej denaturacji tego białka. Do rozerwania mostków disulfidowych między nitkami białka tworzącymi włos używa się łagodnych reduktorów. Następnie za pomocą łagodnych utleniaczy odtwarza się mostki.

P. Atkins, L. Jones, *Chemia ogólna. Cząsteczki, materia, reakcje*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004.

Uzupełnij poniższe zdania, wybierając w każdym nawiasie właściwe określenie.

Strukturę α-helisy w łańcuchu białkowym utrzymują (wiązania jonowe / mostki disulfidowe / wiązania wodorowe).
Mostki disulfidowe determinują strukturę (drugorzędową / trzeciorzędową).
Końcowym produktem hydrolizy keratyny są związki należące do grupy (aminokwasów / dipeptydów).

29. Sacharydy

Sacharydy (cukry, węglowodany) – związki organiczne zbudowane z węgla, wodoru i tlenu, o wzorze ogólnym $C_n(H_2O)_m$.

Sacharydy, nazywane potocznie **cukrami**, są kolejną grupą wielofunkcyjnych pochodnych węglowodorów.

■ Rodzaje sacharydów

Ze względu na budowę cząsteczek sacharydy dzielą się na:

sacharydy (cukry)

cukry proste

monosacharydy
Sacharydy o najprostszej budowie – zawierają 3–8 atomów węgla w cząsteczce.

wzór ogólny monosacharydów

$C_n(H_2O)_m$

gdzie $n = m$

np.
- **glukoza**
- **fruktoza**

$C_6H_{12}O_6$

cukry złożone

oligosacharydy
Ich cząsteczki są zbudowane z 2–10 monosacharydów.
Te złożone z 2 monosacharydów to **disacharydy**.

polisacharydy
Ich cząsteczki są zbudowane z więcej niż 10 monosacharydów.

wzór ogólny oligosacharydów i polisacharydów

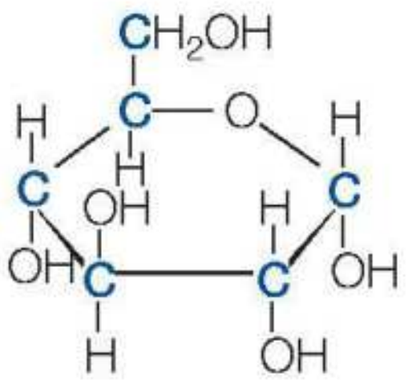
$C_n(H_2O)_m$

gdzie $n > m$

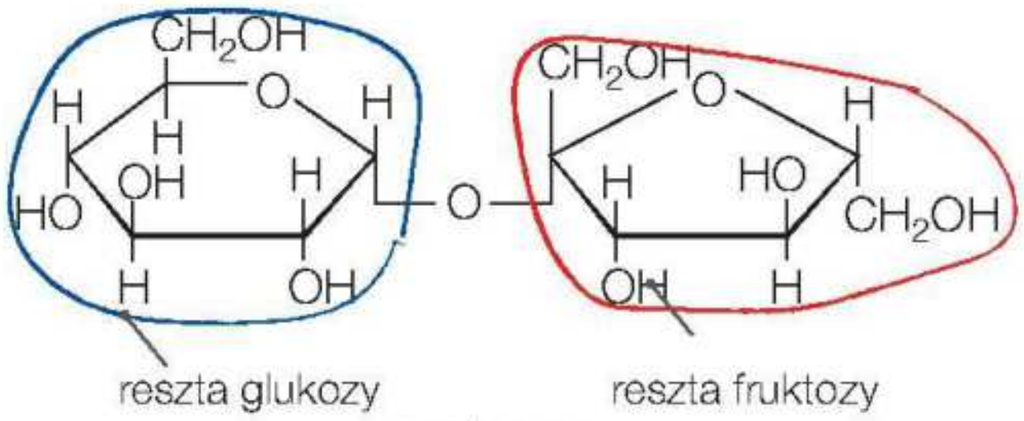
np.
- **sacharoza**
- **maltoza**
- **laktoza**

$C_{12}H_{22}O_{11}$

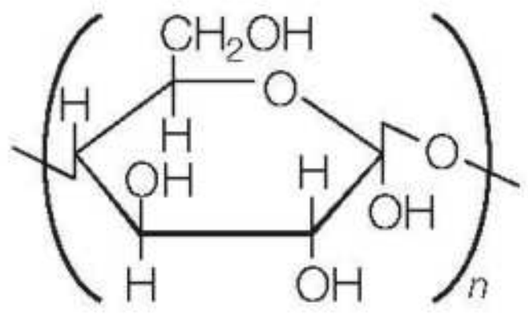
np.
- **skrobia** $(C_6H_{10}O_5)_n$ gdzie: $n = 300–400$
- **celuloza** $(C_6H_{10}O_5)_n$ gdzie: $n = 100–10\,000$



glukoza



sacharoza



fragment łańcucha celulozy

■ Budowa cząsteczek sacharydów

Sacharydy w swoich cząsteczkach zawierają jedną lub kilka grup hydroksylowych oraz jedną grupę karbonylową – aldehydową lub ketonową.

Wzór ogólny sacharydów:

Wzór ogólny sacharydów ▶ $C_n(H_2O)_m$

gdzie:
n i m – liczby naturalne; $n \geq 3$; $n \geq m$.

Stosunek liczby atomów wodoru do tlenu w cząsteczkach sacharydów jest zazwyczaj taki sam jak w cząsteczce wody, tzn. 2 : 1. Stąd też pochodzi historyczna nazwa sacharydów – **węglowodany**.

Skład pierwiastkowy sacharydów

Doświadczenie 65. H_2SO_4

Badanie składu pierwiastkowego sacharydów

Odczynniki: cukier, stężony roztwór kwasu siarkowego(VI).
Szkło laboratoryjne: zlewka, bagietka.
Instrukcja: Do zlewki wsyp łyżeczkę cukru i dodawaj stężony roztwór kwasu siarkowego(VI) aż do całkowitego zwilżenia cukru.



Fot. 159. Zachowanie cukru pod wpływem stężonego roztworu H_2SO_4.

Obserwacje: Cukier żółknie (fot. 159.). Po kilku minutach jego barwa zmienia się na ciemniejszą, aż staje się czarny. Mieszanina cukru ze stężonym roztworem kwasu siarkowego(VI) pęcznieje.
Wniosek: Stężony roztwór kwasu siarkowego(VI) jest substancją higroskopijną, pochłania więc wodę związaną chemicznie w cząsteczce cukru, a w zlewce zostaje węgiel. Wynika stąd, że w skład sacharydów wchodzą: **węgiel**, **wodór** oraz **tlen**.

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. **Oblicz procentową zawartość** (procent wagowy) **węgla, wodoru i tlenu w cząsteczkach:**
   a) glukozy $C_6H_{12}O_6$,
   b) sacharozy $C_{12}H_{22}O_{11}$.
2. **Oblicz, ile moli sacharozy należy użyć do sporządzenia 2 dm^3 syropu o zawartości 45% tego związku chemicznego i gęstości równej 1,43 $\frac{g}{cm^3}$.**
3. Roztwór stosowany do wlewów dożylnych (kroplówek) zawiera 5% glukozy. **Oblicz, ile moli glukozy zasiliło organizm pacjenta, który otrzymał 500 cm^3 takiego roztworu o gęstości równej 1,1 $\frac{g}{cm^3}$.**

30. Monosacharydy

Monosacharydy, czyli cukry proste, to sacharydy o najprostszej budowie, które zawierają w swoich cząsteczkach od 3 do 8 atomów węgla.

Cząsteczki monosacharydów mają **kilka grup hydroksylowych** —OH i **jedną grupę karbonylową**: aldehydową H—C(=O)— lub ketonową —C(=O)—

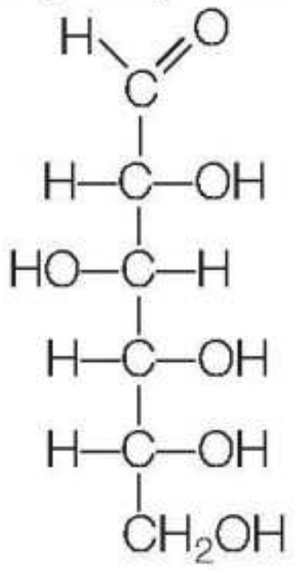
■ Rodzaje monosacharydów

Monosacharydy dzieli się ze względu na:

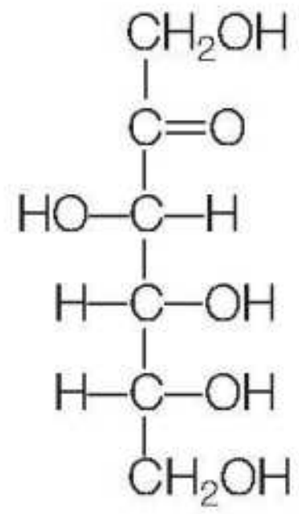
- **rodzaj grupy funkcyjnej** obecnej w ich cząsteczkach:

monosacharydy

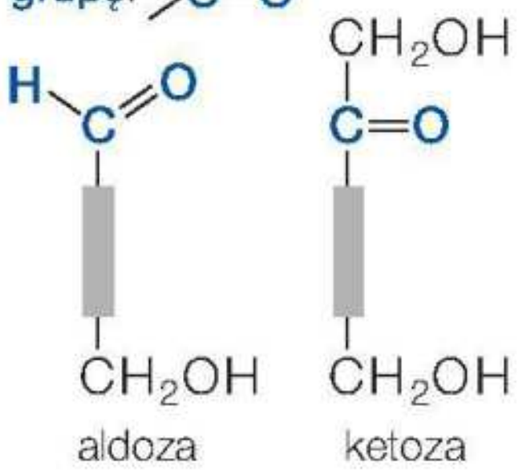
aldozy (polihydroksyaldehydy) zawierają grupy hydroksylowe —OH i grupę aldehydową —CHO, np.



ketozy (polihydroksyketony) zawierają grupy hydroksylowe —OH i grupę ketonową >C=O, np.



Aldozy zawierają w cząsteczce **grupę —CHO, ketozy** – **grupę: >C=O**



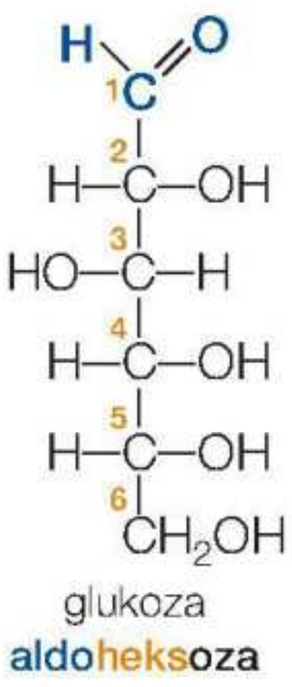
aldoza ketoza

- **liczbę atomów węgla** w cząsteczce (tabela 37.).

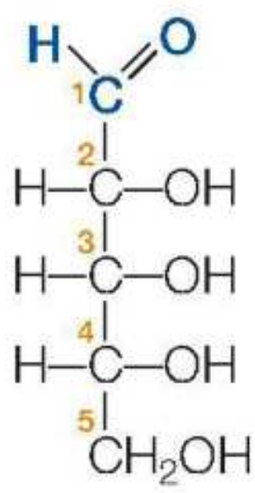
Triozy zawierają 3 atomy węgla w cząsteczce, **tetrozy** – 4, **pentozy** – 5, **heksozy** – 6. Najpowszechniej występującymi w przyrodzie monosacharydami są pentozy i heksozy. **Glukoza jest aldoheksozą, ryboza – aldopentozą,** a **fruktoza – ketoheksozą**.

Tabela 37. Klasyfikacja monosacharydów ze względu na liczbę atomów węgla w cząsteczce

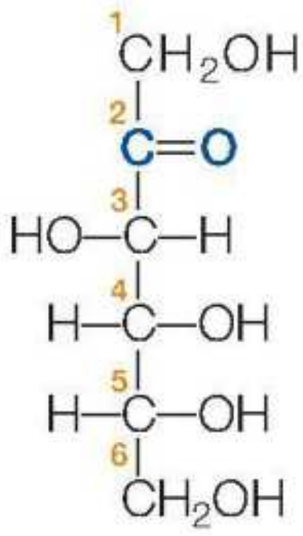
Liczba atomów węgla w cząsteczce	Nazwa systematyczna
3	trioza
4	tetroza
5	pentoza
6	heksoza
7	heptoza
8	oktoza



glukoza
aldoheksoza



ryboza
aldopentoza



fruktoza
ketoheksoza

■ Występowanie monosacharydów

Monosacharydy (cukry proste) występują w przyrodzie głównie jako składniki disacharydów (dwucukrów) i polisacharydów (wielocukrów).

W postaci wolnej można je wyodrębnić m.in. z owoców, warzyw oraz miodu. Tkanki niektórych roślin w wyniku uszkodzenia mogą produkować tzw. gumę. Przykładem tego typu wydzieliny jest m.in. guma arabska (fot. 160.). W jej skład wchodzi m.in. arabinoza $C_5H_{10}O_5$. Innymi monosacharydami, które znajdują się w gumach roślinnych, np. czereśniowych, śliwowych, migdałowych, są ksyloza $C_5H_{10}O_5$ i mannoza $C_6H_{12}O_6$.



Fot. 160. Guma arabska to substancja pozyskiwana m.in. z akacji senegalskiej.

Nazewnictwo monosacharydów

Nazwy systematyczne sacharydów są długie i skomplikowane, więc są rzadko stosowane. Zwykle używa się nazw zwyczajowych z charakterystyczną dla nich końcówką **-oza**, np. glukoza (*gluko*-heksoza), galaktoza (*galakto*-heksoza), fruktoza (*arabino*-heks-2-uloza).

Otrzymywanie monosacharydów

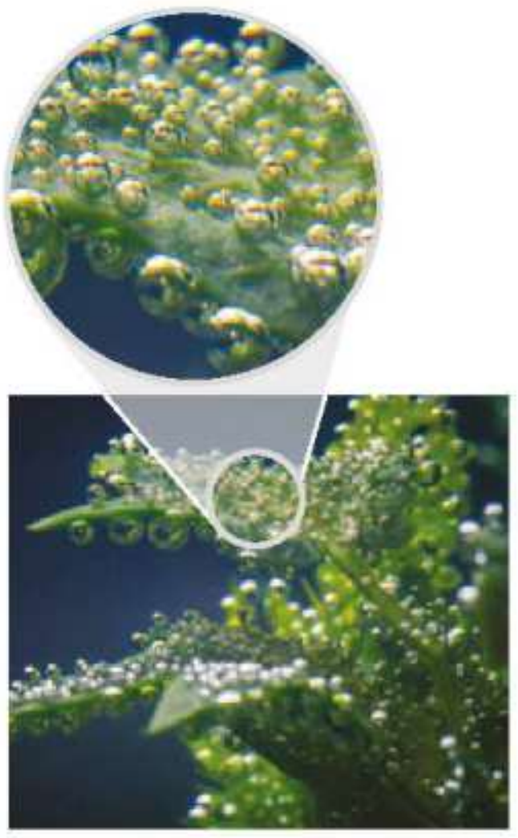
Glukoza powstaje w reakcji **fotosyntezy**. Jest to złożony proces fotochemiczny polegający na przekształcaniu tlenku węgla(IV) i wody w glukozę i tlen (fot. 161.). Fotosynteza zachodzi w roślinach pod wpływem światła słonecznego w obecności katalizatora, jakim jest zielony barwnik roślin – chlorofil. Schematycznie **proces fotosyntezy** można zapisać w postaci równania:

$$\underset{\text{tlenek węgla(IV)}}{6\,CO_2} + \underset{\text{woda}}{6\,H_2O} \xrightarrow{\text{energia słoneczna, chlorofil}} \underset{\text{glukoza}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{tlen}}{6\,O_2\uparrow}$$

proces fotosyntezy

Fotosynteza to ciąg reakcji chemicznych zachodzący pod wpływem światła. W ich efekcie następuje zamiana energii słonecznej w energię wiązań chemicznych. **Wiązanie CO_2 oraz wytwarzanie glukozy i tlenu to jeden z najważniejszych procesów w cyklicznym obiegu węgla w przyrodzie.**

Fotosynteza jest złożonym, wieloetapowym procesem, w którym uczestniczą liczne pośrednie związki chemiczne. Ocenia się, że w tym procesie w ciągu roku powstaje na Ziemi ok. 10^{11} t (100 mld t) glukozy. Żaden inny związek chemiczny, naturalny czy syntetyczny, nie powstaje na taką skalę.



Fot. 161. Rośliny wodne przeprowadzają fotosyntezę pod wodą. Jej widocznym efektem są pęcherzyki wytworzonego gazu – tlenu.

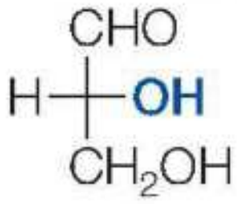
Izomeria monosacharydów

Glukoza i fruktoza to monosacharydy o takim samym wzorze sumarycznym – $C_6H_{12}O_6$. Te związki chemiczne różnią się grupami funkcyjnymi. Glukoza jest aldozą i zawiera grupę aldehydową, natomiast fruktoza – ketozą i zawiera grupę karbonylową. Związki te występują w postaci izomerów funkcyjnych (patrz s. 123).

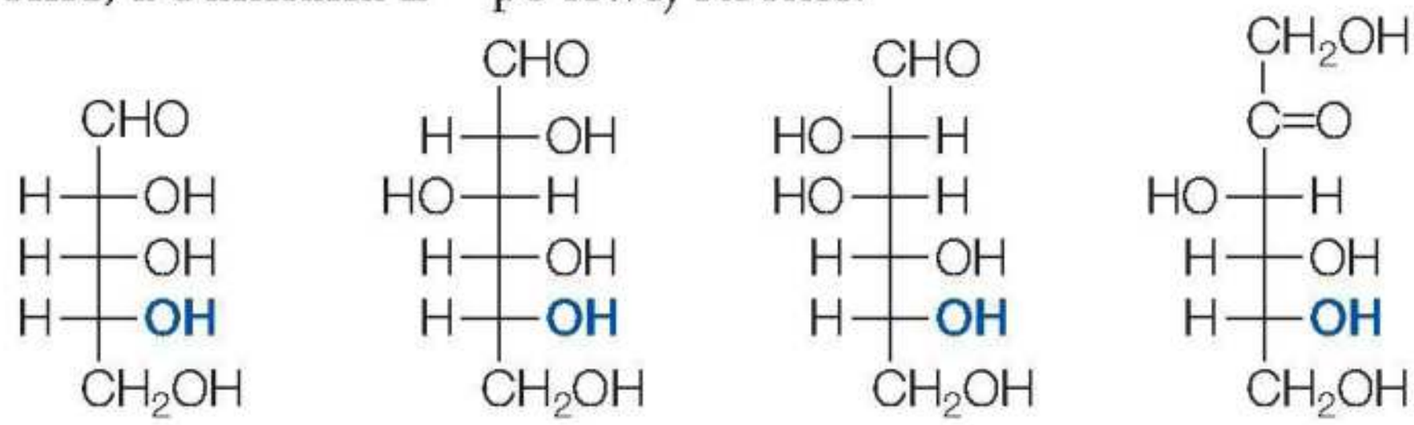
Aldopentoza o trzech centrach chiralności w cząsteczce, zgodnie ze wzorem 2^n (patrz s. 323), może tworzyć osiem izomerów optycznych, a aldoheksoza, mająca cztery centra chiralności w cząsteczce, aż szesnaście.

W środowisku przyrodniczym występują głównie sacharydy o **konfiguracji D**.

Wzór aldehydu D-glicerynowego:

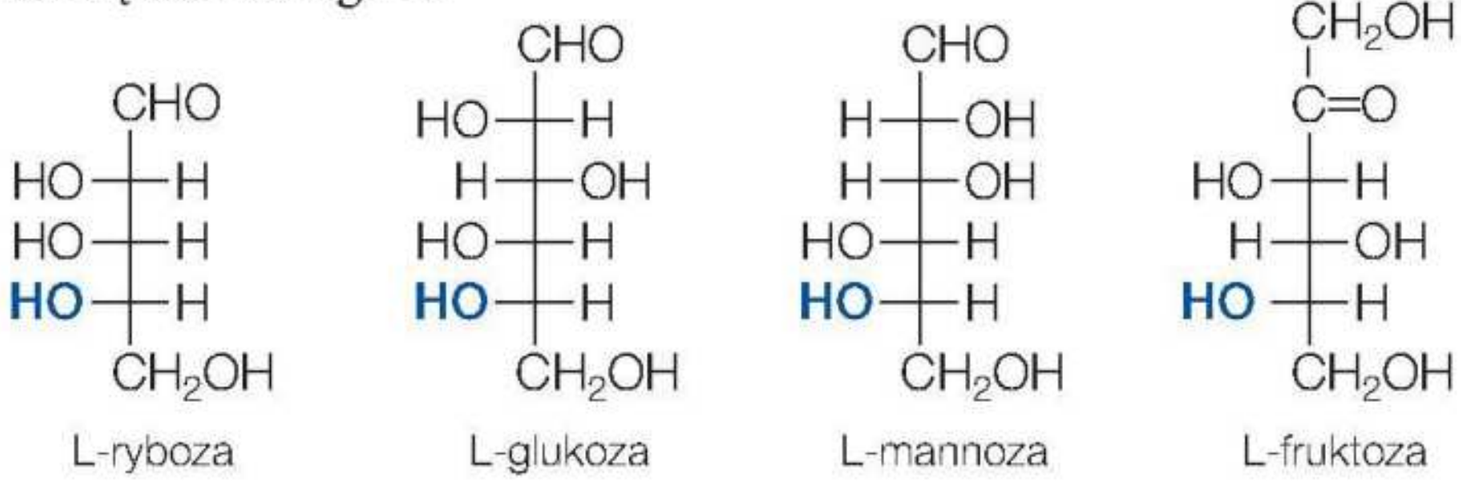


Za podstawę podziału monosacharydów na izomery D i L przyjmuje się rozmieszczenie w ich cząsteczkach grupy hydroksylowej –OH przy **ostatnim centrum chiralności**. **Odmiana D** ma tę grupę **po prawej stronie**, a **odmiana L** – po lewej stronie:



D-ryboza D-glukoza D-mannoza D-fruktoza

Lustrzane odbicia – enancjomery – związków chemicznych szeregu D należą do szeregu L:



L-ryboza L-glukoza L-mannoza L-fruktoza

Wszystkie naturalne sacharydy należą do szeregu konfiguracyjnego D.

Wzory monosacharydów – wzory Fischera i Hawortha

Atomy węgla w cząsteczkach monosacharydów mogą być różnie ułożone w przestrzeni, czyli mogą mieć różne **konfiguracje**. Tworzą wówczas łańcuchy lub pierścienie.

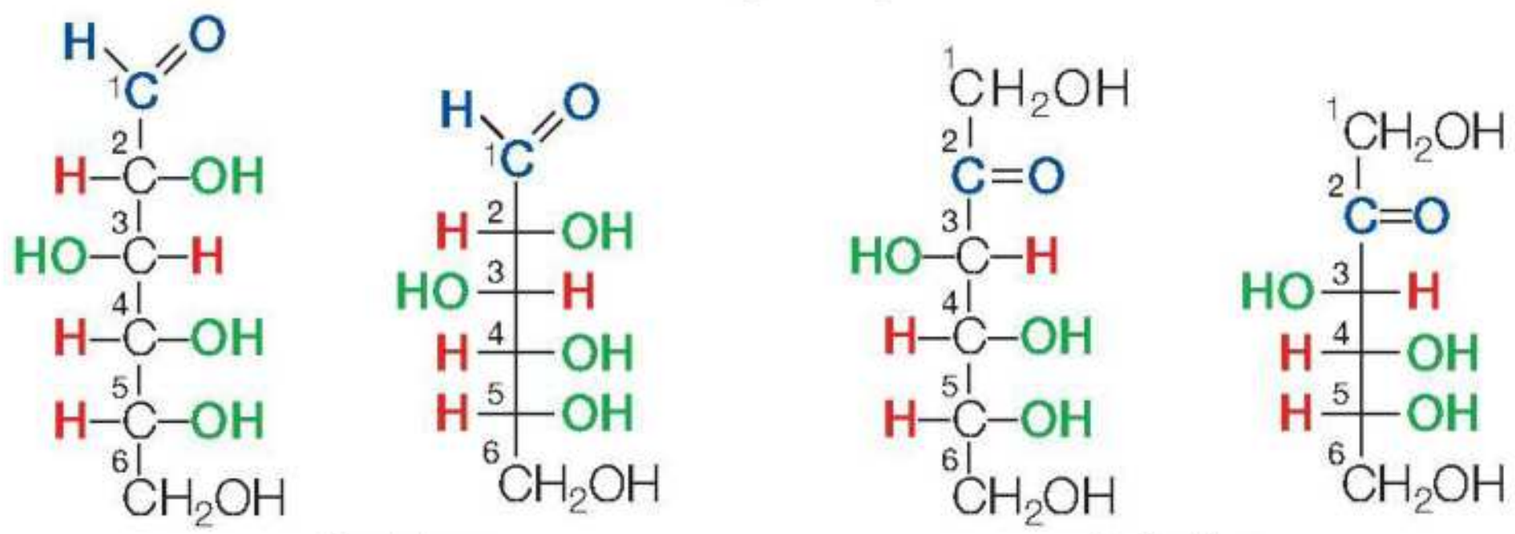
Konfiguracje łańcuchowe monosacharydów przedstawia się za pomocą **wzorów Fischera**. Ich **przestrzenne struktury pierścieniowe** przedstawia się za pomocą **wzorów Hawortha**, nazywanych **wzorami taflowymi**.

zasady zapisywania cząsteczek wzorami Fischera

Zapisując wzory cząsteczek monosacharydów, należy pamiętać, że we wzorach Fischera:

- **grupę aldehydową** lub **ketonową zaznacza się zawsze u góry**, a łańcuch węglowy zapisuje się pionowo i numeruje atomy węgla od góry do dołu;
- **podstawniki** (**grupy hydroksylowe** i **atomy wodoru**) rozmieszcza się po obu stronach łańcucha węglowego:

wzory Fischera monosacharydów

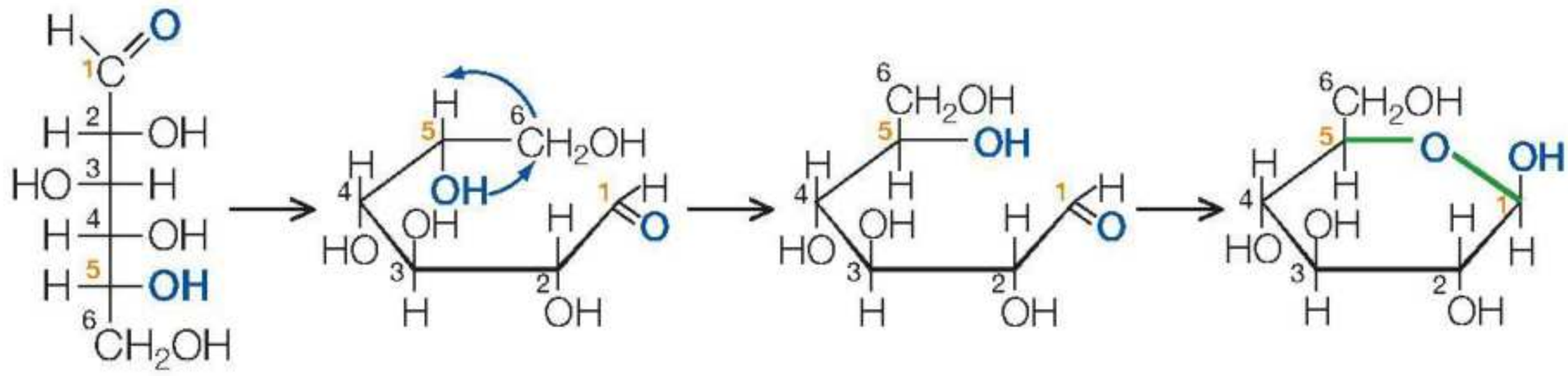


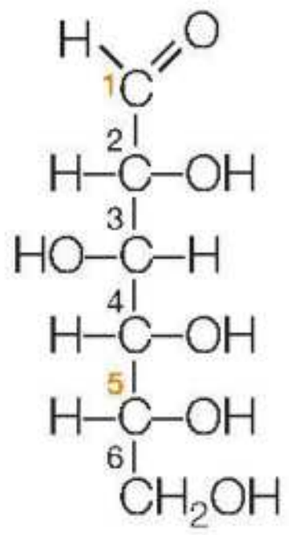
D-glukoza D-fruktoza

Grupa aldehydowa (lub ketonowa) może reagować z grupą hydroksylową związaną z przedostatnim atomem węgla w cząsteczce monosacharydu. Wówczas między atomami węgla C_1 i C_5 w aldoheksozach (lub C_2 i C_5 w ketoheksozach) tworzy się tzw. **wiązanie półacetalowe** (hemiacetalowe).

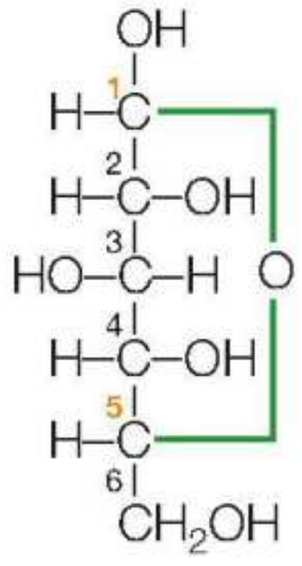
Wiązanie półacetalowe (hemiacetalowe) – wiązanie utworzone między atomem węgla grupy karbonylowej a przedostatnim atomem węgla łańcucha głównego.

Schemat tworzenia formy **pierścieniowej glukozy**:

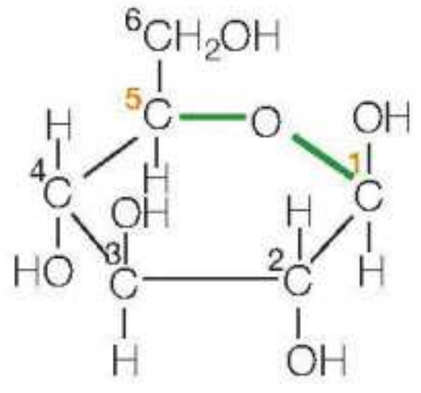




wzór liniowy D-glukozy



wzór pierścieniowy D-glukozy



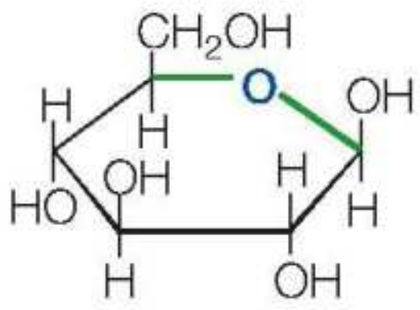
wzór taflowy D-glukozy

— wiązanie półacetalowe

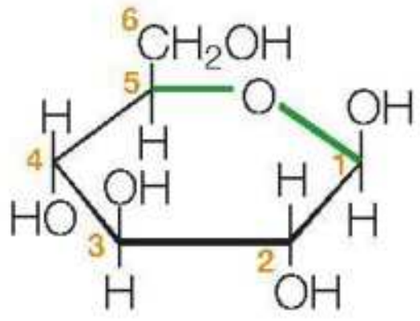
Przestrzenne struktury pierścieniowe przedstawia się za pomocą **wzorów Hawortha**, które tworzy się zgodnie z trzema zasadami:

Zasada 1. W pierścieniach sześcioczłonowych **atom tlenu** tworzący wiązanie hemiacetalowe **umieszcza się w prawym górnym rogu**:

zasady zapisywania cząsteczek wzorami Hawortha

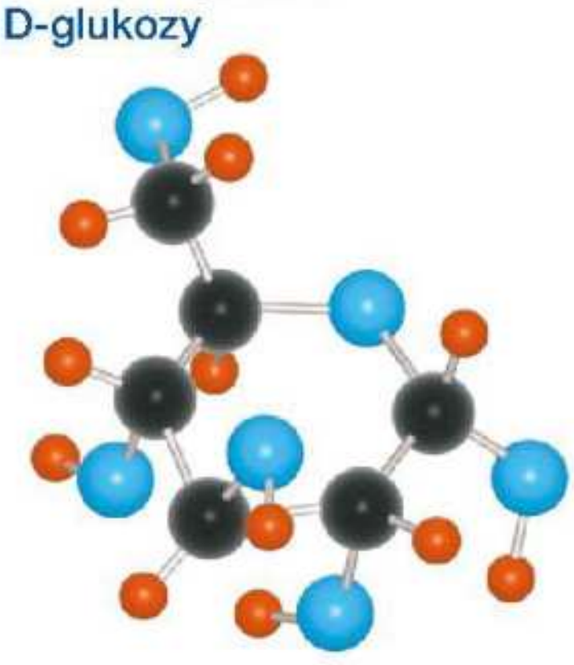


Zasada 2. Najdalej na prawo w pierścieniu znajduje się atom węgla C_1 – atom węgla pochodzący z grupy karbonylowej. Pozostałe atomy węgla numeruje się od C_1, zgodnie z ruchem wskazówek zegara:



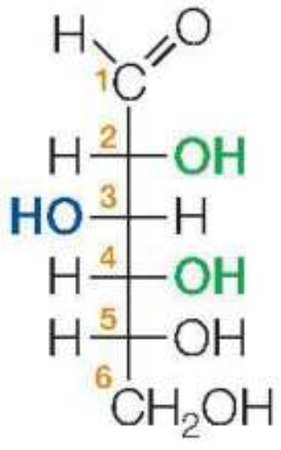
Zasada 3. Podstawniki umieszcza się **pod płaszczyzną pierścienia**, jeśli we wzorze Fischera były po **prawej stronie**, lub **nad płaszczyzną pierścienia**, jeśli we wzorze Fischera były po **lewej stronie**. Pierścień monosacharydu jest przedstawiany jako płaski i widziany od strony krawędzi.

model cząsteczki D-glukozy

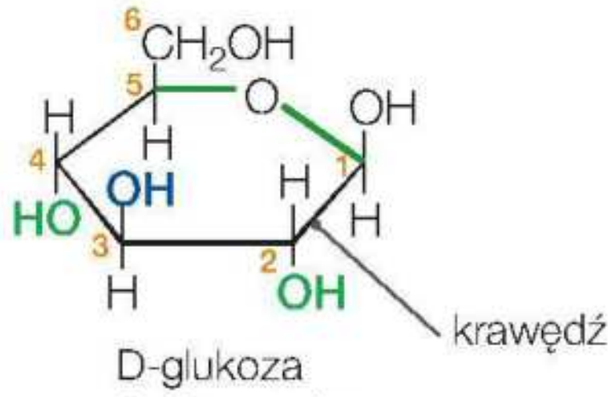


Modele atomów:
węgla, tlenu, wodoru

wzory cząsteczki glukozy



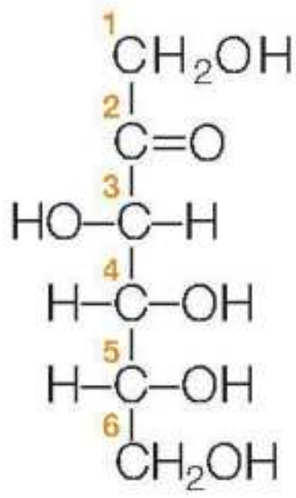
D-glukoza
wzór Fischera



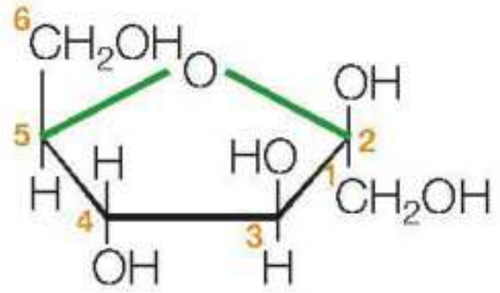
D-glukoza
wzór Hawortha

Cząsteczka aldoheksozy (np. glukozy) przyjmuje formę pierścienia sześcioczłonowego, natomiast cząsteczka ketoheksozy (np. fruktozy) – formę pierścienia pięcioczłonowego:

wzory cząsteczki fruktozy



D-fruktoza
wzór Fischera



D-fruktoza
wzór Hawortha

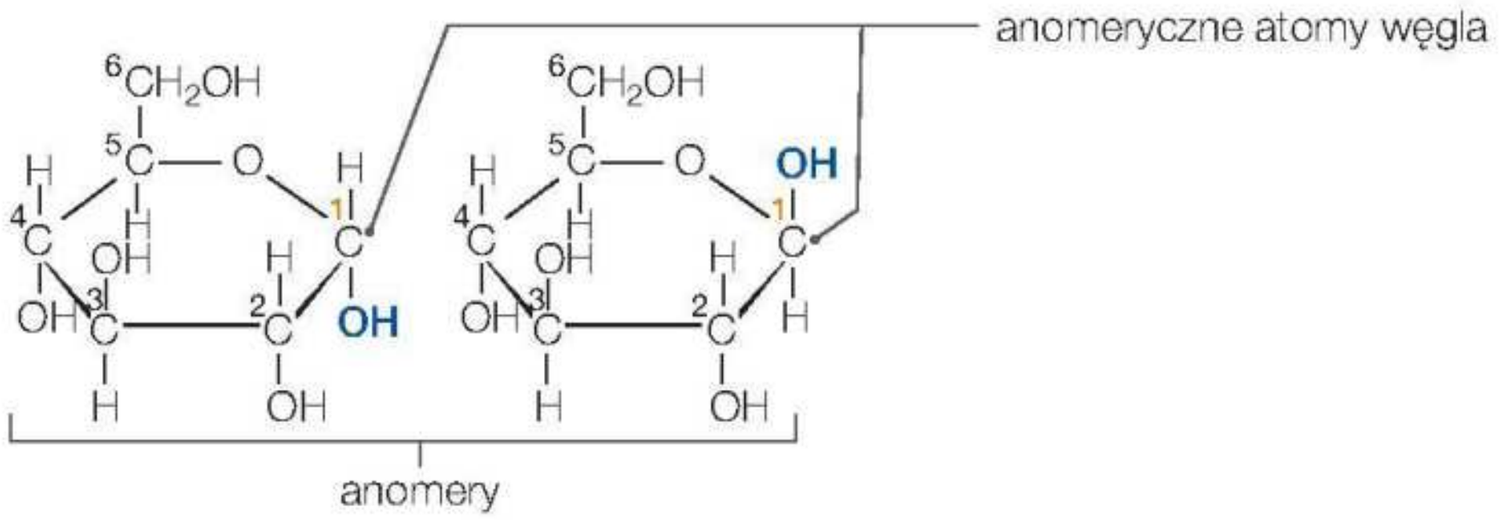
Obecność kilku grup funkcyjnych w cząsteczce oraz ich różne rozmieszczenie przestrzenne powodują, że za prostotą sumarycznych wzorów monosacharydów kryje się ogromne bogactwo struktur przestrzennych ich odmian izomerycznych.

Monosacharydy w stanie krystalicznym występują jedynie w postaci cząsteczek o budowie pierścieniowej. Forma ta przeważa również w ich wodnych roztworach, w których jednak często dochodzi do otwarcia pierścienia i cząsteczki pierścieniowe współistnieją z izomerami łańcuchowymi.

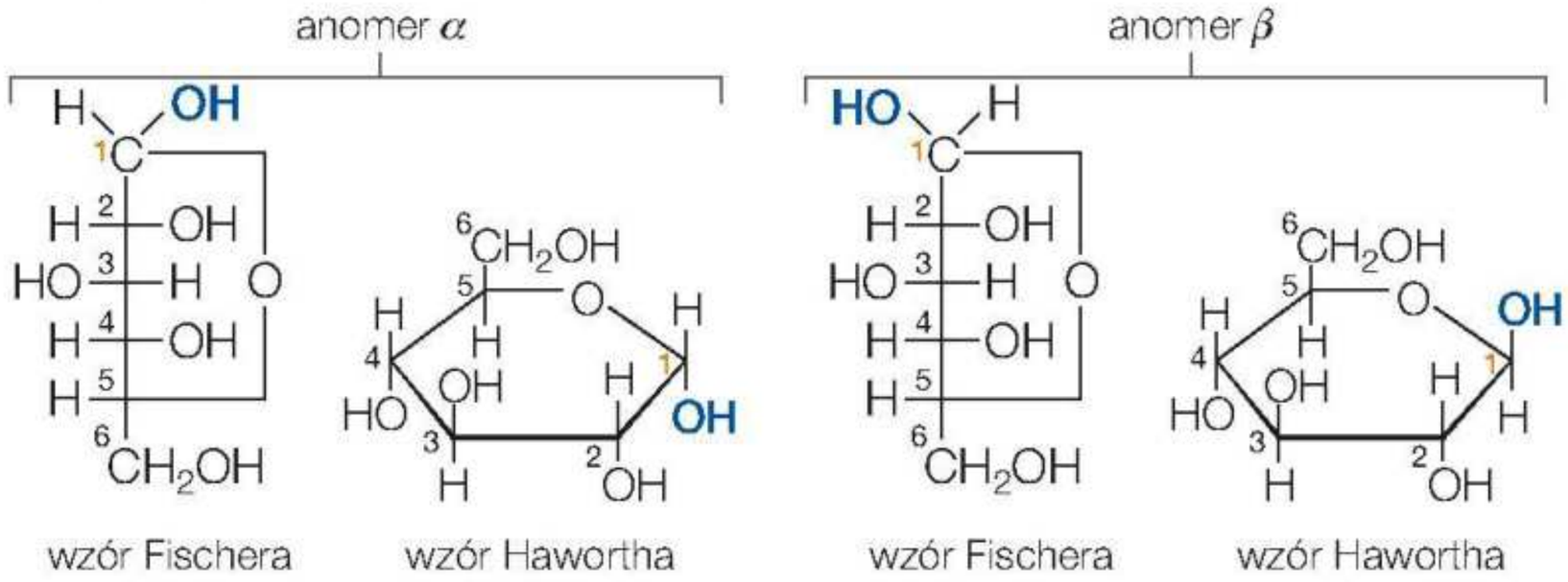
Anomery glukozy

Anomery – stereoizomery różniące się rozmieszczeniem podstawników –H i –OH przy anomerycznym atomie węgla (C_1 dla aldoz, C_2 dla ketoz) w cyklicznych odmianach sacharydów.

W pierścieniowej formie cząsteczki glukozy jest jeszcze jedno centrum chiralności, tzw. **anomeryczny atom węgla** (C_1). Izomery pierścieniowe – **anomery** – różnią się położeniem grupy –OH przy anomerycznym atomie węgla.



Różne rozmieszczenie grupy hydroksylowej –OH przy pierwszym atomie węgla C_1 w pierścieniu aldozy i drugim atomie węgla C_2 w pierścieniu ketozy jest podstawą do określania form izomerycznych anomerów α i β. **W formie α** grupa **–OH** znajduje się **pod płaszczyzną pierścienia, w formie β** jest umieszczona **nad płaszczyzną** pierścienia. **Anomery α i β są** w stosunku do siebie **diastereoizomerami**:



W nazwach monosacharydów podaje się oznaczenia dotyczące ich:

- skręcalności,
- konfiguracji względnej,
- położenia grupy hydroksylowej –OH przy anomerycznym atomie węgla w cząsteczce.

Ilustruje to zapis nazwy glukozy:



W wodnym roztworze ponad 99% cząsteczek glukozy występuje w postaci jednej z form cyklicznych.

Odmiany α i β można otrzymać w procesie krystalizacji (patrz s. 23–24) wodnych roztworów glukozy w różnych temperaturach. Odmiany te różnią się wartością kąta skręcania płaszczyzny polaryzacji światła przez ich wodne roztwory (tabela 38.).

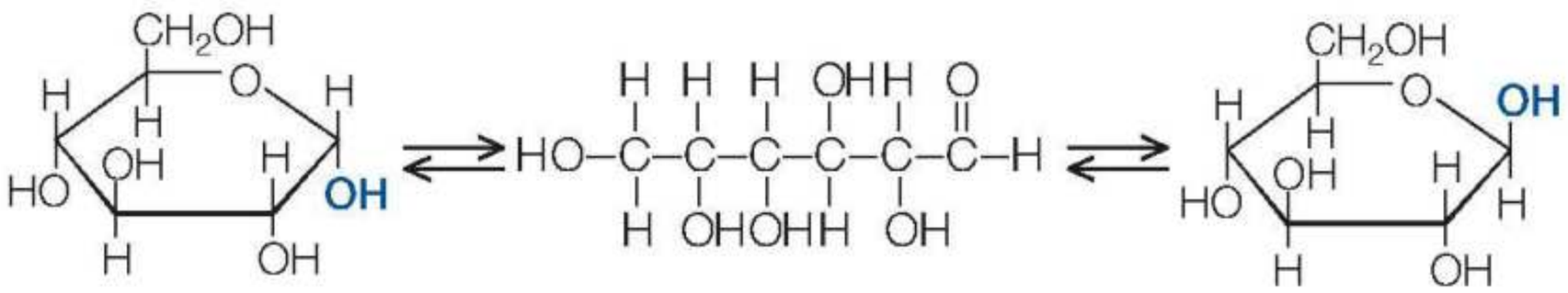
Tabela 38. Skręcalność właściwa izomerów glukozy

Odmiana izomeryczna	α-D-(+) glukoza	β-D-(+) glukoza
Skręcalność właściwa	+112° **zmniejsza się** stopniowo do +53°	+19° **zwiększa się** stopniowo do +53°

Mutarotacja glukozy

Skręcalność właściwa świeżo sporządzonego wodnego roztworu α-D-glukozy wynosi 112°. Po pewnym czasie zaczyna się ona powoli zmniejszać, aż osiągnie wartość ok. 53°. Z kolei skręcalność wodnego roztworu czystej odmiany β-D-glukozy zwiększa się od 19° do 53°. Zjawisko to jest związane z przekształcaniem w roztworze wodnym odmiany α w odmianę β i odwrotnie, aż do ustalenia się równowagi. Stan równowagi między formą α-D-glukozy i formą β-D-glukozy ustala się powoli. W stanie równowagi między anomerami D-glukozy w roztworze wodnym znajduje się ok. 64% anomeru β-D-glukozy, ok. 36% anomeru α-D-glukozy oraz nieznaczna ilość (ok. 0,02%) formy łańcuchowej glukozy. Takie wzajemne przekształcanie się form anomerycznych α i β nosi nazwę **mutarotacji** (łac. *mutare* – zmieniać, *rotatio* – obrót) i jest charakterystyczną właściwością monosacharydów:

Mutarotacja – zmiana wartości liczbowej kąta skręcania płaszczyzny światła spolaryzowanego spowodowana stopniowym przechodzeniem anomeru α w anomer β.



α-D-glukoza — łańcuch glukozy — β-D-glukoza

Właściwości monosacharydów

Doświadczenie 66. CH_3CH_2OH benzyna

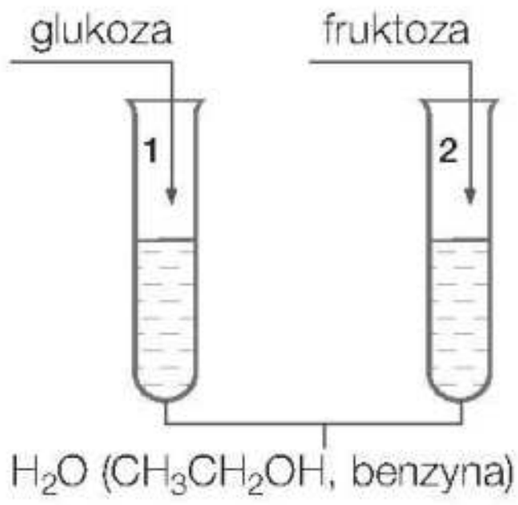
Badanie właściwości glukozy i fruktozy

Odczynniki: glukoza, fruktoza, woda, etanol, benzyna.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówki, uniwersalne papierki wskaźnikowe.

Instrukcja: a) Określ stan skupienia, barwę, zapach oraz rozpuszczalność glukozy i fruktozy w wodzie, etanolu i benzynie (schemat).

b) Zbadaj odczyn roztworów glukozy i fruktozy.





Fot. 162. Glukoza – obserwowana biała barwa tej substancji zależy od stopnia jej rozdrobnienia.

Obserwacje: Glukoza i fruktoza są bezbarwnymi substancjami stałymi (fot. 162.) o budowie krystalicznej. Bardzo dobrze rozpuszczają się w wodzie. Nie rozpuszczają się w etanolu i benzynie. Uniwersalny papierek wskaźnikowy w roztworach tych monosacharydów nie zmienia barwy.

Wniosek: Odczyn wodnych roztworów glukozy i fruktozy jest obojętny. Dobra rozpuszczalność tych związków chemicznych w wodzie świadczy o budowie polarnej ich cząsteczek.

Reakcje charakterystyczne glukozy i fruktozy

Doświadczenie 67.



Reakcje charakterystyczne glukozy i fruktozy

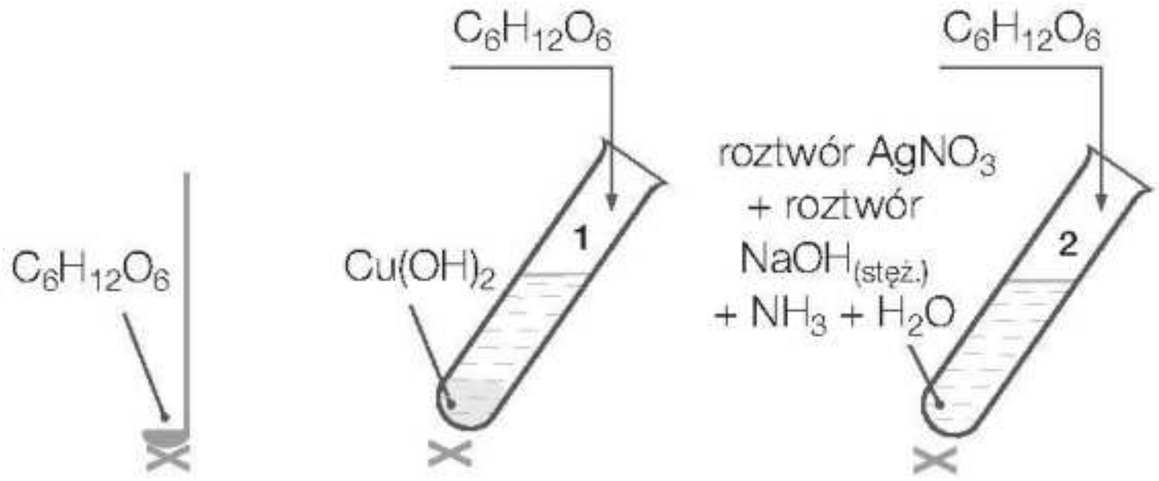
Odczynniki: glukoza, fruktoza, roztwór siarczanu(VI) miedzi(II), roztwór wodorotlenku sodu, stężony roztwór glukozy, roztwór azotanu(V) srebra(I), stężony roztwór wodorotlenku sodu, wodny roztwór amoniaku.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: łyżka do spalań, palnik, probówki, wkraplacze.

Instrukcja: a) Łyżkę do spalań z niewielką ilością glukozy umieść w płomieniu palnika.

b) Do probówki 1. nalej ok. 3 cm^3 roztworu siarczanu(VI) miedzi(II) i wkraplaj roztwór wodorotlenku sodu aż do pojawienia się osadu. Następnie dodaj ok. 3 cm^3 stężonego roztworu glukozy i całość ogrzewaj.

c) Do probówki 2. zawierającej ok. 2 cm^3 roztworu azotanu(V) srebra(I) dodaj kilka kropli stężonego roztworu wodorotlenku sodu. Następnie dodawaj kroplami wodny roztwór amoniaku aż do rozpuszczenia się powstałej substancji. Do otrzymanego roztworu wlej ok. 3 cm^3 stężonego roztworu glukozy i całość lekko ogrzewaj (schemat). Doświadczenie powtórz, używając fruktozy.



Obserwacje: Podczas ogrzewania glukoza (fot. 163.) i fruktoza topią się, następnie brunatnieją i się spalają. W probówce 1. powstaje niebieski, galaretowaty osad. Po dodaniu roztworu glukozy i ogrzaniu probówki tworzy się osad o ceglastoczerwonej barwie. Na ściankach probówki 2. pojawia się błyszcząca warstwa. W części b) i c) doświadczenia obserwuje się **takie same zmiany**, kiedy substratem jest **fruktoza**.

Wniosek: Glukoza i fruktoza ulegają reakcji spalania.

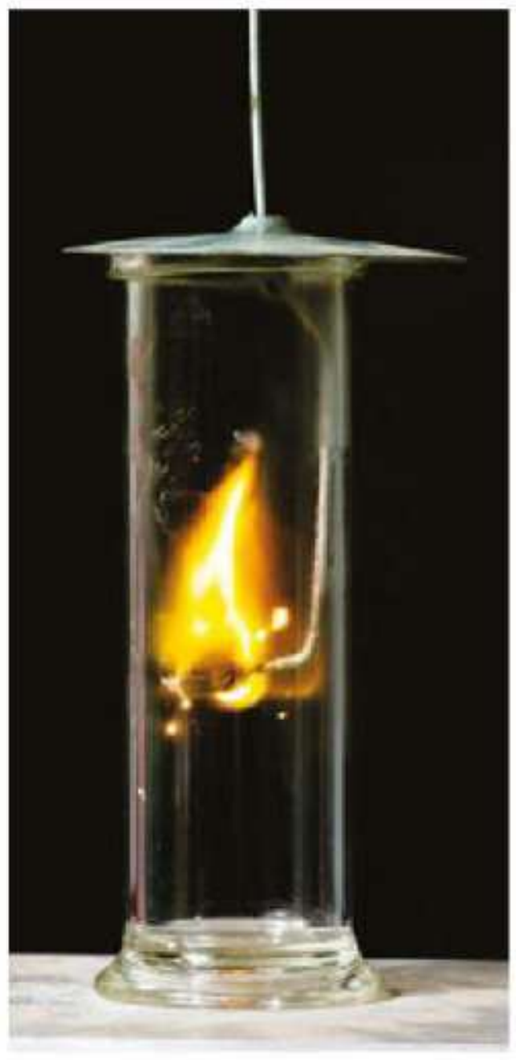
Przebieg reakcji spalania całkowitego glukozy przedstawia równanie:

$$\underset{\text{glukoza}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{tlen}}{6\,O_2} \longrightarrow \underset{\text{tlenek węgla(IV)}}{6\,CO_2} + \underset{\text{woda}}{6\,H_2O}$$

W reakcji $CuSO_4$ z NaOH powstaje niebieski, galaretowaty osad wodorotlenku miedzi(II) $Cu(OH)_2$.

Reakcja chemiczna zachodzi zgodnie z równaniem:

$$\underset{\text{siarczan(VI) miedzi(II)}}{CuSO_4} + \underset{\text{wodorotlenek sodu}}{2\,NaOH} \longrightarrow \underset{\text{wodorotlenek miedzi(II)}}{Cu(OH)_2\downarrow} + \underset{\text{siarczan(VI) sodu}}{Na_2SO_4}$$

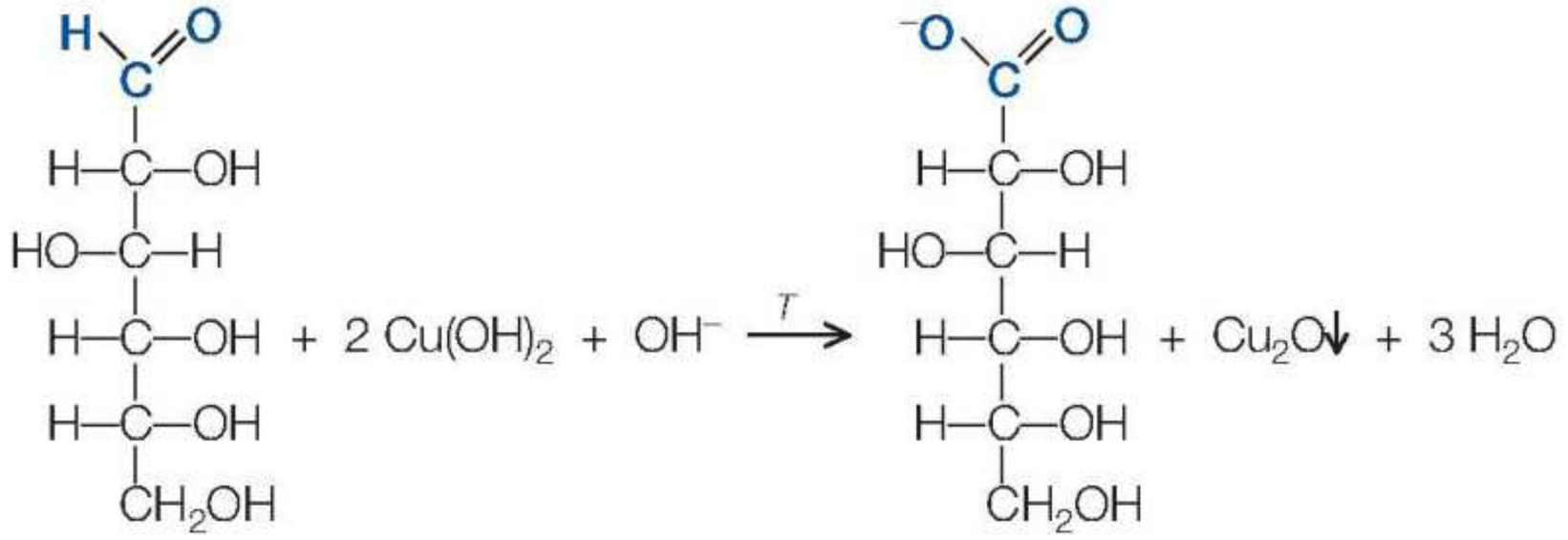


Fot. 163. Spalanie glukozy.

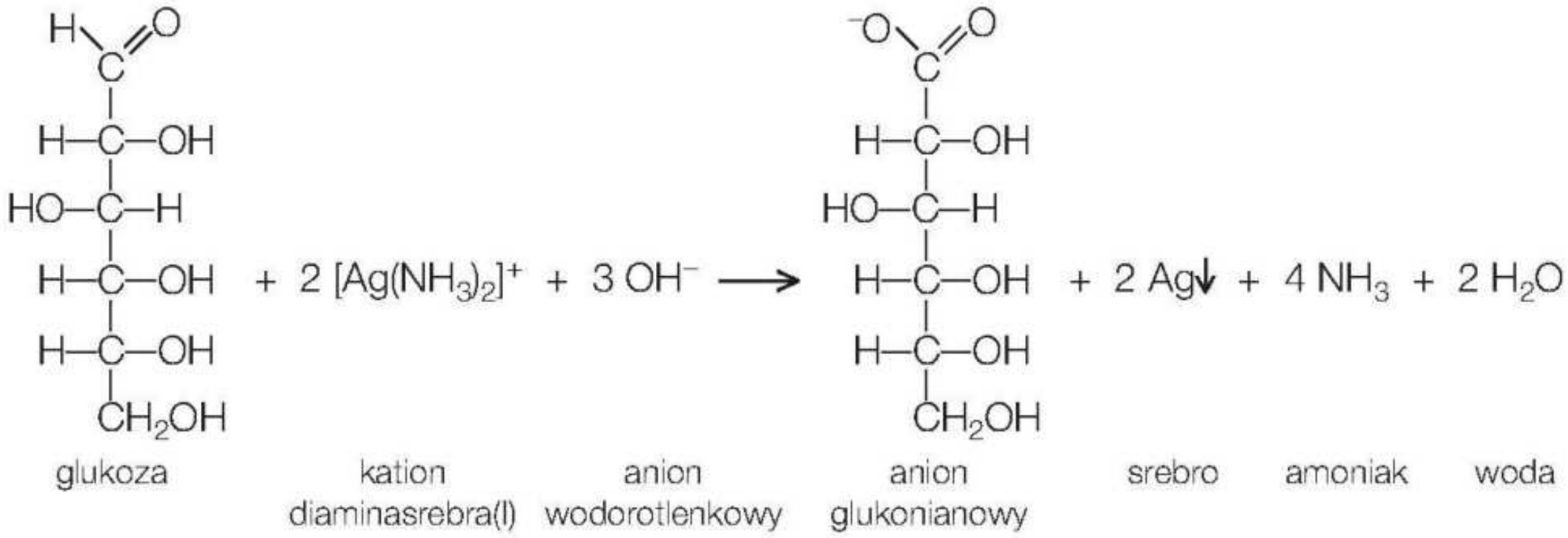
Pod wpływem ogrzewania wodorotlenku miedzi(II) z roztworem glukozy tworzy się ceglastoczerwony osad tlenku miedzi(I). Jest to reakcja chemiczna charakterystyczna dla aldehydów, nazywana próbą Trommera (patrz s. 207). Pozytywny wynik tej reakcji chemicznej w wodnym roztworze glukozy wskazuje na obecność w jej cząsteczce grupy aldehydowej.

Pod wpływem glukozy nastąpiła redukcja miedzi(II) do miedzi(I). Glukoza ma więc **właściwości redukujące**, sama zaś **utlenia się w tej reakcji chemicznej**:

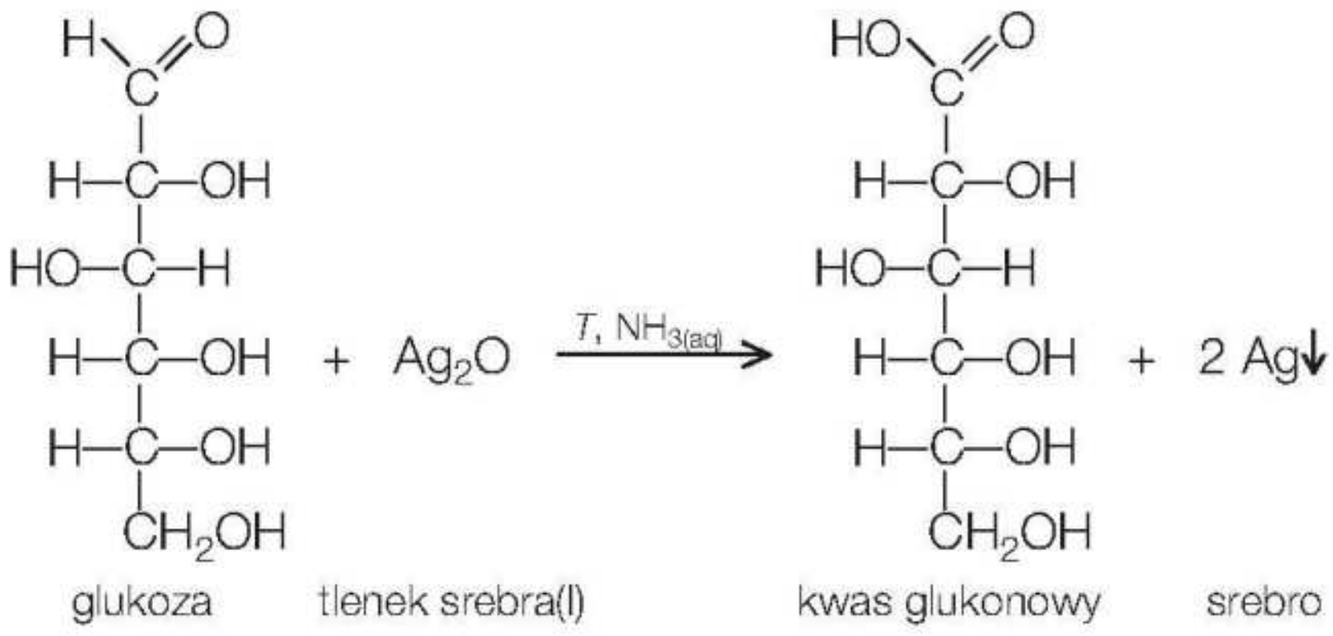
próba Trommera



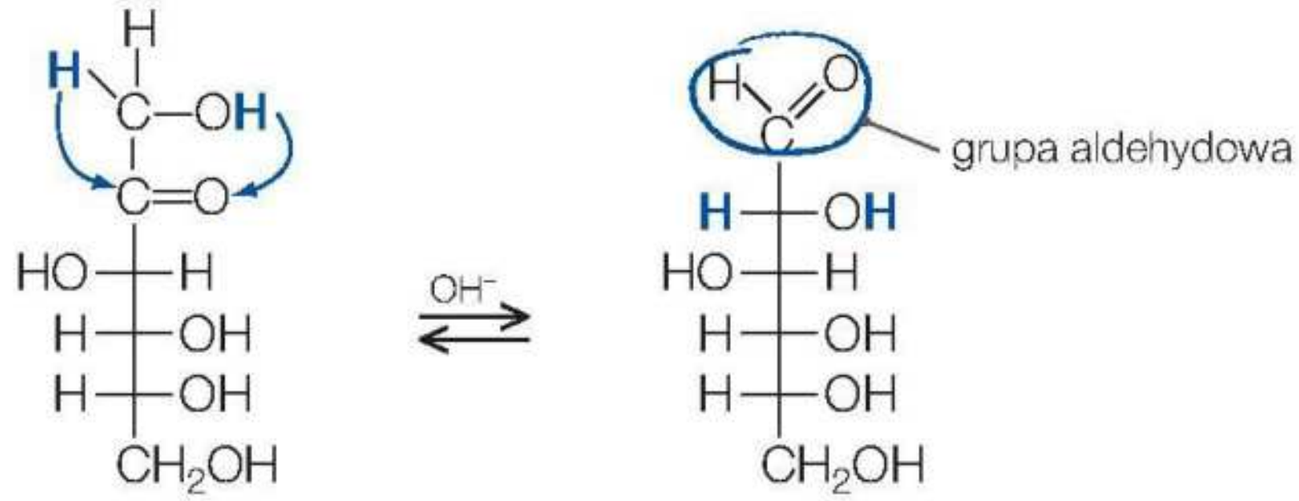
W reakcji $AgNO_3$ z NaOH i wodnym roztworem amoniaku powstaje związek kompleksowy – wodorotlenek diamina srebra(I). Pod wpływem ogrzewania tego związku chemicznego z wodnym roztworem glukozy powstaje metaliczne srebro, które w postaci lustra osadza się na ściankach probówki. Jest to reakcja charakterystyczna dla aldehydów, nazywana próbą Tollensa (patrz s. 206). Jej pozytywny wynik potwierdza obecność grupy aldehydowej w cząsteczce D-glukozy i jej właściwości redukujące:



uproszczony zapis próby Tollensa



Fruktoza, która jest ketozą, w środowisku zasadowym również wykazuje właściwości redukujące, pomimo że ketony dają negatywny wynik prób Tollensa i Trommera. Dzieje się tak, gdyż w roztworze zasadowym atomy wodoru mogą migrować od pierwszego do drugiego atomu węgla w cząsteczce fruktozy. To prowadzi do wymiany grupy hydroksylowej i karbonylowej oraz powstania grupy aldehydowej:



Nie można odróżnić glukozy od fruktozy za pomocą prób Tollensa i Trommera.

Odróżnianie glukozy od fruktozy

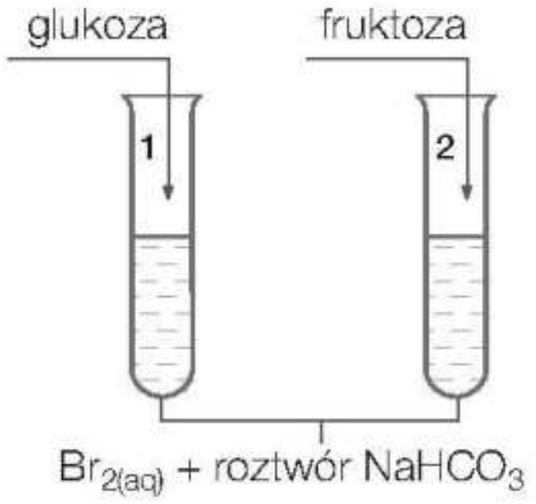
Doświadczenie 68. $Br_{2(aq)}$

Odróżnianie glukozy od fruktozy

Odczynniki: woda bromowa, roztwór wodorowęglanu sodu, wodny roztwór glukozy, wodny roztwór fruktozy.

Szkło laboratoryjne: probówki.

Instrukcja: Do dwóch probówek z wodą bromową i dodatkiem roztworu wodorowęglanu sodu wprowadź: do probówki 1. – wodny roztwór glukozy, a do probówki 2. – wodny roztwór fruktozy (schemat).

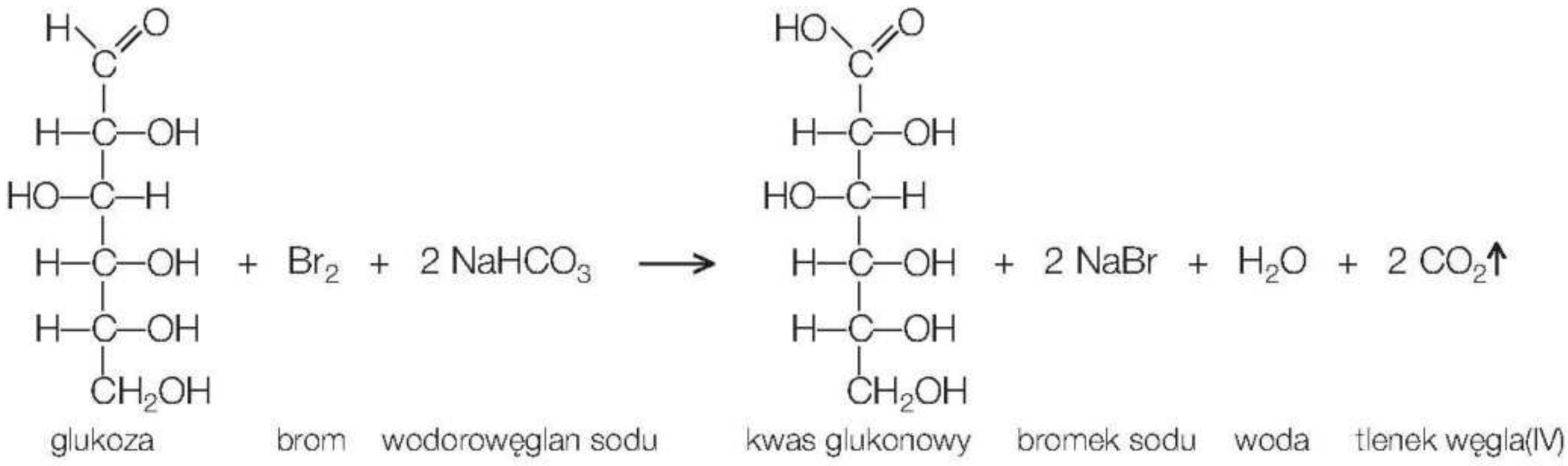




Fot. 164. Odróżnianie wodnych roztworów glukozy (a) i fruktozy (b).

Obserwacje: W probówce 1. woda bromowa się odbarwia. Wydzielają się także pęcherzyki gazu (patrz fot. 164.a, s. 381). W probówce 2. nie zachodzą zmiany (patrz fot. 164.b, s. 381).
Wniosek: Woda bromowa w obecności wodnego roztworu wodorowęglanu sodu utlenia glukozę (aldozę), ale nie utlenia fruktozy (ketozy).

Zachodzi reakcja chemiczna zgodnie z równaniem:



Woda bromowa w obecności wodnego roztworu $NaHCO_3$ **nie utlenia fruktozy** (ketozy).

Reakcja chemiczna z wodą bromową umożliwia odróżnienie aldoz od ketoz.



Fot. 165. W leczeniu cukrzycy wykorzystuje się pompy insulinowe, których działanie polega na ciągłym dostarczaniu insuliny w ilości, która jest aktualnie potrzebna organizmowi.

Odkrycia, które zmieniły świat – insulina

Insulina została odkryta przez **Fredericka Bantinga** [czyt. frederika bantinga] w 1922 r., za co rok później otrzymał on Nagrodę Nobla. Odkrycie to zapoczątkowało wiele badań. Insulina była pierwszym białkiem, które udało się otrzymać podczas syntezy chemicznej.

Insulina jest hormonem wytwarzanym przez trzustkę. Odpowiada za zrównoważoną gospodarkę cukrową organizmu – m.in. obniża poziomu glukozy we krwi. Glukoza dostarcza organizmowi energii niezbędnej do przeprowadzania wszystkich procesów życiowych. Każdy narząd potrzebuje jej, aby poprawnie funkcjonować. Dlatego bardzo ważne jest odpowiednie stężenie tego monosacharydu we krwi. Zbyt małe stężenie glukozy – hipoglikemia – może być wynikiem długotrwałego głodzenia się połączonego z wysiłkiem fizycznym. Zbyt duże stężenie glukozy – hiperglikemia – występuje przy cukrzycy. Choroba ta spowodowana jest zaburzeniami w działaniu trzustki lub produkcji insuliny, co powoduje przewlekłe podwyższenie stężenia cukru we krwi. Następstwem cukrzycy są zaburzenia funkcjonowania wielu narządów. Lekiem stosowanym w cukrzycy jest insulina (fot. 165.).
W latach 70. XX w. w procesach biotechnologicznych udało się otrzymać odpowiednik ludzkiej insuliny; wcześniej stosowane były insuliny otrzymywane z trzustek zwierząt.

Zastosowania

Monosacharydy

Do słodzenia potraw używa się glukozy. Natomiast diabetycy zamiennie stosują fruktozę, która powoduje wolniejszy wzrost poziomu cukru we krwi. Kosmetyki zawierające związki glukozy działają nawilżająco i zmiękczająco.



■ Przemysł włókienniczy

Glukozy używa się do barwienia skór, **bielenia bawełny** oraz nadawania połysku tkaninom.



■ Przemysł szklarski

Próba Tollensa, czyli lustra srebrnego, to reakcja charakterystyczna glukozy. Dzięki niej uzyskuje się błyszczącą powierzchnię bombek i **luster**.

■ Przemysł spożywczy

Syrop glukozowo-fruktozowy to popularna substancja słodząca używana m.in. do produkcji soków, napojów izotonicznych oraz **dżemów**. Stosuje się go też jako zamiennik miodu.

Chemia w medycynie

Glukoza jest podstawowym składnikiem odżywczych wlewów kroplowych, czyli **kroplówek**, aplikowanych osłabionym pacjentom. Natomiast mannoza stosowana jest w preparatach na infekcje dróg moczowych.

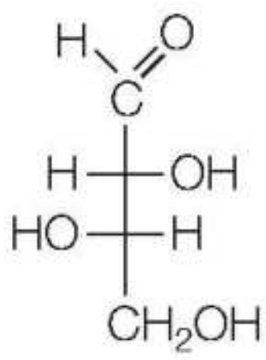


Zadania

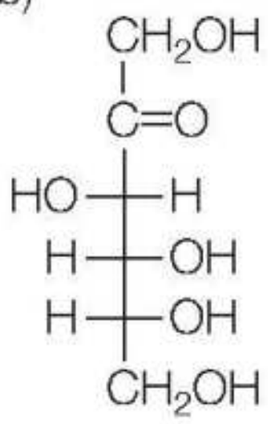
ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. Określ, które z monosacharydów o podanych wzorach są aldozami, a które ketozami. Podaj nazwę danego monosacharydu, uwzględniającą liczbę atomów węgla w cząsteczce.

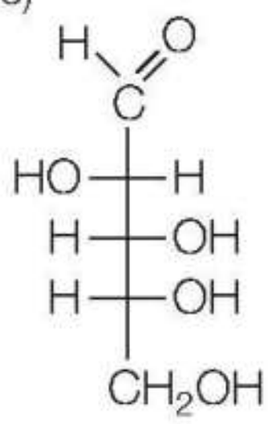
a)



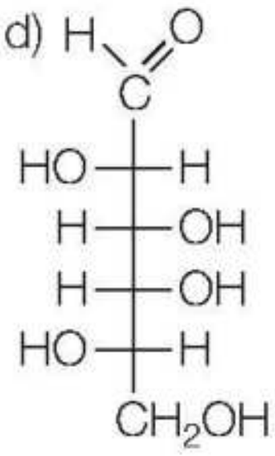
b)



c)

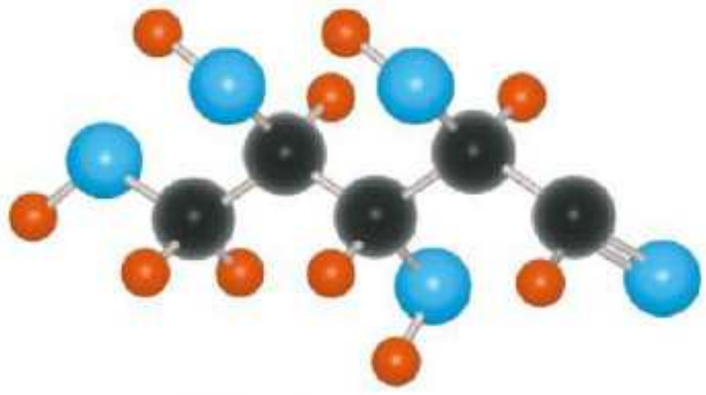


d)



2. Ustal wzór sumaryczny monosacharydu o masie cząsteczkowej 180 u, zawierającego 40% węgla i 6,67% wodoru (procenty masowe).

3. Napisz wzór Fischera enancjomeru, którego cząsteczkę przedstawia model.

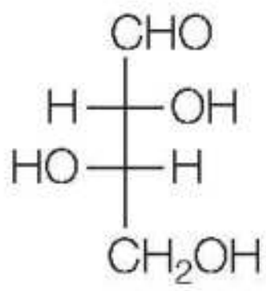


Modele atomów:
węgla tlenu wodoru

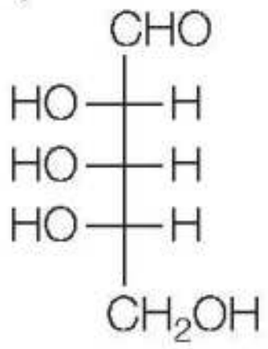
4. Napisz w zeszycie wzór Fischera enancjomeru D-fruktozy.

5. Określ, które wzory Fischera przedstawiają monosacharydy szeregu D, a które – monosacharydy szeregu L.

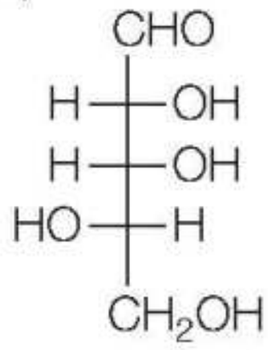
a)



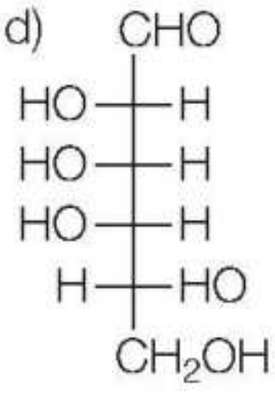
b)



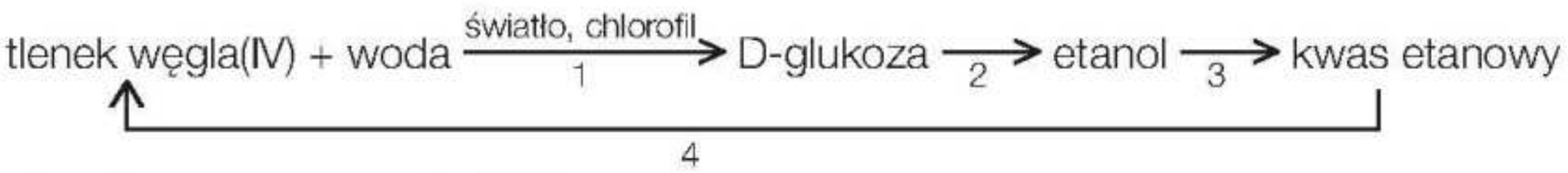
c)



d)



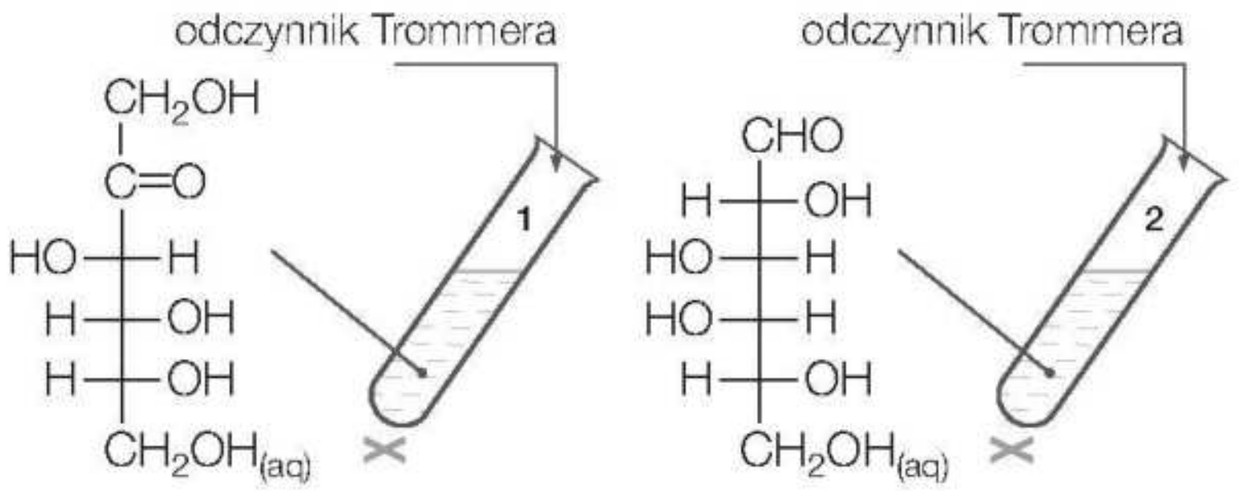
6. Napisz równania reakcji chemicznych (1–4) przedstawionych na schemacie.



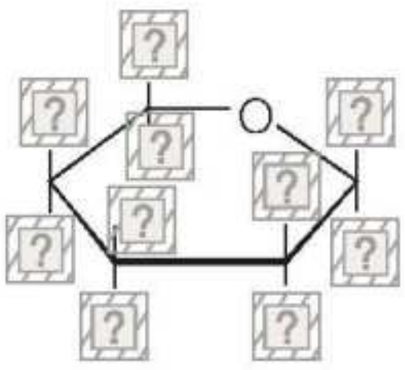
Podaj nazwy procesów 1–4.

Informacja do zadań 7. i 8.

D-galaktoza jest diastereoizomerem D-glukozy, różniącym się konfiguracją na atomie węgla C_4. W celu zbadania właściwości redukujących D-fruktozy i D-galaktozy przeprowadzono doświadczenie chemiczne przedstawione na schemacie:



7. Uzupełnij schemat w taki sposób, aby powstał wzór pierścieniowej formy galaktozy o nazwie β-D-galaktopiranoza.



8. Napisz, jakie obserwacje towarzyszyły doświadczeniu chemicznemu przedstawionemu na schemacie.

31. Disacharydy

Disacharydy, nazywane także dwucukrami, to związki organiczne, których cząsteczki są zbudowane z dwóch reszt monosacharydowych w formie pierścieniowej, połączonych **wiązaniem glikozydowym**.

Disacharydy (dwucukry) – związki organiczne utworzone w wyniku połączenia dwóch cząsteczek monosacharydów.

■ Występowanie disacharydów

Najważniejszymi przedstawicielami bardzo licznej grupy disacharydów są sacharoza $C_{12}H_{22}O_{11}$, maltoza $C_{12}H_{22}O_{11}$ i laktoza $C_{12}H_{22}O_{11}$. Występują one prawie we wszystkich roślinach, a niektóre powstają też w organizmach zwierząt. Najwięcej sacharozy zawierają buraki cukrowe (fot. 166.) i trzcina cukrowa. Z kolei maltoza występuje w słodzie powstającym podczas kiełkowania ziaren jęczmienia, dlatego jest nazywana cukrem słodowym. Znajduje się także w miodzie i burakach. Laktoza w większych ilościach występuje w mleku, dlatego jest nazywana cukrem mlekowym.

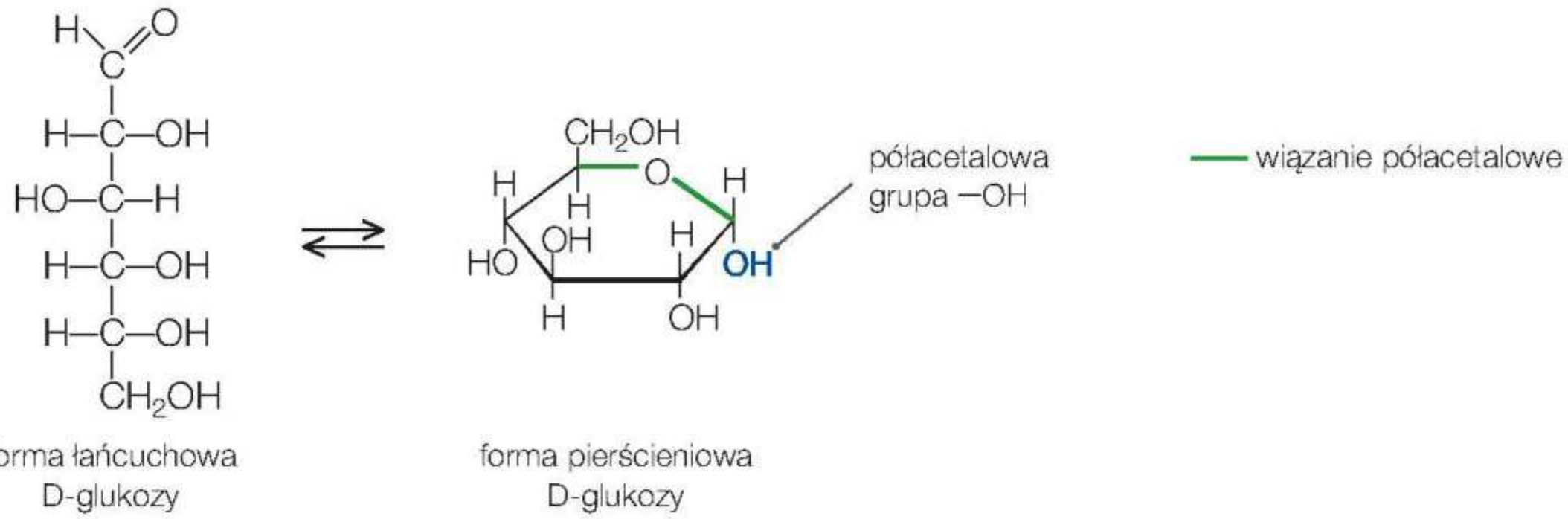


Fot. 166. Sacharoza otrzymywana z buraków cukrowych jest nazywana cukrem buraczanym lub po prostu cukrem.

■ Powstawanie wiązania glikozydowego

Wiązanie glikozydowe może powstać w reakcji kondensacji **półacetalowej grupy hydroksylowej —OH** jednego monosacharydu z dowolną grupą —OH drugiego monosacharydu z wydzieleniem cząsteczki wody.

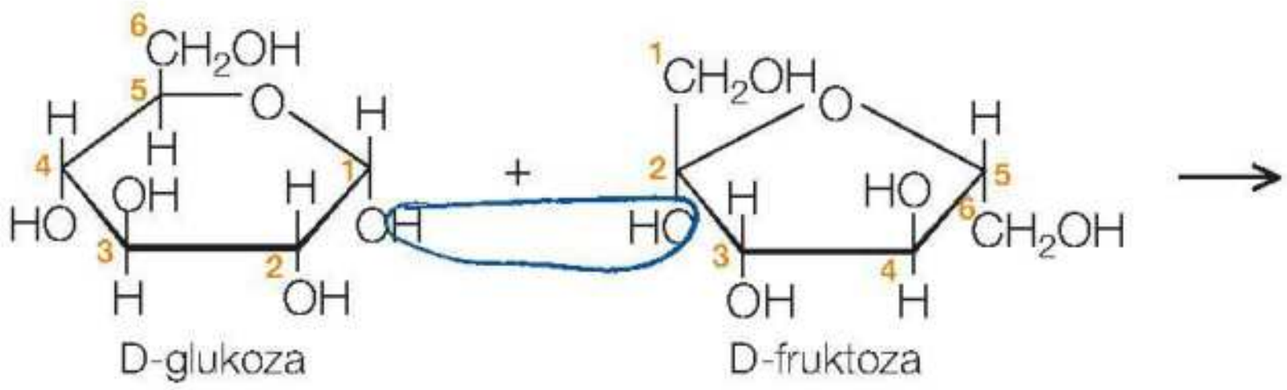
Półacetalowa grupa —OH jest to grupa, która powstała w reakcji tlenu grupy karbonylowej (grupy aldehydowej lub ketonowej) z grupą hydroksylową w cząsteczce monosacharydu podczas tworzenia się jej formy pierścieniowej:



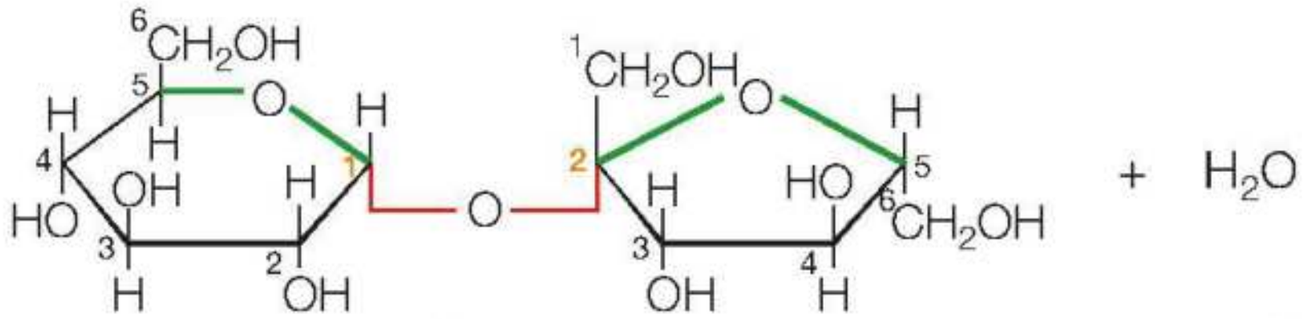
forma łańcuchowa D-glukozy ⇌ forma pierścieniowa D-glukozy

W wyniku tej wewnątrzcząsteczkowej reakcji chemicznej cząsteczka monosacharydu z formy łańcuchowej przechodzi w formę pierścieniową. Nowo utworzona grupa —OH (półacetalowa) może reagować dalej, tworząc **wiązanie glikozydowe**, nazywane też wiązaniem ***O*-glikozydowym**, gdyż reszty monosacharydowe łączą się przez atom tlenu.

$$\underset{\text{D-glukoza}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{D-fruktoza}}{C_6H_{12}O_6} \longrightarrow \underset{\text{sacharoza}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$



— wiązanie półacetalowe
— wiązanie glikozydowe



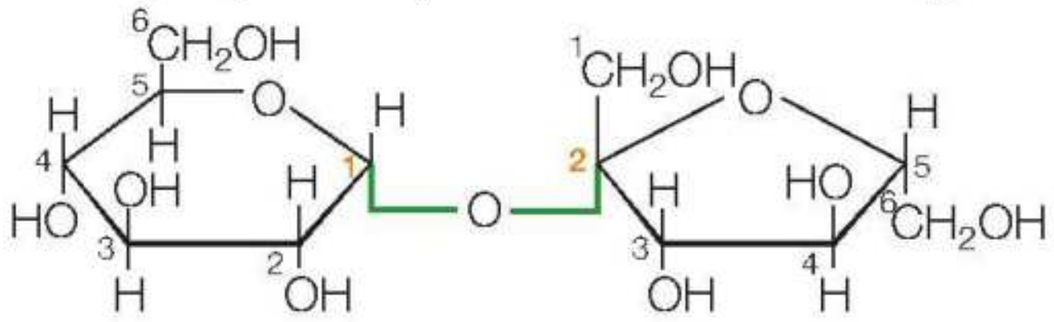
sacharoza woda

Aby określić, które grupy hydroksylowe wzięły udział w powstawaniu wiązania glikozydowego, należy w jego nazwie podać numery atomów węgla, przy których znajdowały się te grupy —OH. Sacharoza powstaje w wyniku reakcji między grupami hydroksylowymi przy atomie C_1 cząsteczki D-glukozy i atomie C_2 cząsteczki D-fruktozy. W celu rozróżnienia atomów węgla o tych samych numerach, ale znajdujących się w innych cząsteczkach, w nazwie wiązania glikozydowego stosuje się znak „ ’ ”. Powstające wiązanie glikozydowe nosi nazwę wiązania 1,2’-glikozydowego.

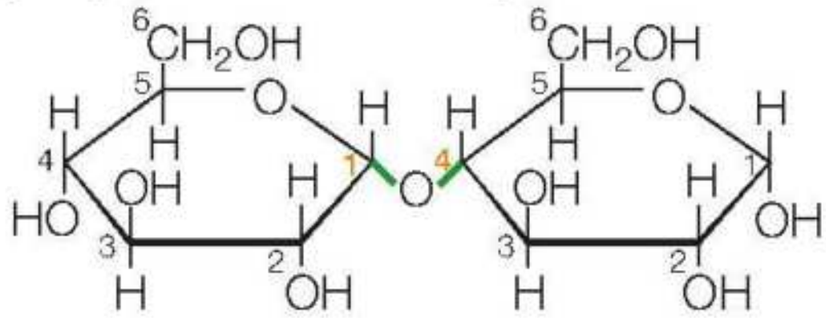
Izomeria disacharydów

W środowisku przyrodniczym występuje wiele disacharydów o takim samym wzorze sumarycznym $C_{12}H_{22}O_{11}$. Różnią się one przestrzennym rozmieszczeniem grup funkcyjnych, są więc względem siebie izomerami. Przykładami disacharydów o wzorze sumarycznym $C_{12}H_{22}O_{11}$ są:

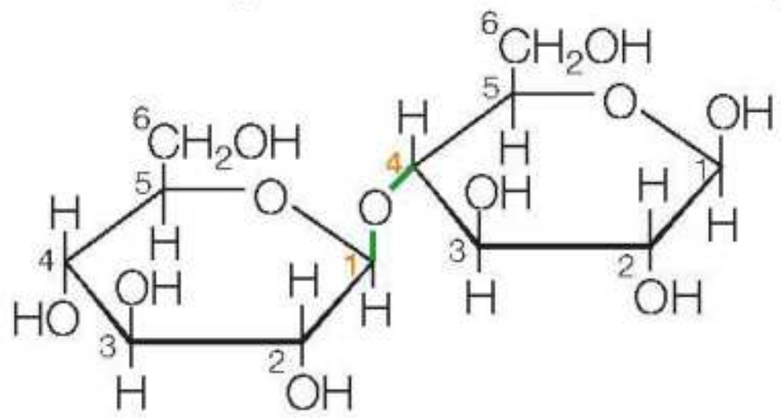
- **sacharoza**, której cząsteczka jest zbudowana z reszt glukozy i fruktozy:



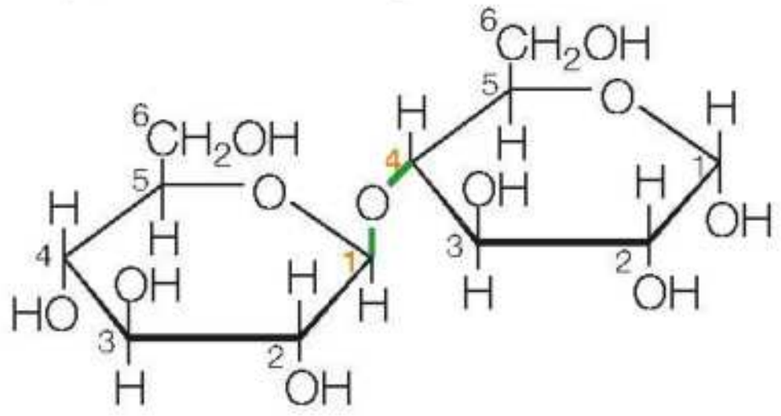
- **maltoza**, której cząsteczka składa się z dwóch reszt glukozy:



- **laktoza**, której cząsteczka jest zbudowana z reszt glukozy i galaktozy:

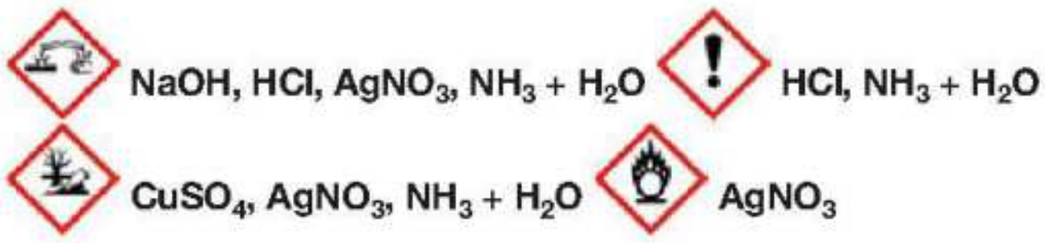


- **celobioza**, której cząsteczka składa się z dwóch reszt glukozy, ale o innej konfiguracji przestrzennej niż w maltozie:



Właściwości disacharydów

Doświadczenie 69.

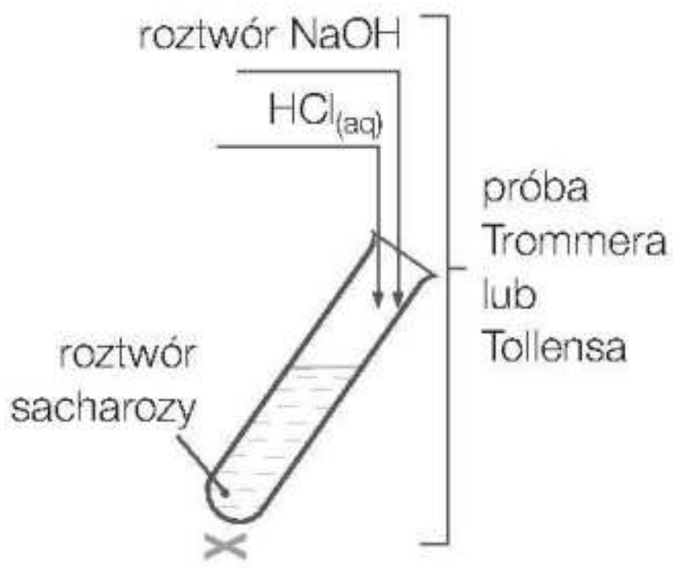


Badanie właściwości sacharozy

Odczynniki: stężony roztwór sacharozy, stężony kwas chlorowodorowy, stężony roztwór wodorotlenku sodu, roztwór azotanu(V) srebra(I), wodny roztwór amoniaku, woda destylowana, siarczan(VI) miedzi(II).

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, łyżka do spalań, palnik, wkraplacz, uniwersalny papierek wskaźnikowy.

Instrukcja: a) Określ stan skupienia, barwę, zapach, rozpuszczalność w wodzie, palność i odczyn wodnego roztworu sacharozy za pomocą uniwersalnego papierka wskaźnikowego.
b) Zbadaj, czy sacharoza ma właściwości redukujące – przeprowadź w tym celu próbę Trommera lub Tollensa.
c) Do probówki wlej ok. 5 cm^3 roztworu sacharozy, dodaj 3 cm^3 kwasu chlorowodorowego i gotuj kilka minut. Następnie zawartość probówki zobojętnij roztworem wodorotlenku sodu i wykonaj próbę Trommera lub Tollensa (schemat).



Obserwacje: Sacharoza jest białą (fot. 167.), bezwonną, palną, dobrze rozpuszczalną w wodzie substancją stałą. Roztwór wodny sacharozy nie powoduje zmiany barwy uniwersalnego papierka wskaźnikowego. Podczas wykonywania prób Tollensa lub Trommera nie obserwuje się zmian. Natomiast produkt reakcji sacharozy z kwasem chlorowodorowym tworzy w próbie Tollensa lustro srebrne. W wyniku próby Trommera powstaje ceglastoczerwony osad.



Fot. 167. Sacharoza – obserwowana biała barwa tej substancji zależy od stopnia jej rozdrobnienia.

Wniosek: Odczyn wodnego roztworu sacharozy jest obojętny. Sacharoza spala się, nie redukuje związków miedzi(II) ani srebra(I), a więc wynik prób Trommera i Tollensa jest negatywny. Wynika stąd, że **sacharoza nie ma właściwości redukujących**, a w jej cząsteczce nie ma grupy aldehydowej.

W wodnym roztworze sacharoza pod wpływem kwasu chlorowodorowego ulega reakcji **hydrolizy** i powstają produkty o właściwościach redukujących. Stąd wniosek, że w wyniku **hydrolizy sacharozy powstają monosacharydy**. Przebieg tej reakcji chemicznej przedstawia równanie:

reakcja hydrolizy sacharozy

$$\underset{\text{sacharoza}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + \underset{\text{woda}}{H_2O} \xrightarrow{\text{HCl lub enzymy}} \underset{\text{D-glukoza}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{D-fruktoza}}{C_6H_{12}O_6}$$

Maltoza jest substancją stałą, dobrze rozpuszczalną w wodzie. W wyniku hydrolizy maltozy powstaje **D-glukoza**.

Reakcja chemiczna zachodzi zgodnie z równaniem:

reakcja hydrolizy maltozy

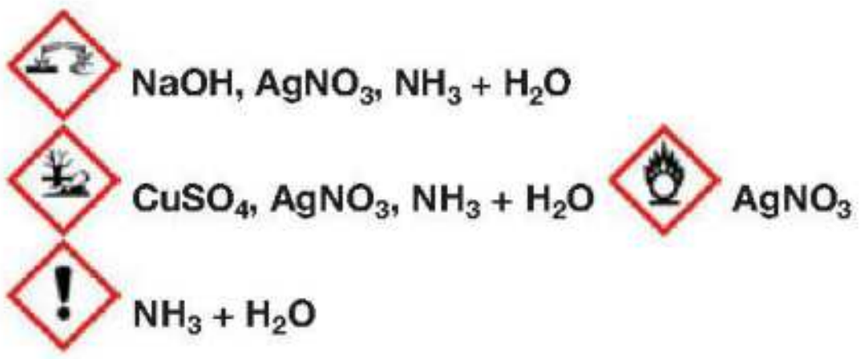
$$\underset{\text{maltoza}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + \underset{\text{woda}}{H_2O} \xrightarrow{\text{HCl lub enzymy}} 2\,\underset{\text{D-glukoza}}{C_6H_{12}O_6}$$



Fot. 168. Maltaza występuje także w kiełkujących ziarnach prosa.

Katalizatorem tej reakcji chemicznej, podobnie jak w przypadku sacharozy, może być kwas, ale głównie wykorzystuje się katalityczne działanie maltazy – enzymu zawartego w kiełkach jęczmienia (fot. 168.). Enzymatyczną hydrolizę maltozy wykorzystuje się w browarnictwie do produkcji piwa.

Doświadczenie 70.

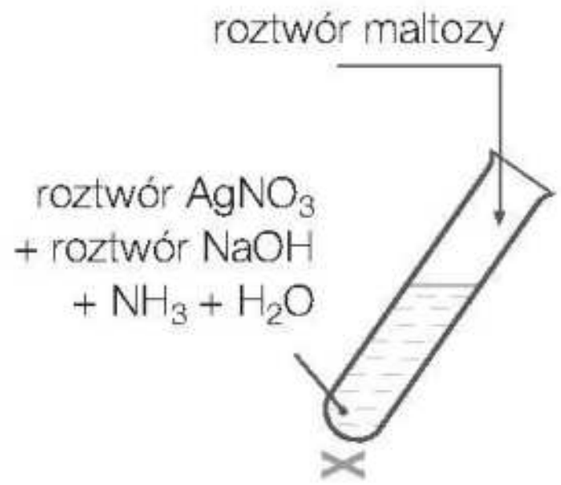


Badanie właściwości redukujących maltozy – próba Tollensa

Odczynniki: roztwór azotanu(V) srebra(I), stężony roztwór wodorotlenku sodu, wodny roztwór amoniaku, roztwór maltozy.

Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, palnik, wkraplacz.

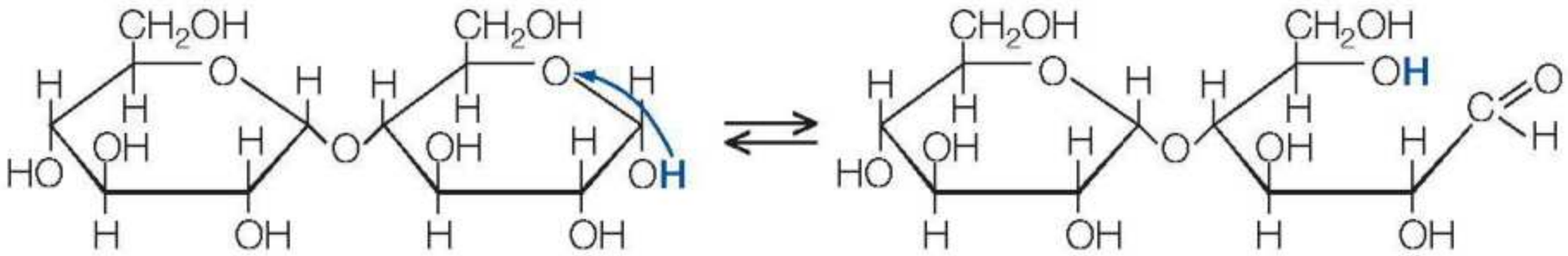
Instrukcja: Do probówki z ok. 2 cm^3 azotanu(V) srebra(I) dodaj kilka kropli stężonego roztworu wodorotlenku sodu. Następnie dodawaj kroplami wodny roztwór amoniaku aż do całkowitego rozpuszczenia się powstałego osadu.
Do otrzymanego roztworu wlej ok. 3 cm^3 roztworu maltozy. Całość ogrzewaj (schemat).



Obserwacje: Na ściankach probówki powstaje osad – lustro srebrne.

Wniosek: Maltoza ma właściwości redukujące. Próba Tollensa zachodzi, ponieważ jeden z pierścieni w cząsteczce maltozy „otwiera się" – w cząsteczce powstaje grupa aldehydowa.

Reakcja chemiczna zachodzi zgodnie z równaniem:



maltoza — cząsteczka maltozy z wolną grupą aldehydową

Laktoza, podobnie jak inne disacharydy, jest substancją stałą, dobrze rozpuszczalną w wodzie. W wyniku jej hydrolizy powstają monosacharydy – **D-glukoza** i **D-galaktoza**. Przebieg tej reakcji chemicznej przedstawia równanie:

$$\underset{\text{laktoza}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + \underset{\text{woda}}{H_2O} \xrightarrow{\text{kat.}} \underset{\text{D-glukoza}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{D-galaktoza}}{C_6H_{12}O_6}$$

Hydroliza laktozy również odbywa się z udziałem kwasów lub enzymu – laktazy.

W odróżnieniu od sacharozy **maltoza i laktoza mają właściwości redukujące**.

Laktoza nazywana jest cukrem mlekowym, ponieważ występuje w mleku (fot. 169.) – emulsji, w skład której oprócz laktozy wchodzi wiele innych substancji, m.in.:

- składniki tłuszczowe, np. lecytyna,
- białka:
  - kazeinowe, np. kazeina,
  - serwatkowe, np.: β-laktoglobulina, α-laktoglobulina,
- sole mineralne, np.: wapń, magnez, potas,
- witaminy: A, D, E, K i wszystkie witaminy z grupy B,
- woda.

Mleko to pełnowartościowy produkt spożywczy. Zawiera wiele składników niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu, których on sam nie wytwarza, np. aminokwasy egzogenne (ich źródłem są białka kazeinowe i serwatkowe).

Jednak mleko może wywoływać reakcje niepożądane. U dzieci białka znajdujące się w mleku czasami wywołują **skazę białkową**. Z kolei u dorosłych brak laktazy – enzymu powodującego w jelicie cienkim rozkład laktozy na monosacharydy – może powodować **nietolerancję laktozy**, przyczynę wielu dolegliwości ze strony układu pokarmowego.

W sprzedaży dostępne są mleko oraz produkty mleczne bez laktozy – podczas ich produkcji przeprowadzany jest enzymatyczny rozkład laktozy.



Fot. 169. Laktoza występuje w mleku krowim, ale także owczym, kozim i kobiecym.

Zastosowania

Disacharydy

Sacharoza jest najpopularniejszym disacharydem stosowanym w przemyśle spożywczym. Pod wpływem wysokiej temperatury ulega ona karmelizacji, a powstały karmel jest wykorzystywany m.in. do produkcji cukierków i jako barwnik do napojów typu cola.





■ Przemysł tworzyw sztucznych

Sacharoza wykorzystywana jest do produkcji **sztucznych pianek poliuretanowych**, które są używane do termoizolacji budynków.

■ Przemysł spożywczy

Laktoza to składnik zabielaczy do kawy oraz **żywności przeznaczonej dla niemowląt**. Z kolei sacharoza o stężeniu wyższym niż 65% ma właściwości konserwujące, dlatego wykorzystywana jest przy produkcji przetworów, m.in. dżemów i konfitur.

■ Przemysł chemiczny

Laktoza jest składnikiem mieszanin dymotwórczych. Mieszaniny te są stosowane m.in. w **świecach dymnych** używanych w wojsku oraz ratownictwie do oznaczania miejsca wypadku.

Chemia w medycynie

Sacharoza w lekach pełni funkcję substancji słodzącej. Natomiast jej stężony roztwór jest składnikiem syropów stosowanych w leczeniu górnych dróg oddechowych. Z kolei laktozę stosuje się jako **wypełniacz kapsułek i tabletek** – dodatek tego cukru do preparatów w postaci proszków zwiększa ich objętość.



Odkrycia, które zmieniły świat – cukier

Cukier z trzciny cukrowej (fot. 170.) produkowano w Indiach już w VIII w. Do początku XIX w. Europa korzystała wyłącznie z importowanego cukru trzcinowego. Poszukując surowca, z którego można by produkować cukier i dzięki temu uniezależnić się od indyjskiego importu, spośród wielu roślin o dużej zawartości sacharozy wybrano cukrowe odmiany buraka, wykorzystywanego dotąd jako pasza. Rolnikom udało się uzyskać odmiany buraka zawierające do 25% sacharozy. Na bazie tego surowca powstał w Europie przemysł cukrowniczy. Pierwszą na świecie cukrownię przerabiającą buraki cukrowe zbudowano w Konarach na Dolnym Śląsku.



Fot. 170. Trzcina cukrowa zawiera ok. 25% sacharozy.

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. **Oblicz, ile gramów sacharozy należy poddać hydrolizie, aby otrzymać 9 g D-fruktozy. Wydajność tej reakcji chemicznej wynosi 80%.**

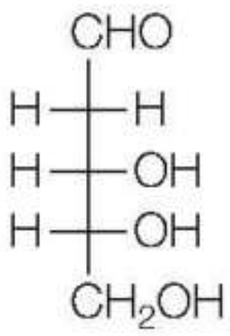
2. **Napisz wzór sumaryczny disacharydu o masie cząsteczkowej 342 u, zawierającego 42,11%** (procent masowy) **węgla i 6,43%** (procent masowy) **wodoru w cząsteczce.**

3. Pewien rodzaj trzciny cukrowej zawiera 22% sacharozy (procent masowy). **Oblicz wydajność tego procesu, w którym z 1 t trzciny cukrowej otrzymano 187 kg tego sacharydu.**

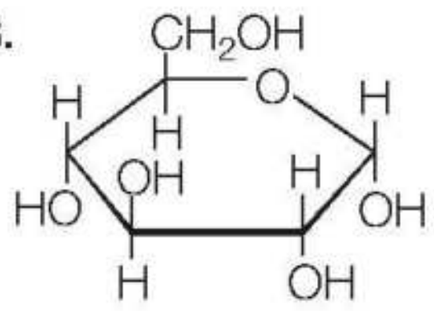
4. Roztwór maltozy o stężeniu 20% poddano hydrolizie. **Oblicz stężenie procentowe D-glukozy w roztworze po hydrolizie.**

5. Poniżej przedstawiono wzory pięciu cukrów oznaczonych literami A–E.

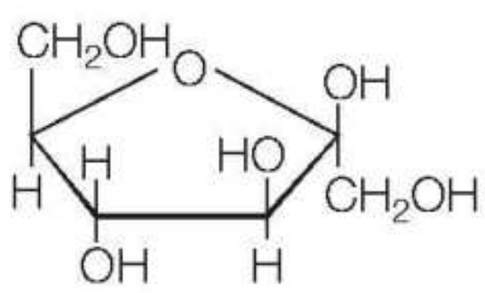
A.



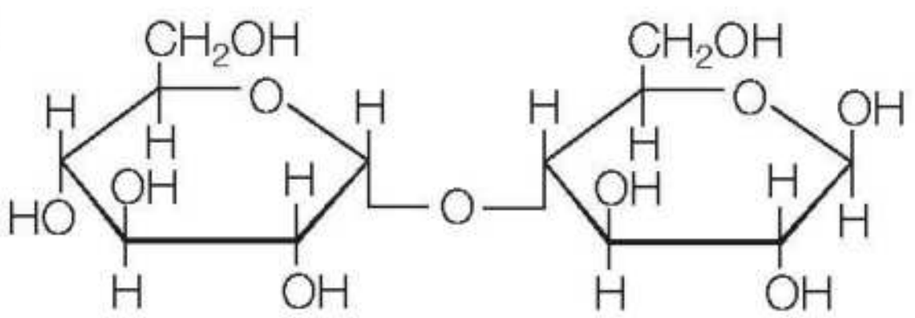
B.



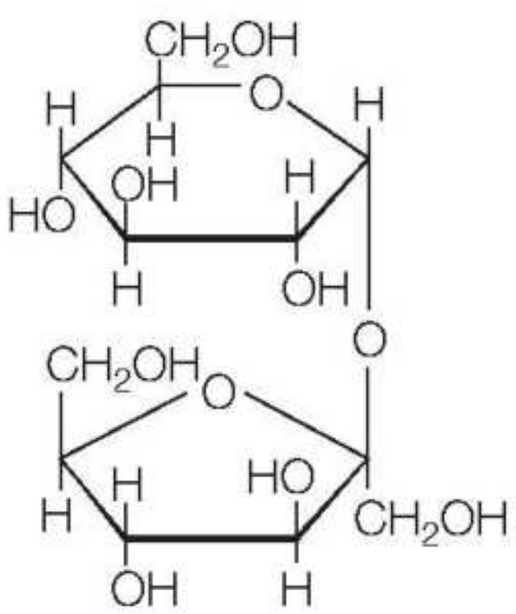
C.



D.



E.



Uzupełnij tabelę – wstaw znak „X”, jeśli podana cecha może być cechą danego cukru.

	Cukier jest aldozą.	Cukier jest ketozą.	Cukier ma właściwości redukujące.
A	?	?	?
B	?	?	?
C	?	?	?
D			?
E			?

32. Polisacharydy

Polisacharydy – wielkocząsteczkowe związki chemiczne utworzone z pierścieni monosacharydów połączonych wiązaniami glikozydowymi.

Polisacharydy są wielkocząsteczkowymi związkami chemicznymi zbudowanymi z cząsteczek monosacharydów w formie pierścieniowej połączonych wiązaniami glikozydowymi. Najważniejszymi polisacharydami, zbudowanymi wyłącznie z cząsteczek glukozy, są **skrobia** i **celuloza**.

Występowanie polisacharydów

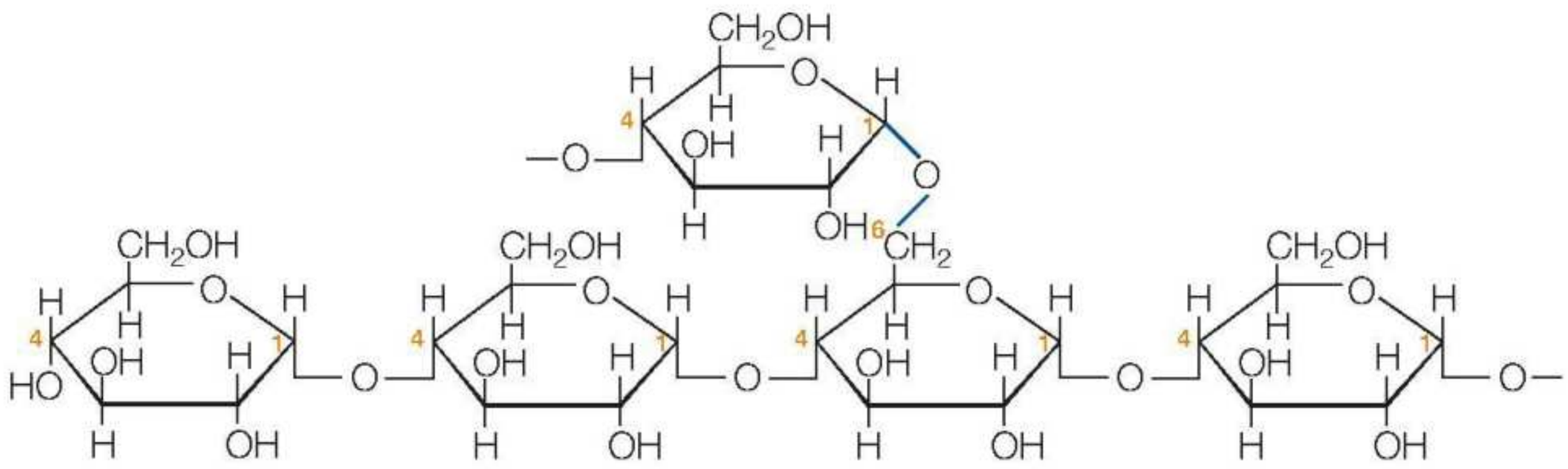
Polisacharydy to główna postać sacharydów występujących w środowisku przyrodniczym. Stanowią ważną grupę biopolimerów, które w organizmach pełnią przede wszystkim funkcje budulcowe oraz zapasowe. Na przykład chityna – polisacharyd glukozy – jest składnikiem błon komórkowych grzybów, bakterii i bezkręgowców oraz szkieletów zewnętrznych stawonogów, np. kraba palmowego (fot. 171.).



Fot. 171. Zawartość chityny w karapaksie – pancerzu kraba palmowego – wynosi ok. 25%.

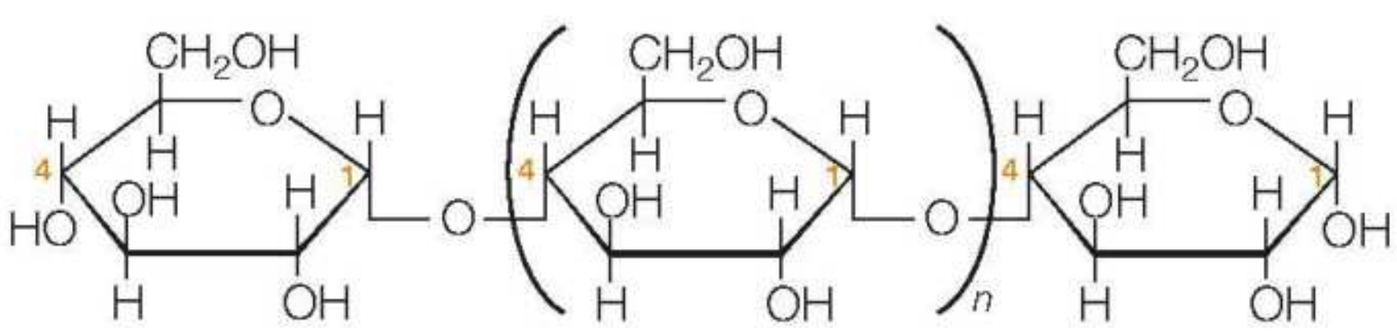
Budowa cząsteczki skrobi

Cząsteczkę skrobi tworzą dwa polisacharydy: **amyloza** (ok. 20% skrobi) i **amylopektyna**, która jest głównym składnikiem skrobi. Zasadnicza różnica w budowie tych polisacharydów polega na tym, że **amyloza ma budowę liniową**, a **amylopektyna tworzy łańcuchy rozgałęzione**:



fragment cząsteczki **amylopektyny**

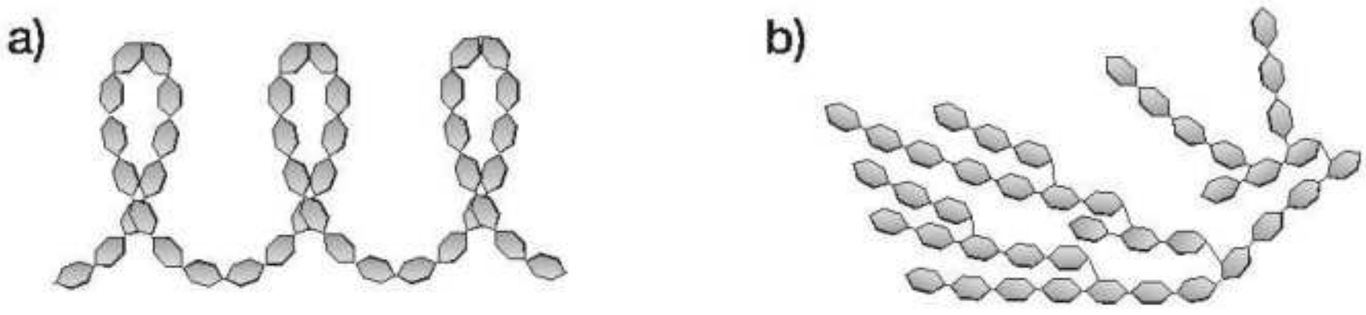
W cząsteczce amylopektyny reszty glukozowe połączone są wiązaniami 1,4'-glikozydowymi w łańcuchach i wiązaniami 1,6'-glikozydowymi w rozgałęzieniach.



fragment cząsteczki **amylozy**

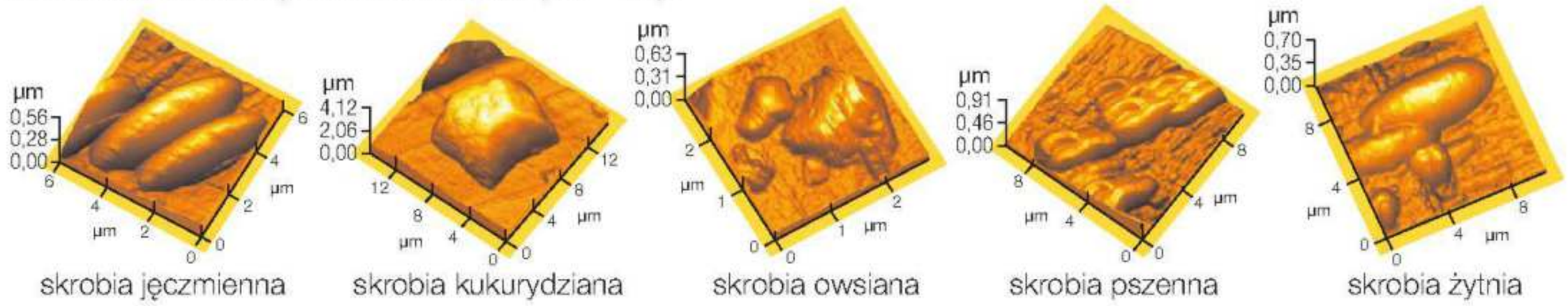
W cząsteczce amylozy reszty glukozowe połączone są wiązaniami 1,4'-glikozydowymi.

Amyloza tworzy spiralnie zwinięty łańcuch (rys. 61.a), natomiast amylopektyna – liczne odgałęzienia boczne (rys. 61.b).



Rys. 61. Schemat budowy cząsteczek a) amylozy, b) amylopektyny.

Cząsteczki skrobi tworzą ziarna o różnym kształcie. Zarówno ich kształt, jak i rozmiary zależą od pochodzenia skrobi (rys. 62.). Wielkość cząsteczek waha się od kilku (skrobia ryżowa) do kilkudziesięciu (skrobia ziemniaczana) mikrometrów (10^{-6} m).



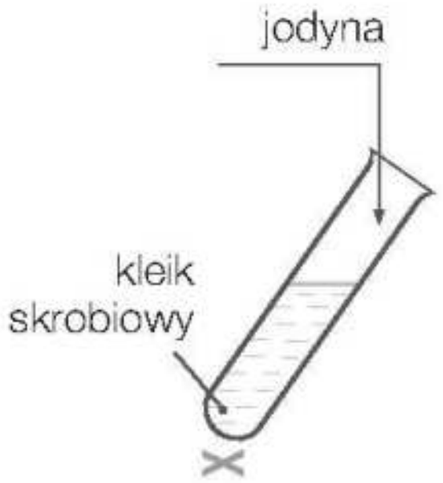
Rys. 62. Przykłady ziaren skrobi pochodzących z różnych roślin, zobrazowane metodą mikroskopii sił atomowych (AFM).

Właściwości skrobi

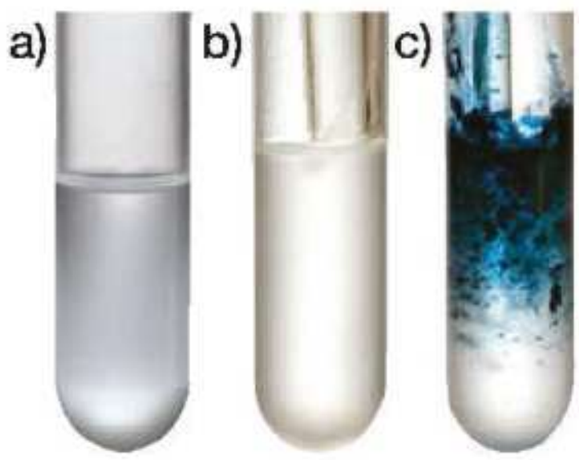
Doświadczenie 71.

Badanie właściwości skrobi

Odczynniki: skrobia, woda, roztwór jodu (np. jodyna).
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, palnik, wkraplacz.
Instrukcja: a) Określ stan skupienia, barwę i zapach skrobi oraz jej rozpuszczalność w wodzie. b) Mieszaninę skrobi i wody wlej do probówki z wrzącą wodą i gotuj przez chwilę, mieszając. Powstały kleik skrobiowy ostudź do temperatury pokojowej i dodaj do niego 2–3 krople roztworu jodu (schemat), np. jodyny.



Obserwacje: Skrobia to bezpostaciowa substancja stała o białej barwie, bez smaku i zapachu. Nie rozpuszcza się w zimnej wodzie (fot. 172.a). W gorącej – pęcznieje, tworząc kleik (fot. 172.b). Kleik skrobiowy barwi się na ciemnoniebiesko (granatowo) (fot. 172.c) pod wpływem roztworu jodu.
Wniosek: Zabarwienie kleiku skrobiowego jest spowodowane umieszczaniem się jodu wewnątrz skręconego spiralnie łańcucha reszt glukozowych w amylozie i powstaniem barwnego związku koordynacyjnego. Jest to **reakcja charakterystyczna**, która umożliwia wykrycie nawet minimalnych ilości skrobi w probówce.



Fot. 172. Badanie właściwości skrobi: a) skrobia nie rozpuszcza się w zimnej wodzie; b) wymieszana z gorącą wodą tworzy kleik skrobiowy, c) pod wpływem jodu barwi się na ciemnoniebiesko.



Fot. 173. Wykrywanie obecności skrobi w ziarnach fasoli.

Doświadczenie 72.

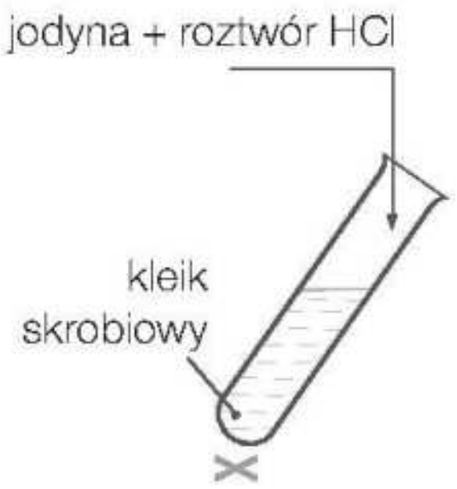
Wykrywanie skrobi w artykułach spożywczych

Odczynniki: plaster ziemniaka, przekrojone ziarno ugotowanej fasoli, rozgniecione ziarno kukurydzy, jodyna.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: szkiełka zegarkowe, wkraplacz.
Instrukcja: Na szkiełkach zegarkowych umieść: plaster ziemniaka, przekrojone ziarno ugotowanej fasoli, rozgniecione ziarno kukurydzy. Na każdej substancji umieść kroplę jodyny.
Obserwacje: Na badanych substancjach pojawiło się ciemnoniebieskie zabarwienie.
Wniosek: Ciemnoniebieskie zabarwienie substancji świadczy o obecności skrobi (fot. 173.).

Doświadczenie 73.  HCl

Hydroliza kwasowa skrobi

Odczynniki: kleik skrobiowy, jodyna, kwas chlorowodorowy.
Szkło i sprzęt laboratoryjny: probówka, wkraplacze, bagietka, palnik.
Instrukcja: W probówce umieść ok. 2 cm^3 kleiku skrobiowego. Następnie dodaj 2 krople jodyny i ok. 2 cm^3 kwasu chlorowodorowego. Zawartość probówki wymieszaj bagietką i ogrzewaj (schemat).



Obserwacje: Ciemnoniebieska barwa substancji w probówce zanika pod wpływem ogrzewania.
Wniosek: Ogrzewanie skrobi z wodą w obecności kwasów prowadzi do **hydrolizy skrobi**.

Hydroliza skrobi jest reakcją złożoną, mającą wiele etapów pośrednich. Taka sama reakcja chemiczna zachodzi w organizmie człowieka pod wpływem kwasów oraz enzymów (np. amylazy).

Skrobia stopniowo ulega całkowitemu rozpadowi na glukozę. W pierwszym etapie hydrolizy ze skrobi powstają **dekstryny**, złożone z mniejszej liczby reszt glukozowych:

hydroliza skrobi

$$(C_6H_{10}O_5)_n + n\,H_2O \xrightarrow{\text{HCl lub enzymy}} \underset{x < 10}{(C_6H_{10}O_5)_x} \xrightarrow{\text{HCl lub enzymy}} n\,C_6H_{12}O_6$$

skrobia — woda — **dekstryny** — glukoza



Fot. 174. Brązowa i krucha skórka chleba powstaje w wyniku skarmelizowania się dekstryn pod wpływem wysokiej temperatury i utraty wody.

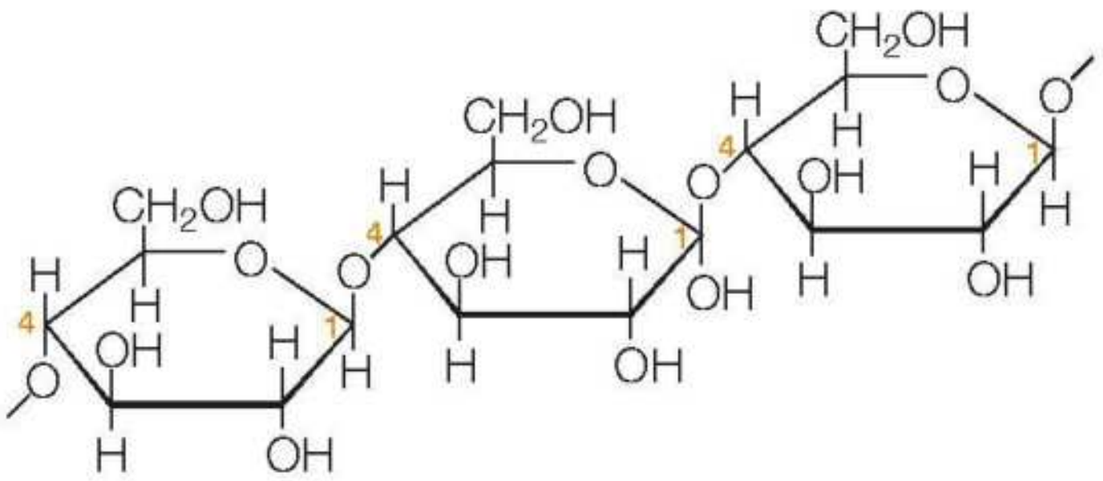
Dekstryny powstają również w zewnętrznej warstwie ciasta podczas pieczenia, np. chleba (fot. 174.).

Skrobia odgrywa istotną rolę w żywieniu ludzi, roślin i zwierząt. Rośliny odkładają ją w bulwach i nasionach, tworząc w ten sposób materiał zapasowy dla nowych pędów. Dla ludzi i zwierząt skrobia i produkty jej hydrolizy stanowią podstawowy, niezbędny do życia materiał energetyczny.

Budowa cząsteczki celulozy

Celuloza to polisacharyd zbudowany z reszt glukozowych połączonych w długie, nierozgałęzione łańcuchy wiązaniami glikozydowymi o odmiennej konfiguracji niż w skrobi. **Długie łańcuchy cząsteczek celulozy** są ułożone obok siebie i **tworzą włókna** dzięki powstającym między nimi wiązaniom wodorowym.

Cząsteczki celulozy są zbudowane z dużej liczby reszt glukozowych. Wzór celulozy to $(C_6H_{10}O_5)_m$, przy czym zależnie od pochodzenia wartość m może wynosić 100–10 000. **Celuloza jest polimerem** o masie cząsteczkowej rzędu kilku milionów jednostek u:



fragment łańcucha **celulozy**



Fot. 175. Termity żywią się celulozą.

Różnice w budowie skrobi i celulozy mają ogromne znaczenie. Celuloza jest najbardziej rozpowszechnioną formą glukozy na Ziemi. Ludzkość nie miałaby problemów żywnościowych, gdyby organizm człowieka zawierał celulazę, czyli enzym potrzebny do hydrolizy wiązań glikozydowych występujących w celulozie.

Enzymy hydrolizujące celulozę występują w mikroorganizmach żyjących w przewodzie pokarmowym termitów (fot. 175.) i przeżuwaczy, np. kóz, owiec i krów. Dlatego zwierzęta te mogą odżywiać się celulozą z roślin, które zjadają. Reakcja hydrolizy celulozy przebiega zgodnie z równaniem:

$$\underset{\text{celuloza}}{(C_6H_{10}O_5)_n} + \underset{\text{woda}}{n\,H_2O} \xrightarrow{\text{HCl lub enzymy}} \underset{\text{glukoza}}{n\,C_6H_{12}O_6}$$

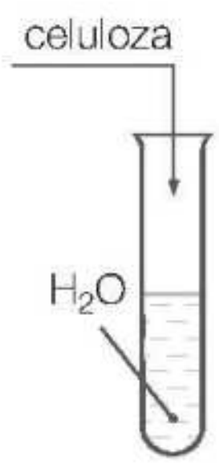
reakcja hydrolizy celulozy

Właściwości celulozy

Doświadczenie 74.

Badanie właściwości celulozy

Odczynniki: celuloza, woda destylowana.
Szkło laboratoryjne: probówka.
Instrukcja: Określ zapach, stan skupienia, barwę oraz rozpuszczalność celulozy w wodzie.



Obserwacje: Czysta celuloza (fot. 176.) jest białą, włóknistą masą bez smaku i zapachu. Po dodaniu wody powstaje mieszanina niejednorodna.
Wniosek: Włókna celulozy nie rozpuszczają się w wodzie.



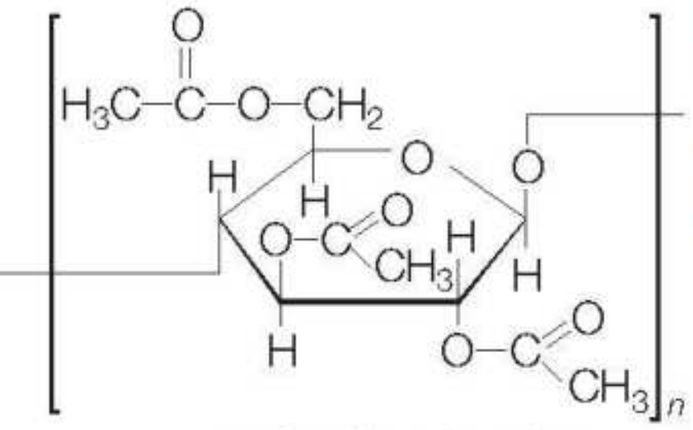
Fot. 176. Celuloza.

Porównanie budowy oraz właściwości skrobi i celulozy

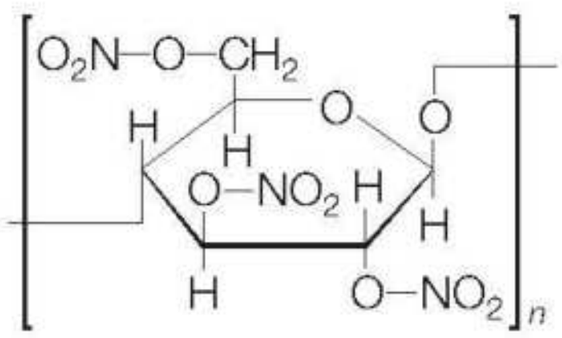
Skrobia i celuloza to polisacharydy zbudowane z reszt glukozowych. Jednak te związki chemiczne mają różne właściwości (tabela 39.), co związane jest z odmienną budową ich łańcuchów.

Tabela 39. Porównanie budowy cząsteczek oraz właściwości skrobi i celulozy

Nazwa związku chemicznego	skrobia	celuloza
Typ związku chemicznego	polisacharyd	polisacharyd
Jednostka strukturalna	reszta glukozowa glukozy α	reszta glukozowa glukozy β
Wiązania między resztami monosacharydu	1,4'-glikozydowe (w łańcuchu) 1,6'-glikozydowe (rozgałęzienia)	1,4'-glikozydowe
Budowa cząsteczek	łańcuchy proste (amyloza) i łańcuchy rozgałęzione (amylopektyna)	łańcuchy proste
Stan skupienia w temperaturze pokojowej	stały	stały
Barwa	biała	biała
Rozpuszczalność w wodzie	w zimnej wodzie nie rozpuszcza się, w gorącej wodzie pęcznieje	nie rozpuszcza się
Zapach	bezwonna	bezwonna
Hydroliza	ulega względnie łatwo	ulega trudno
Trawienie w organizmie człowieka	tak	nie



wzór półstrukturalny **trioctanu celulozy**



wzór półstrukturalny **triazotanu(V) celulozy**

Produkty estryfikacji celulozy

Znaczące zastosowania praktyczne mają produkty estryfikacji celulozy: **trioctan celulozy** i **triazotan(V) celulozy**.

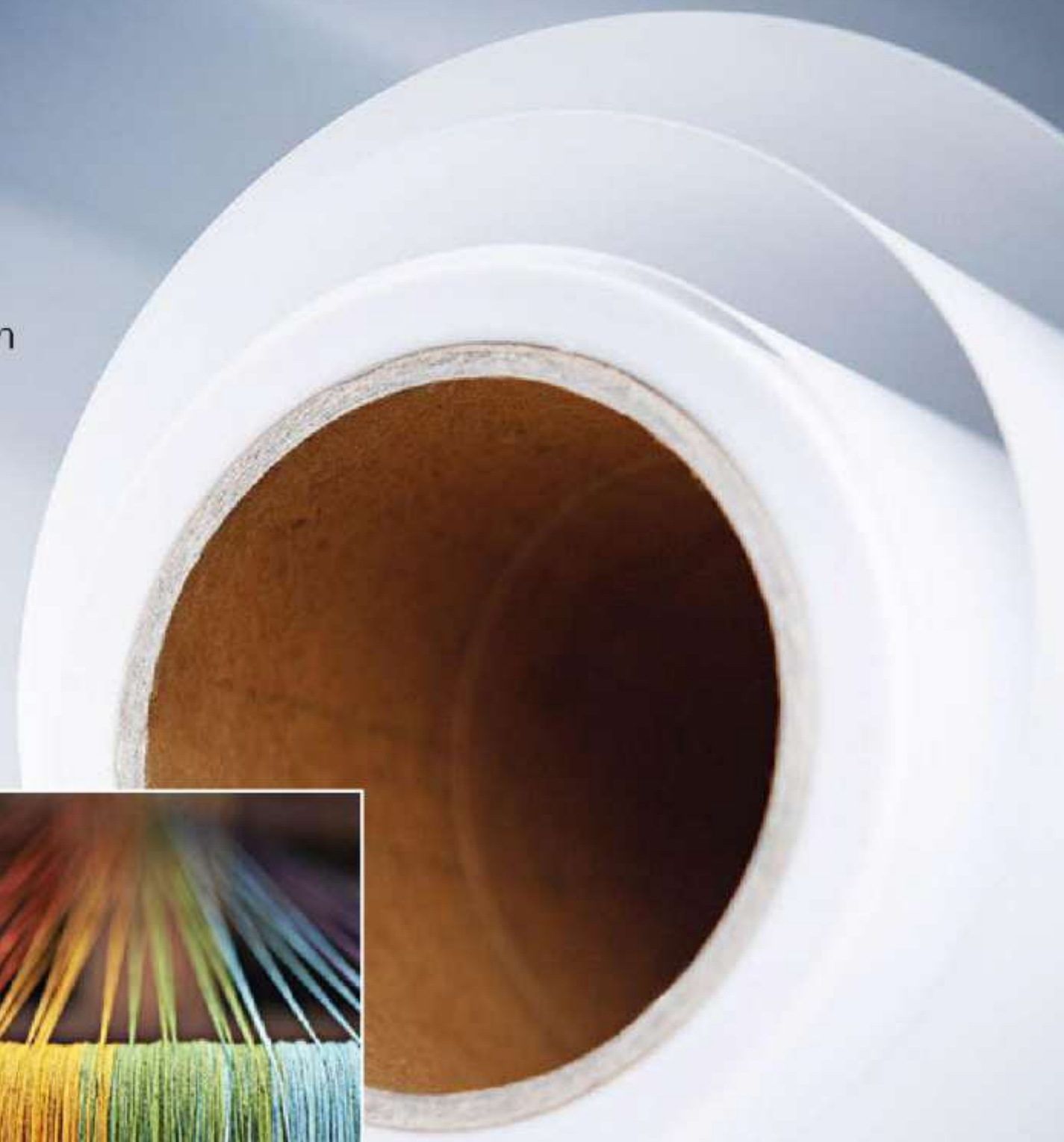
Trioctan celulozy (acetoceluloza, CTA) otrzymuje się w wyniku reakcji estryfikacji celulozy i kwasu etanowego, w obecności kwasu siarkowego(VI) w temp. 60°C. Trioctan celulozy jest przezroczystą substancją stałą, z której można formować cienką folię oraz włókna o dużej wytrzymałości. Folia z trioctanu celulozy służy do produkcji m.in. taśm filmowych.

Triazotan(V) celulozy (nitroceluloza) powstaje w reakcji estryfikacji celulozy kwasem azotowym(V) w obecności kwasu siarkowego(VI). Jest substancją łatwopalną, stosowaną m.in. do produkcji materiałów wybuchowych.

Zastosowania

Polisacharydy

Tworzywa sztuczne, których składnikiem jest skrobia, w warunkach naturalnych ulegają biodegradacji. Natomiast proch bezdymny otrzymywany z azotanu(V) celulozy jest stosowany do produkcji amunicji i ładunków wybuchowych.







■ Przemysł spożywczy

Skrobia jest głównym składnikiem mąki używanej do produkcji wyrobów spożywczych. Jest też stosowana jako dodatek zagęszczający do **mrożonych dań** i ciast w proszku.

■ Przemysł włókienniczy

Len i bawełna to naturalne włókna celulozowe, z których produkuje się **nici**. Celuloza wykorzystywana jest też m.in. do produkcji chusteczek higienicznych.

■ Przemysł papierniczy

Głównym surowcem do **produkcji papieru** jest celuloza. Dodaje się do niej m.in. skrobię, która umożliwia sklejenie masy papierniczej.

Chemia w medycynie

Celuloza jest wykorzystywana do produkcji **nici chirurgicznych**. Natomiast niektóre jej związki są składnikami m.in. preparatów poprawiających trawienie. Z kolei dekstran, czyli polisacharyd wytwarzany z cząsteczek glukozy przez bakterie *Leuconostoc mesenteroides*, jest stosowany jako środek krwiozastępczy w przypadku utraty krwi lub osocza.





Oznaczenie wyrobów tekstylnych, które nie zawierają substancji szkodliwych w stężeniach mających negatywny wpływ na zdrowie człowieka (m.in. substancji rakotwórczych, barwników uczulających, pestycydów, formaldehydów czy metali ciężkich).

Włókna

Celuloza jest najbardziej cenionym surowcem do wytwarzania włókien sztucznych. Związek ten jest głównym substratem do produkcji jedwabiu sztucznego, odpowiednika jedwabiu naturalnego, który jest wytwarzany przez gąsienice motyla jedwabnika.

Jedwab sztuczny ma właściwości podobne do bawełny i w przeciwieństwie do jedwabiu naturalnego jest higroskopijny. Najpopularniejsze odmiany jedwabiu sztucznego stosowane w przemyśle to:

- jedwab wiskozowy – głównie do wyrobu bielizny i podszewek w garniturach,
- jedwab octanowy – ma połysk podobny do połysku jedwabiu naturalnego, wyroby są miękkie i mało się gniotą.

Włókna sztuczne wytwarza się z surowców pochodzenia naturalnego (tabela 40.).

Tabela 40. Podział surowców do produkcji włókien sztucznych

Surowce	
organiczne	nieorganiczne
m.in. celuloza, białka, kauczuk	m.in. szkło, tlenki, węgiel, metale

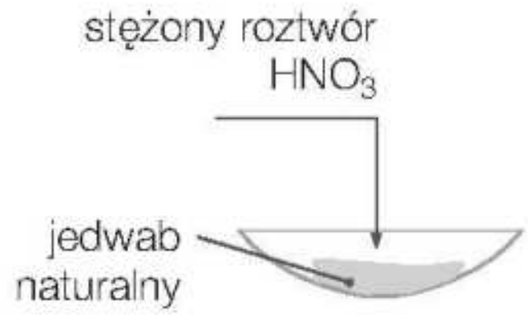
Doświadczenie 75. HNO_3

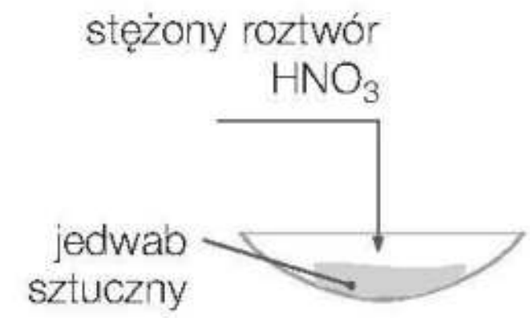
Odróżnianie jedwabiu sztucznego od naturalnego

Odczynniki: próbka jedwabiu naturalnego, próbka jedwabiu sztucznego, stężony roztwór kwasu azotowego(V).

Szkło i sprzęt laboratoryjny: szkiełka zegarkowe, wkraplacz.

Instrukcja: Umieść na szkiełku zegarkowym próbkę jedwabiu naturalnego. Dodaj kroplę stężonego roztworu HNO_3 (schemat). Obserwuj zabarwienie próbki. Te same czynności powtórz z próbką jedwabiu sztucznego.





Obserwacje: Na jedwabiu naturalnym pojawia się wyraźne żółte zabarwienie, natomiast na próbce jedwabiu sztucznego nie widać zmian.

Wniosek: Próbka jedwabiu naturalnego zawiera białko. Żółte zabarwienie świadczy o pozytywnym wyniku próby ksantoproteinowej – reakcji charakterystycznej białek. Brak zabarwienia próbki jedwabiu sztucznego oznacza negatywny wynik próby ksantoproteinowej, a więc jedwab sztuczny nie zawiera białek.

Doświadczenie 76.  HNO_3

Odróżnianie włókien naturalnych pochodzenia zwierzęcego od włókien naturalnych pochodzenia roślinnego

Odczynniki: próbka tkaniny bawełnianej, próbka tkaniny wełnianej (tkaniny nie powinny zawierać domieszek innych włókien).
Szkło i sprzęt laboratoryjny: palnik gazowy, szczypce metalowe.
Instrukcja: Trzymaną w szczypcach tkaninę wełnianą umieść w płomieniu palnika. Po chwili wyjmij ją z płomienia. Tę samą czynność powtórz z tkaniną bawełnianą. Zwróć uwagę na zapach wydzielający się podczas przeprowadzania doświadczenia.

Obserwacje: Obie tkaniny łatwo się spalają (fot. 177.). Tkanina wełniana pali się powoli i gaśnie, gdy wyjmie się ją z płomienia palnika. Podczas spalania wełny w powietrzu unosi się charakterystyczny zapach przypominający spalone włosy. Tkanina bawełniana spala się szybko i całkowicie. Pozostaje po niej jasnoszary popiół. Pali się po wyjęciu z płomienia palnika.
Wniosek: Wełna jest włóknem pochodzenia zwierzęcego (włóknem białkowym). Zawiera keratynę – białko, które występuje m.in. w sierści zwierząt. Bawełna to włókno pochodzenia roślinnego zbudowane z celulozy.

a) b)



Fot. 177. Spalanie: a) wełny, b) bawełny.

Celuloza jest jednym z najważniejszych produktów w przemyśle chemicznym. Wytwarza się ją z drewna, które zawiera 50% celulozy. W celu jej otrzymania drewno rozdrabnia się i ogrzewa z roztworami wodorotlenku sodu NaOH lub siarczanów(IV): sodu Na_2SO_3, magnezu $MgSO_3$ bądź wapnia $CaSO_3$. W takich warunkach jedynym nierozpuszczalnym składnikiem drewna jest celuloza, którą po odsączeniu poddaje się dalszej przeróbce. Większość produkowanej celulozy jest przetwarzana na papier.

Symbol Woolmark jest umieszczany na wyrobach z czystej wełny lub zawierających wełnę.



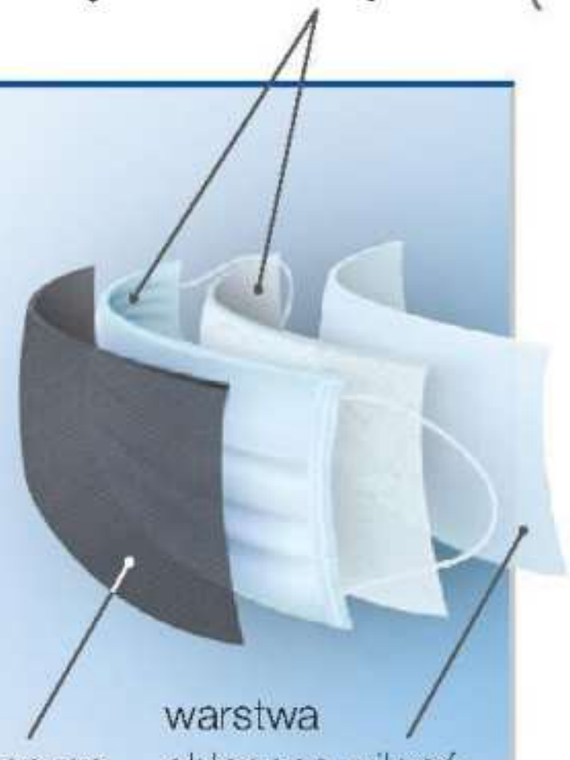
wyroby o co najmniej 50-procentowej zawartości wełny



wyroby zawierające od 30% do 50% wełny

Odkrycia, które zmieniły świat – maski ochronne

Maski ochronne są wykorzystywane nie tylko przez chirurgów w trakcie zabiegów operacyjnych, lecz także przez osoby, które chcą uchronić się przed zanieczyszczeniami i patogenami unoszącymi się w powietrzu. Maski chirurgiczne są jednorazowe, natomiast maseczki przeznaczone do noszenia na co dzień mogą być wielokrotnie prane. Te ostatnie są najczęściej wielowarstwowe (fot. 178.) i mają filtr, który zatrzymuje większość szkodliwych czynników. Do ich produkcji wykorzystywane mogą być np. tkaniny poliamidowe i bawełniane.



Fot. 178. Materiał filtrujący jest wykonany z tworzyw sztucznych.

Krok po kroku

Przegląd włókien

Włókna są podstawową jednostką struktury wielu materiałów. Charakteryzują się dużą różnicą między długością a przekrojem. Zwykle przyjmuje się, że **włóknem jest struktura co najmniej 100 razy dłuższa od średnicy jej przekroju**. Włókna występują zarówno w materiałach naturalnych, jak i produkowanych przez człowieka.

- **włókna**
  - **naturalne**
    - **mineralne** – włókna nieorganiczne, np. azbest
    - **roślinne** – włókna organiczne, np. len, konopie, bawełna
    - **zwierzęce** – włókna organiczne, np. wełna, jedwab naturalny
  - **chemiczne**
    - **nieorganiczne** – np. włókna szklane, metalowe, węglowe
    - **sztuczne** – włókna organiczne wytwarzane z naturalnych polimerów, np. jedwab sztuczny
    - **syntetyczne** – włókna organiczne powstające w wyniku syntezy chemicznej, np. anilana, nylon

Jakie są rodzaje i zastosowania włókien syntetycznych?

Włókna do zadań specjalnych są niezastąpione w warunkach ekstremalnych ze względu na wyjątkowe właściwości, czyli odporność na wysoką temperaturę i duże obciążenie. Wśród wielu rodzajów włókien syntetycznych należy wymienić m.in. **włókna węglowe** i **szklane**.



Włókna węglowe wykorzystywane są do produkcji kasków policyjnych o wysokiej wytrzymałości i małym ciężarze. Składają się one z kilku warstw włókna zawierającego głównie czysty grafit – włókno węglowe.



Włókna szklane powstają w wyniku wyciskania stopionej masy szklanej przez otwory o bardzo małej średnicy. Z włókien szklanych mieszanych, połączonych z tworzywami sztucznymi, produkuje się odzież, która chroni przed toksycznymi substancjami i skażeniami chemicznymi.



■ Włókna **bawełny** pochodzą od rośliny o tej samej nazwie. Jest to bardzo wydajna produkcyjnie roślina, ponieważ podczas przetwarzania traci tylko 10% swojej masy.

Bawełnę wykorzystuje się m.in. do produkcji odzieży, bandaży i filtrów do kawy.

Zalety:
- przewiewna
- higroskopijna – może zawierać do 30% wilgoci, dlatego chłonie pot

Wady:
- łatwo się gniecie i mechaci
- nieodporna na długotrwałą wilgoć



■ **Len** to roślina, której wszystkie części wykorzystuje się w przemyśle. Włókna lnu występują na całej długości rośliny, dlatego len wyrywa się z korzeniami.

Włókna lniane stosuje się do produkcji m.in. obrusów, pościeli oraz odzieży.

Zalety:
- ma właściwości antybakteryjne
- nie przepuszcza szkodliwego promieniowania UV

Wady:
- mniej delikatny i sztywny niż bawełna – bardziej się gniecie



■ Owcza **wełna** to najpopularniejsze włókno pochodzenia zwierzęcego.

Stosuje się ją m.in. do wyrobu swetrów, skarpet, szalików, rękawiczek, płaszczy i garniturów.

Zalety:
- higroskopijna – zatrzymuje wilgoć i wchłania pot
- absorbuje promieniowanie UV

Wady:
- żółknie pod wpływem promieni słonecznych
- mało odporna na wysokie temperatury



■ **Jedwab naturalny** to najcieńsze włókno naturalne, które wytwarza gąsienica motyla jedwabnika.

Stosuje się go najczęściej do produkcji chust, sukni, szali i krawatów.

Zalety:
- łatwo ulega barwieniu
- bardzo wytrzymały

Wady:
- wrażliwy na promienie słoneczne
- nieodporny na pleśń

Rodzaje opakowań

Papier jest wykorzystywany m.in. do produkcji opakowań. Powstają one także z innych materiałów (tabela 41.).

Opakowania stosuje się przede wszystkim po to, aby chronić towar podczas transportu oraz bezpiecznie go przechować. Materiały do produkcji opakowań wybiera się, uwzględniając kilka czynników:

- koszt materiału i produkcji opakowania,
- wpływ materiału i procesu produkcji opakowania na środowisko przyrodnicze,
- odporność materiału na warunki zewnętrzne,
- możliwe oddziaływania między opakowaniem a znajdującym się w nim towarem.

Tabela 41. Rodzaje opakowań i ich zastosowania

Rodzaj i przykład opakowania	Materiał	Przykładowa zawartość
papierowe, np.: kartony i worki papierowe 	do ich produkcji stosuje się drewno, z którego wytwarza się papier oraz tekturę (składa się z kilkunastu warstw papieru)	▸ substancje sypkie ▸ żywność ▸ materiały budowlane ▸ sprzęt AGD i RTV ▸ produkty rolne
metalowe, np.: beczki, puszki, cysterny, kontenery 	do ich produkcji stosuje się metale lekkie, np. glin, wykorzystuje się także stal nierdzewną	▸ ropa naftowa i płynne produkty jej przeróbki ▸ roztwory związków chemicznych ▸ żywność, np. konserwy ▸ skroplone gazy ▸ woda ▸ ścieki i inne odpady płynne ▸ substancje do rozpylenia jako aerozol
szklane, np.: słoiki i butelki 	wyroby formowane ze szkła	▸ napoje ▸ odczynniki chemiczne ▸ żywność, np. mleko ▸ kosmetyki
z tworzyw sztucznych, np.: pojemniki, butelki i folie 	produkowane m.in. z polietylenu, polistyrenu z różnymi dodatkami poprawiającymi wytrzymałość i odporność chemiczną	▸ żywność, np. napoje ▸ zakupy ▸ środki czystości ▸ odczynniki chemiczne ▸ produkty elektroniczne ▸ ścieki i inne odpady płynne

Odkrycia, które zmieniły świat – opakowania biodegradowalne

Opakowania z tworzyw sztucznych charakteryzują się niskim kosztem ich wytwarzania oraz dużą wytrzymałością. Jednak z czasem trafiają one na wysypiska śmieci i zalegają tam przez lata. Dlatego rozpoczęto badania nad materiałami, które ulegają rozkładowi pod wpływem mikroorganizmów (fot. 179.) na wodę i tlenek węgla(IV) oraz proste i nietoksyczne związki chemiczne. Te tworzywa, wykonane m.in. z kukurydzy lub ryżu, nazwano polimerami biodegradowalnymi. Biodegradacji ulegają też polimery nierozkładalne, np. PE czy PVC, wcześniej poddane odpowiedniej modyfikacji, która przyspiesza proces rozkładu. Do modyfikacji polimerów stosuje się substancje pochodzenia naturalnego, np. skrobię lub celulozę.



biodegradacja kulek poliamidu

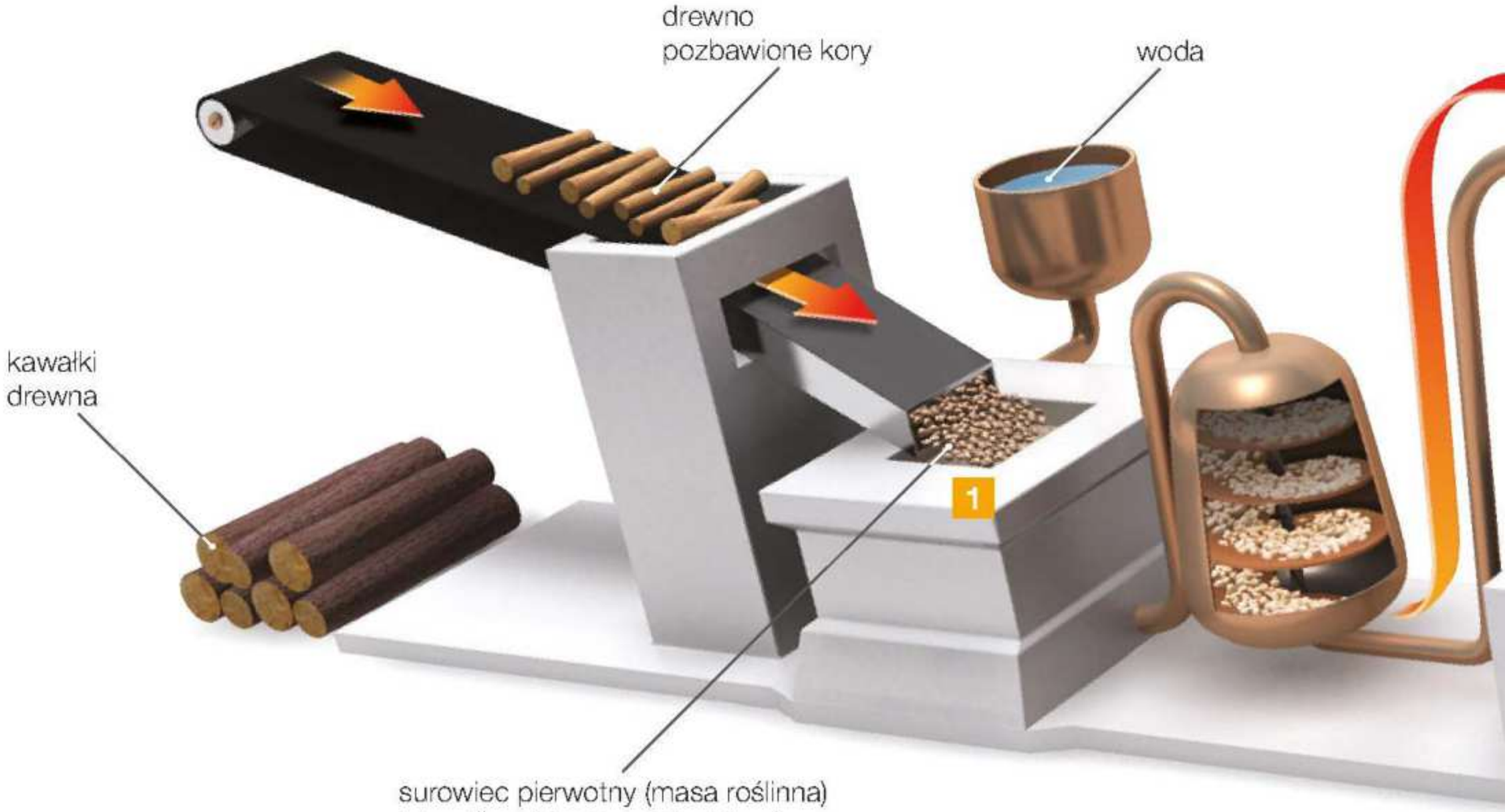
Fot. 179. Grzyby wydzielają enzymy, które zapoczątkowują proces biodegradacji kulek poliamidu.

	Zalety	Wady
	▸ lekkie ▸ niska cena ▸ łatwe w przetwarzaniu ▸ łatwo dostępne ▸ łączą się z innymi materiałami ▸ mogą ulegać rozkładowi w warunkach naturalnych	▸ mała wytrzymałość ▸ przepuszczają smaki i zapachy ▸ łatwo nasiąkają ▸ łatwopalne ▸ mała odporność chemiczna
	▸ duża wytrzymałość ▸ można je łatwo formować ▸ lekkie, np. aluminium ▸ odpady łatwe w przetwarzaniu	▸ podatne na korozję ▸ duża masa opakowań, np. kontenerów ▸ możliwość przenikania szkodliwych metali do produktów ▸ nie ulegają rozkładowi w warunkach naturalnych
	▸ odporne chemicznie (oprócz $HF_{(aq)}$ i stężonych roztworów zasad) ▸ nie przepuszczają zapachów ▸ przezroczyste ▸ ich powierzchnia jest odporna na zarysowania ▸ łatwe do umycia ▸ możliwość wielokrotnego stosowania ▸ można im łatwo nadać różne kształty ▸ ciemne szkło nie przepuszcza promieniowania UV	▸ duża masa w stosunku do przechowywanego produktu ▸ łatwo ulegają uszkodzeniu, np. stłuczeniu ▸ nie ulegają rozkładowi w warunkach naturalnych
	▸ łatwe w produkcji ▸ lekkie ▸ nie reagują chemicznie z większością przechowywanych w nich artykułów ▸ podatne na laminowanie ▸ podatne na barwienie ▸ odporne na temperatury (od 45°C do 90°C) ▸ nie przepuszczają pary wodnej, gazów i zapachów	▸ możliwość przenikania szkodliwych dodatków tworzyw sztucznych do przechowywanych produktów ▸ nie ulegają rozkładowi w warunkach naturalnych

Krok po kroku

Proces produkcji papieru

Głównym składnikiem masy stosowanej do produkcji papieru jest **celuloza**, która jest nierozpuszczalną w wodzie substancją bez smaku i zapachu. Natomiast włókna celulozowe, połączone ze sobą w zwartą, jednolitą masę, tworzą **papier**.



Jakie są rodzaje papieru, ich właściwości i zastosowania?

Papier najczęściej jest wyrabiany z drzew iglastych, czyli sosny, świerku lub jodły. Włókna drzew składają się z celulozy, dlatego papier jest bardzo wytrzymały i nie rozpada się łatwo przy rozciąganiu lub zginaniu. Celuloza jest również głównym składnikiem papieru wytwarzanego z surowców wtórnych, np. tkanin lub makulatury. Do produkcji papieru wykorzystuje się również słomę, konopie lub łodygi bambusa. Ze względu na sposób produkcji i zastosowanie wyróżnia się wiele rodzajów papieru, m.in. pergaminowy, celofan i celulozowy. **Papier pergaminowy** otrzymuje się, przepuszczając papier kolejno przez roztwór H_2SO_4, H_2O, później roztwór Na_2CO_3 i ponownie przez H_2O. Otrzymaną masę kilkukrotnie się walcuje. Z kolei **celofan** powstaje z wiskozy, czyli lepkiej cieczy uzyskanej w reakcji NaOH, celulozy oraz CS_2. Zawiera on ok. 12% glicerolu, dzięki czemu jest silnie higroskopijny. Używany jest głównie do produkcji opakowań.



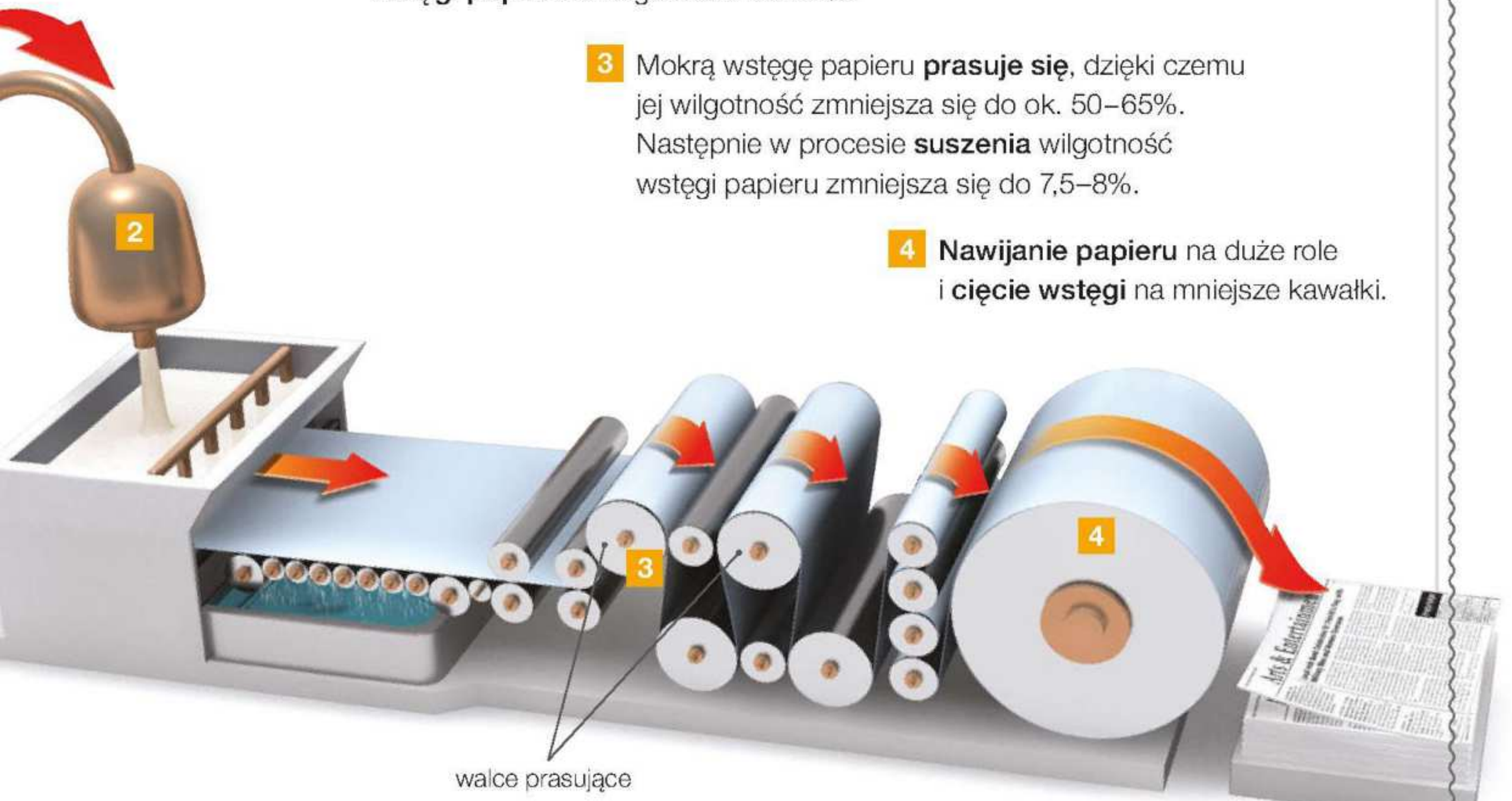
▲ Papier pergaminowy jest gładki, częściowo przezroczysty, odporny na wodę, tłuszcze roślinne i zwierzęce.

1 Surowiec pierwotny lub wtórny jest **mieszany z wodą** aż do uzyskania jednolitej masy włóknistej (w razie potrzeby jest oczyszczany).

2 Masę papierniczą wprowadza się do maszyny, w której następuje **uformowanie wstęgi papieru** o wilgotności ok. 80%.

3 Mokrą wstęgę papieru **prasuje się**, dzięki czemu jej wilgotność zmniejsza się do ok. 50–65%. Następnie w procesie **suszenia** wilgotność wstęgi papieru zmniejsza się do 7,5–8%.

4 **Nawijanie papieru** na duże role i **cięcie wstęgi** na mniejsze kawałki.





▲ Celofan to przezroczysta, bezbarwna (lub zabarwiona) szeleszcząca folia celulozowa.

▼ Papier celulozowy jest szary, brązowy lub żółtawy, dlatego ze względów estetycznych jest często bielony chemicznie.

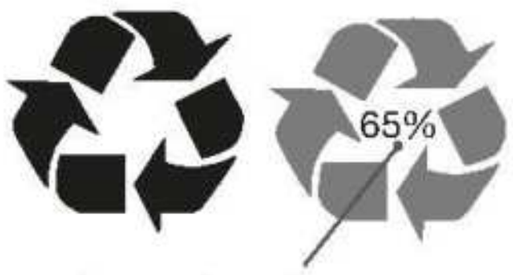


Zagospodarowanie odpadów

Człowiek pozbywa się ogromnej ilości odpadów, m.in. z papieru, aluminium, ze szkła czy stali. Niektóre można ponownie wykorzystać i wyprodukować z nich coś nowego. Wiele odpadów spala się, jednak większość składuje się na wysypiskach, a następnie zasypuje ziemią.

Na terenie całej Polski obowiązuje Wspólny System Segregacji Odpadów (WSSO), który wprowadzono 1 lipca 2017 r.

Oznaczenie opakowania, które może być użyte ponownie jako surowiec.



opakowanie wytworzone w 65% z surowców wtórnych

! Spalanie śmieci w gospodarstwach domowych, np. w ogniskach, piecach węglowych, powoduje poważne zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego.

sposoby zagospodarowania odpadów

segregacja	utylizacja	recykling
dzielenie odpadów na grupy, np. szkło, papier, metale, tworzywa sztuczne, i zbieranie ich do specjalnych pojemników	**niszczenie odpadów,** np. przez spalanie w kontrolowanych warunkach przemysłowych	(ang. *recycle* – zawracać do obiegu) **ponowne wykorzystanie** odpadów lub zużytych elementów do wytwarzania nowych produktów

Papier, szkło, metal i tworzywa sztuczne to przykłady odpadów, które można ponownie wykorzystać – poddać recyklingowi. Początkowym etapem jest segregacja odpadów, dlatego zbiera się je do specjalnie oznaczonych pojemników (patrz tabela 42., s. 407). Z opakowań powinna zostać usunięta ich zawartość, ale nie trzeba ich myć. Odpady należy jednak zgnieść, np. puszki, butelki, a od pojemników oderwać wieczka.

Odpady oznaczane jako bioodpady należy wrzucać do pojemników luzem lub w opakowaniach biodegradowalnych. Następnie odpady te są odpowiednio przetwarzane.

Szklane opakowania kruszy się i topi w temperaturze ok. 1500°C, a z roztopionego surowca formuje się nowe.

Z kolei z odpadów papierowych po recyklingu powstają głównie papier do pakowania, papier toaletowy oraz tektura. Wiele gazet jest wytwarzanych nawet w 50% z makulatury.

Metalowe surowce wtórne rozdziela się, biorąc pod uwagę rodzaj metalu, z którego je wykonano. Metalowe odpady przerabia się na sztabki, które następnie są przekazywane do producentów puszek, folii aluminiowej, części samochodowych itp. Odpady z tworzyw sztucznych są mielone i w takiej formie trafiają do zakładów, które przetwarzają je na nowe produkty.

Tabela 42. Segregacja odpadów

Typ odpadu	Przykładowe odpady	Przykłady produktów, których nie można wrzucać
Szkło 	szklane butelki, słoiki, szklane opakowania po kosmetykach i lekach	szyby, porcelana, ceramika, żarówki, świetlówki, lustra, kryształy, wyroby ze szkła żaroodpornego
Papier 	makulatura, ulotki, gazety, czasopisma, książki, zeszyty, katalogi, tektura, torby papierowe, papier biurowy, ścinki drukarskie	zanieczyszczony papier, zużyte chusteczki i ręczniki papierowe, kartony po mleku i napojach, worki po nawozach i materiałach budowlanych
Tworzywa sztuczne i metale 	opakowania stalowe i aluminiowe (np. puszki, folia), kapsle, pokrywki słoików, puste butelki (np. PET), nakrętki, kartony po mleku i napojach, folie i torebki z tworzyw sztucznych	butelki i pojemniki z zawartością, opakowania po farbach i lakierach, sprzęt elektryczny i elektroniczny, baterie i akumulatory, butelki po olejach samochodowych, opakowania po aerozolach, opakowania po olejach silnikowych, zatłuszczony styropian po żywności
Bioodpady z gospodarstw domowych 	resztki owoców i warzyw, skorupki jaj, fusy po kawie i herbacie, małe gałęzie, trawa, liście, kwiaty, trociny, kora drzew	resztki pochodzenia zwierzęcego (np. nabiał, mięso i kości), ziemia i kamienie, odchody zwierząt, popiół i węgiel, drewno lakierowane, płyty wiórowe i sklejka
Zmieszane	wszystko, czego nie można wrzucić do pozostałych pojemników, a co nie jest odpadem niebezpiecznym, np. resztki pochodzenia zwierzęcego, mokry lub zabrudzony papier, zużyte materiały higieniczne, w tym pieluchy jednorazowe, żwirek z kuwet dla zwierząt, fajans, potłuczone szyby i lustra, tekstylia	przeterminowane leki i chemikalia, baterie i akumulatory, odpady budowlane, sprzęt elektryczny i elektroniczny, meble i odpady wielkogabarytowe

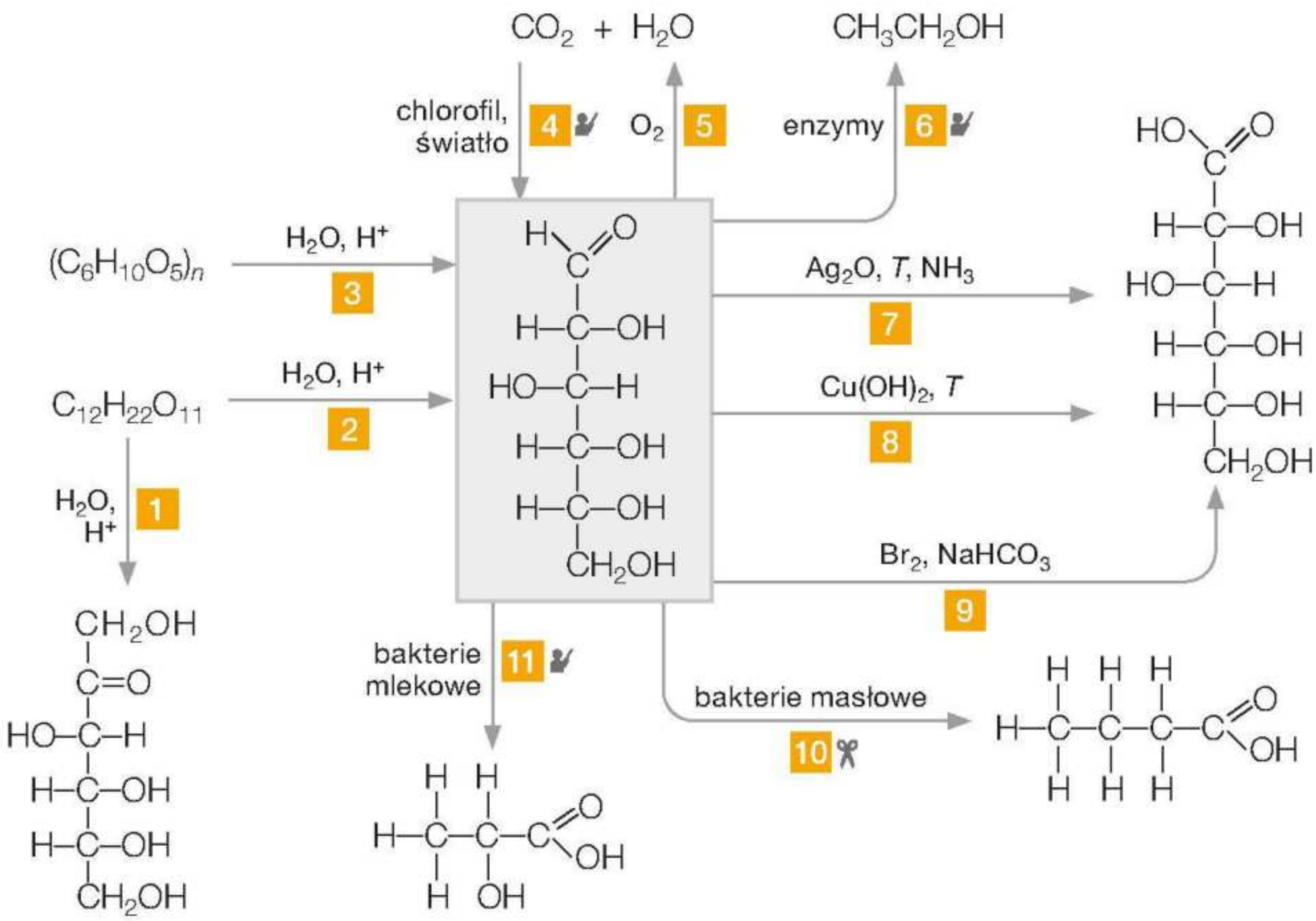


Odkrycia, które zmieniły świat – banknoty

Banknoty, czyli papierowe pieniądze, były znane w Chinach już w X w. Pierwszym krajem europejskim, który je wprowadził, była Szwecja. Kiedyś do produkcji banknotów wykorzystywano papier wytwarzany z **masy celulozowej**. Obecnie do produkcji takiego papieru **wykorzystuje się** głównie **bawełnę**. Dzięki temu banknoty są trwalsze. Do włókien bawełnianych czasami dodaje się też len, konopie lub inne włókna naturalne zawierające celulozę. Aby utrudnić fałszowanie banknotów (fot. 180.), stosuje się wiele zabezpieczeń, np.: grawerowanie laserowe na powierzchni papieru, znaki wodne (formowane już podczas produkcji papieru) czy metalowe paski wplecione lub wtopione między warstwy papieru.

Fot. 180. Banknoty euro drukuje się na papierze otrzymanym z odpadów włókienniczych pochodzących m.in. od producentów tekstyliów.

Ciągi przemian chemicznych – sacharydy



Równania reakcji chemicznych:

1. $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{H^+} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$
   sacharoza — woda — D-glukoza — D-fruktoza

2. $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{H^+} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$
   sacharoza — woda — D-fruktoza — D-glukoza

3. $(C_6H_{10}O_5)_n + n\,H_2O \xrightarrow{HCl \text{ lub enzymy}} n\,C_6H_{12}O_6$
   skrobia — woda — D-glukoza

4 $6\,CO_2 + 6\,H_2O \xrightarrow{\text{światło, chlorofil}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$

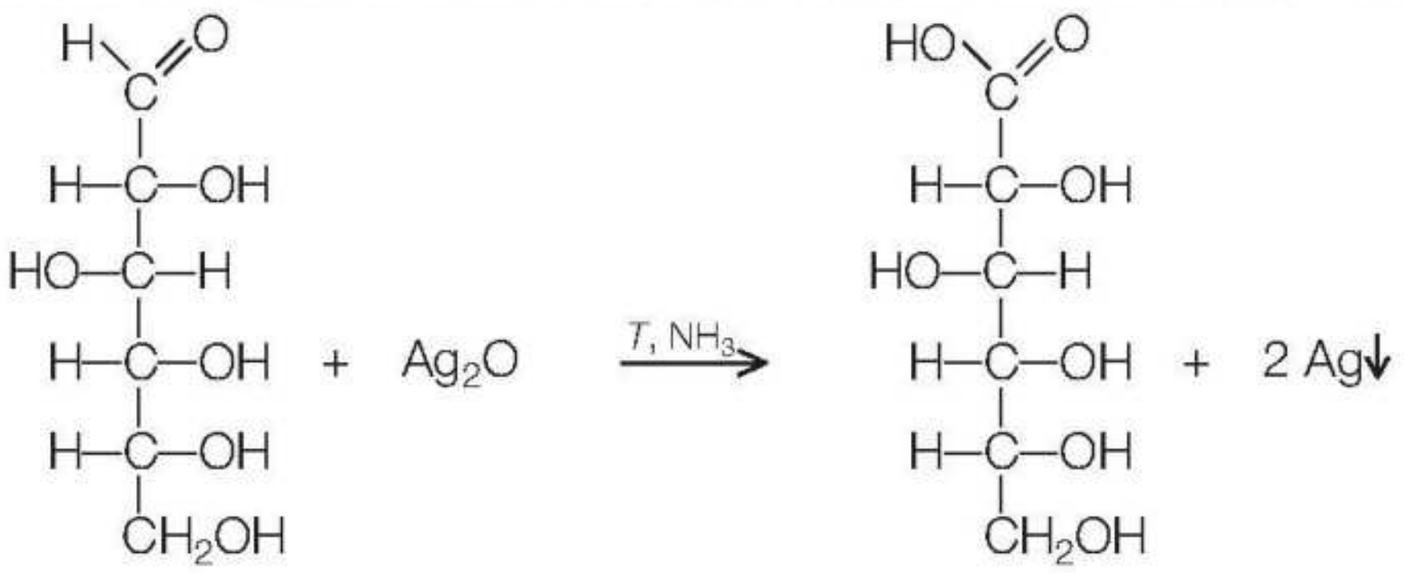
tlenek węgla(IV) — woda — D-glukoza — tlen

5 $C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \longrightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O$

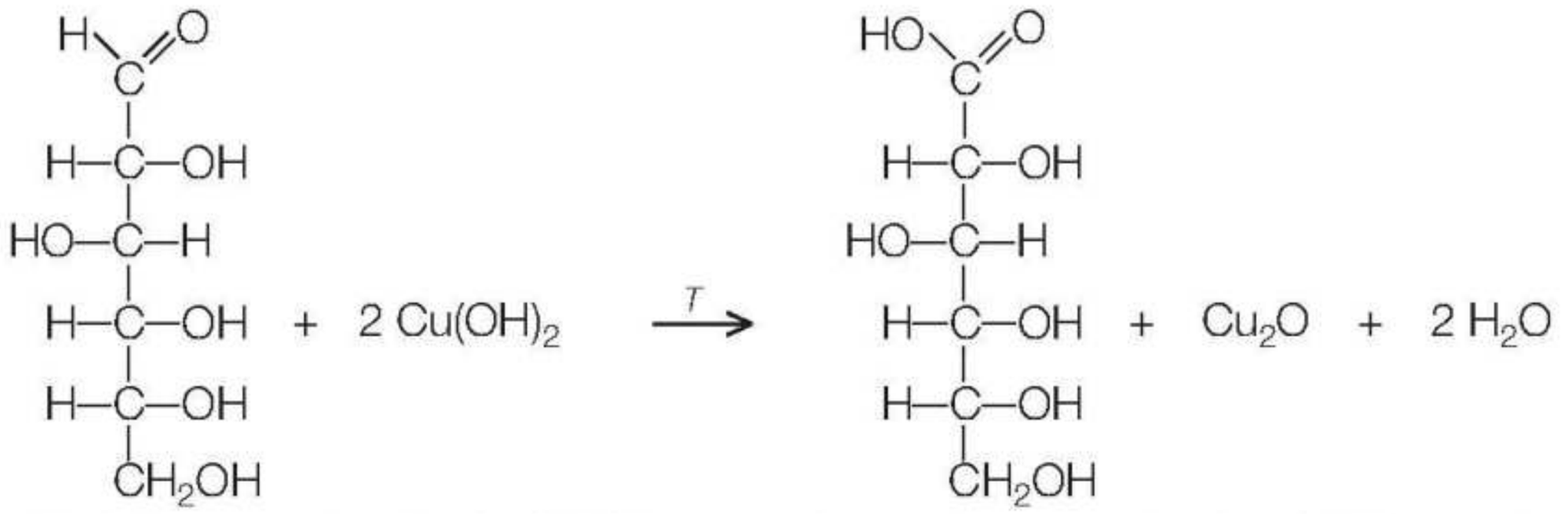
D-glukoza — tlen — tlenek węgla(IV) — woda

6 $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{enzymy}} 2\,CH_3CH_2OH + 2\,CO_2$

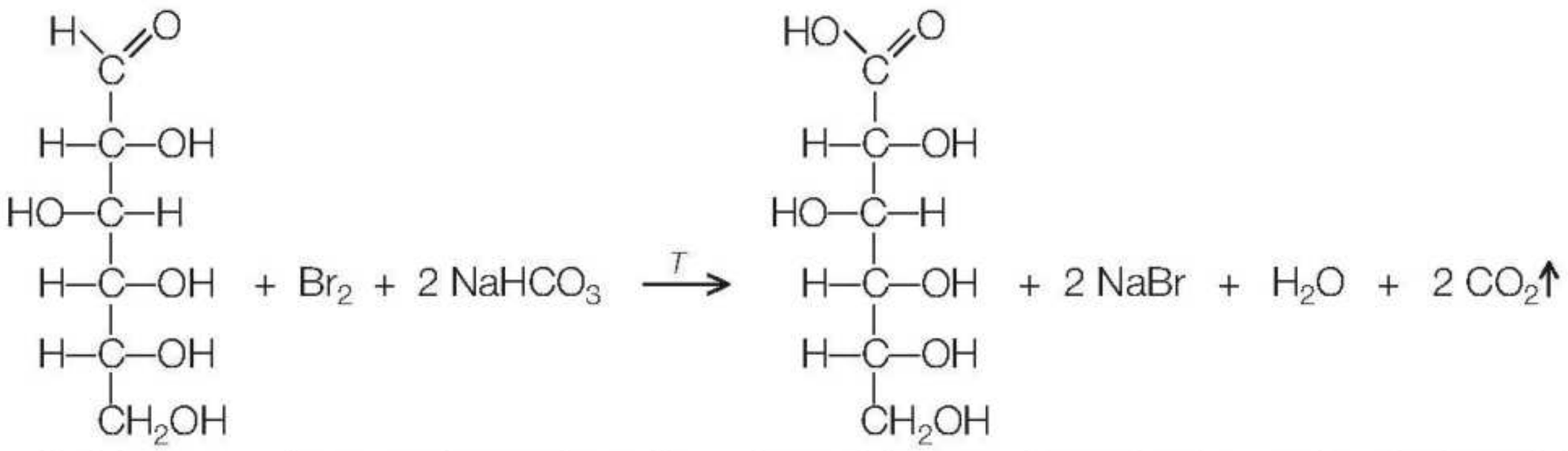
D-glukoza — etanol — tlenek węgla(IV)

7 

D-glukoza — tlenek srebra(I) — kwas glukonowy — srebro

8 

D-glukoza — wodorotlenek miedzi(II) — kwas glukonowy — tlenek miedzi(I) — woda

9 

D-glukoza — brom — wodorowęglan sodu — kwas glukonowy — bromek sodu — woda — tlenek węgla(IV)

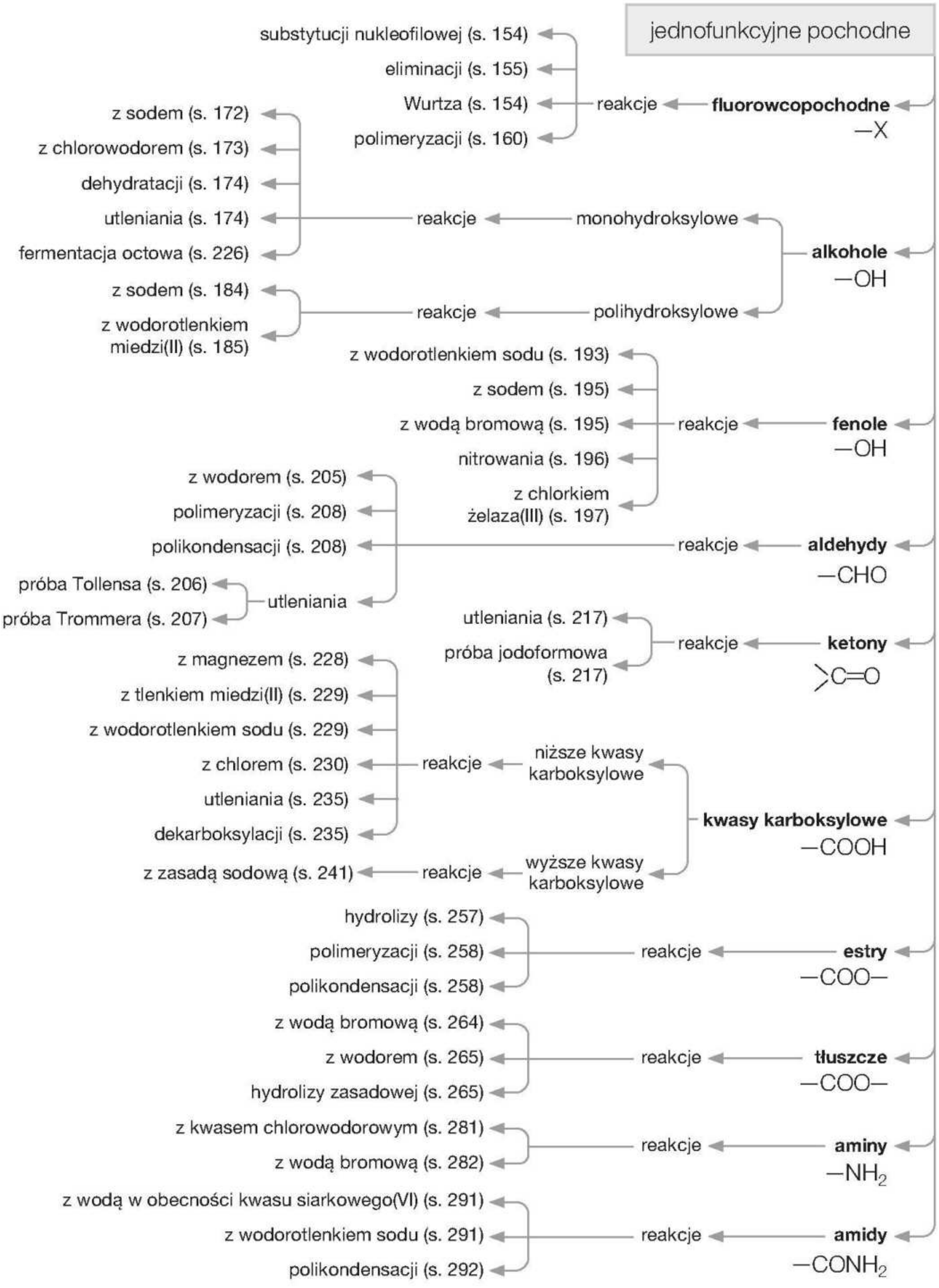
10 $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{bakterie masłowe}} CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}COOH + 2\,CO_2 + 2\,H_2\uparrow$

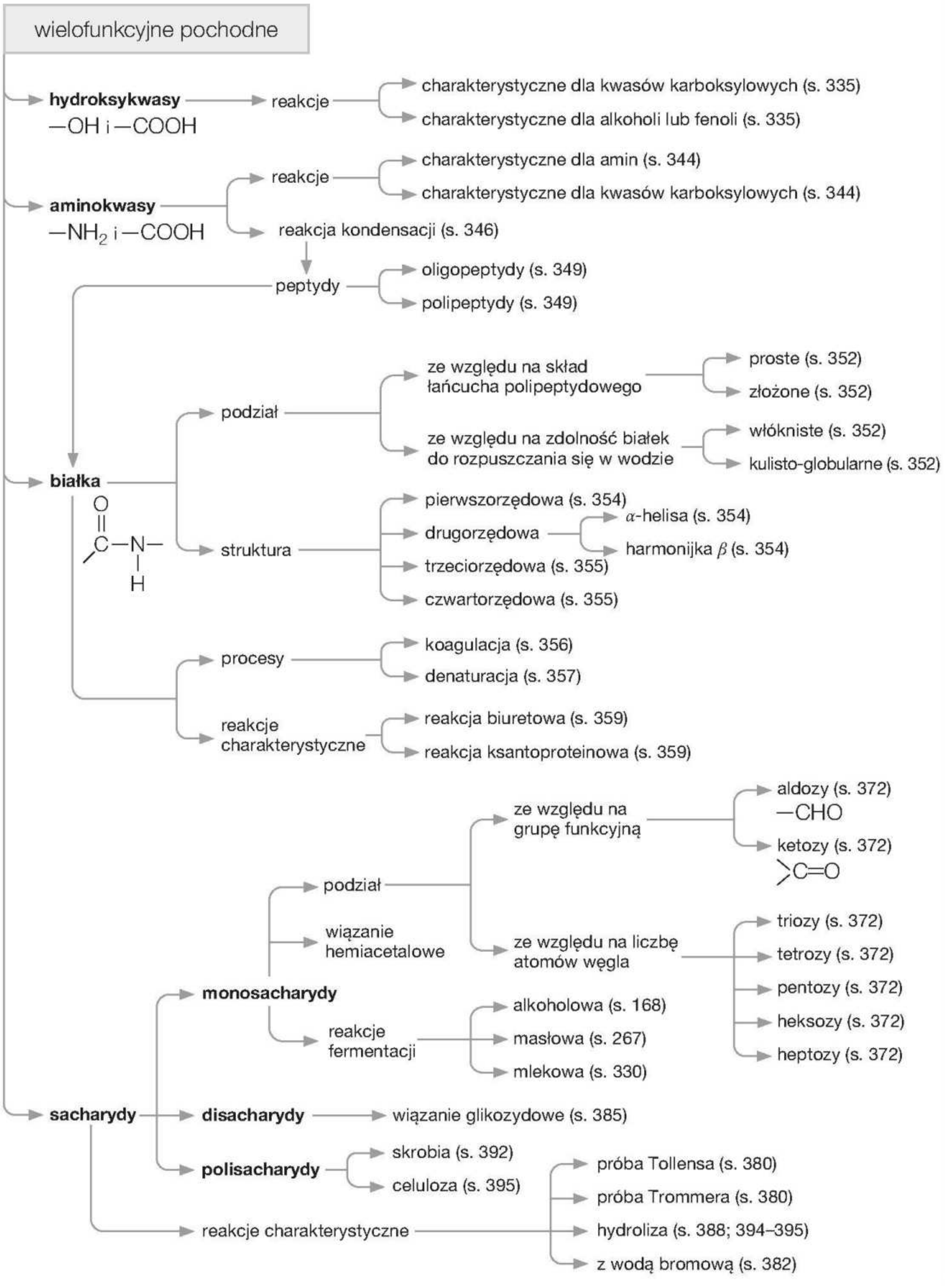
D-glukoza — kwas butanowy — tlenek węgla(IV) — wodór

11 $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{bakterie mlekowe}} 2\,CH_3{-}\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}{-}COOH$

D-glukoza — kwas mlekowy

Mapa pojęć – pochodne węglowodorów




wielofunkcyjne pochodne
hydroksykwasy
—OH i —COOH
reakcje
charakterystyczne dla kwasów karboksylowych (s. 335)
charakterystyczne dla alkoholi lub fenoli (s. 335)
aminokwasy
—NH2 i —COOH
reakcje
charakterystyczne dla amin (s. 344)
charakterystyczne dla kwasów karboksylowych (s. 344)
reakcja kondensacji (s. 346)
peptydy
oligopeptydy (s. 349)
polipeptydy (s. 349)
białka
podział
ze względu na skład łańcucha polipeptydowego
proste (s. 352)
złożone (s. 352)
ze względu na zdolność białek do rozpuszczania się w wodzie
włókniste (s. 352)
kulisto-globularne (s. 352)
struktura
pierwszorzędowa (s. 354)
drugorzędowa
α-helisa (s. 354)
harmonijka β (s. 354)
trzeciorzędowa (s. 355)
czwartorzędowa (s. 355)
procesy
koagulacja (s. 356)
denaturacja (s. 357)
reakcje charakterystyczne
reakcja biuretowa (s. 359)
reakcja ksantoproteinowa (s. 359)
sacharydy
monosacharydy
podział
ze względu na grupę funkcyjną
aldozy (s. 372)
—CHO
ketozy (s. 372)
>C=O
ze względu na liczbę atomów węgla
triozy (s. 372)
tetrozy (s. 372)
pentozy (s. 372)
heksozy (s. 372)
heptozy (s. 372)
wiązanie hemiacetalowe
reakcje fermentacji
alkoholowa (s. 168)
masłowa (s. 267)
mlekowa (s. 330)
disacharydy
wiązanie glikozydowe (s. 385)
polisacharydy
skrobia (s. 392)
celuloza (s. 395)
reakcje charakterystyczne
próba Tollensa (s. 380)
próba Trommera (s. 380)
hydroliza (s. 388; 394–395)
z wodą bromową (s. 382)

Zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

1. **Przeanalizuj ciągi przemian chemicznych** (patrz s. 408) **i wykonaj polecenia** (a–e)**.**

a) Podaj numery reakcji chemicznych, które są reakcjami fermentacji.

b) Podaj numer reakcji chemicznej, która przedstawia oddychanie wewnątrzkomórkowe. Określ rolę tej reakcji chemicznej w funkcjonowaniu organizmów.

c) Określ konfigurację względną produktu reakcji chemicznej oznaczonej numerem 1.

d) Podaj nazwy reakcji chemicznych oznaczonych numerami 7 i 8 oraz wyjaśnij, jaką funkcję podczas przebiegu tych reakcji pełni glukoza.

e) Określ, który z enancjomerów kwasu mlekowego (D czy L) jest produktem reakcji chemicznej zachodzącej podczas kiszenia kapusty, oznaczonej numerem 11.

2. **Napisz równanie reakcji spalania całkowitego skrobi.**

3. **Oblicz, ile cząsteczek glukozy powstanie w wyniku reakcji hydrolizy skrobi o masie cząsteczkowej 56 700 u.**

4. Masa cząsteczkowa celulozy uzyskanej z lnu wynosi ok. 590 000 u. **Oblicz, ile reszt glukozowych zawiera cząsteczka tej celulozy.**

5. Do wyprodukowania 1 tony papieru trzeba ściąć 17 drzew. **Oblicz, ile drzew należy ściąć do wyprodukowania 10 zeszytów dla każdego z 300 uczniów szkoły, wiedząc, że masa jednego zeszytu wynosi 80 g.**

6. Przeprowadzono hydrolizę 100 kg skrobi. Otrzymaną w tej reakcji chemicznej D-glukozę poddano fermentacji alkoholowej. **Oblicz, ile kilogramów etanolu otrzymano, jeżeli wydajność procesu fermentacji wynosiła 20%.**

7. Dane są włókna: len, wełna, jedwab sztuczny, jedwab naturalny. Poszczególne włókna charakteryzują się występowaniem w nich różnych wiązań chemicznych:
1) peptydowych,
2) estrowych,
3) *O*-glikozydowych.
Niektóre z włókien dają pozytywny wynik reakcji ksantoproteinowej. **Uzupełnij tabelę, wpisując nazwy włókien, oznaczenia liczbowe odpowiadających im wiązań oraz „+” lub „–” na wyrażenie wyniku reakcji ksantoproteinowej.**

Włókno	Rodzaj wiązania	Wynik reakcji ksantoproteinowej + (pozytywny) – (negatywny)
?	3.	?
?	?	+
jedwab sztuczny	?	?
?	1.	?

Podsumowanie

Czynność optyczna

Czynność optyczna jest to **zdolność** związku chemicznego **do skręcania płaszczyzny światła spolaryzowanego** w prawo lub w lewo o określony kąt.

Czynność optyczną wykazują związki **chiralne**.

Chiralność

Chiralność jest to właściwość przedmiotu (związku chemicznego) polegająca na tym, że nie nakłada się on ze swoim odbiciem lustrzanym.

Centrum chiralności

Centrum chiralności (chiralny atom węgla) jest to atom węgla połączony **z czterema różnymi podstawnikami**.

Podział izomerów optycznych

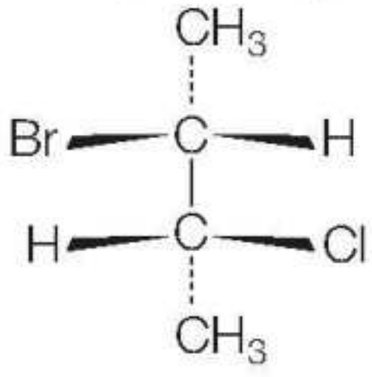
Rodzaje izomerów optycznych:

izomery optyczne

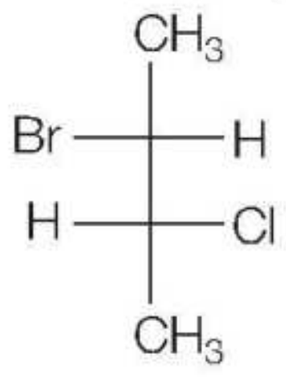
- **enancjomery** (są odbiciami lustrzanymi)
- **diastereoizomery** (nie są odbiciami lustrzanymi)

Izomery optyczne związku chemicznego, np. 2-bromo-3-chlorobutanu, można przedstawić za pomocą:

a) wzoru perspektywicznego



b) wzoru projekcyjnego (rzutowego) Fischera

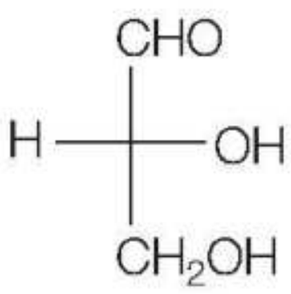


Konfiguracja

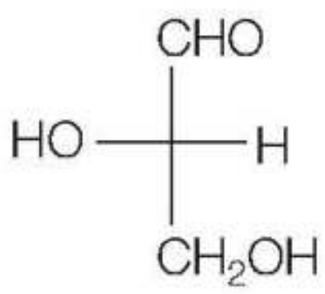
Konfiguracja to przestrzenne rozmieszczenie podstawników wokół centrum chiralności w cząsteczce.

Konfigurację izomerów optycznych można określać dwoma sposobami:

a) **konfigurację względną D i L** wyznacza się względem konfiguracji wzorca, którym jest cząsteczka aldehydu glicerynowego:



aldehyd D-glicerynowy



aldehyd L-glicerynowy

b) **konfiguracja absolutna *R* i *S*** określa rzeczywiste rozmieszczenie podstawników wokół centrum chiralności w cząsteczce.

Racemat

Racematy to **równomolowe mieszaniny** enancjomerów.

Hydroksykwasy

Hydroksykwasy są wielofunkcyjnymi pochodnymi węglowodorów, które zawierają w cząsteczkach dwie grupy funkcyjne:

- hydroksylową –**OH**,
- karboksylową –**COOH**.

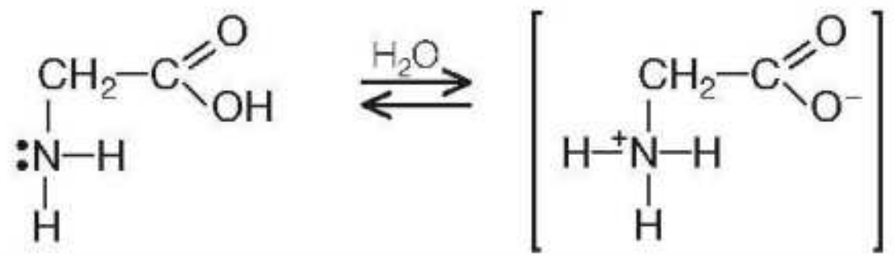
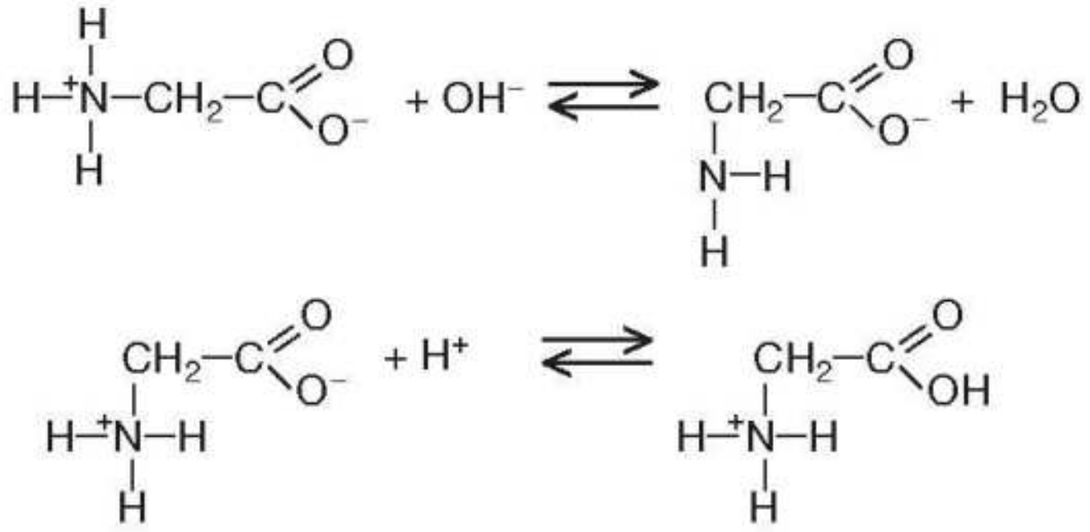
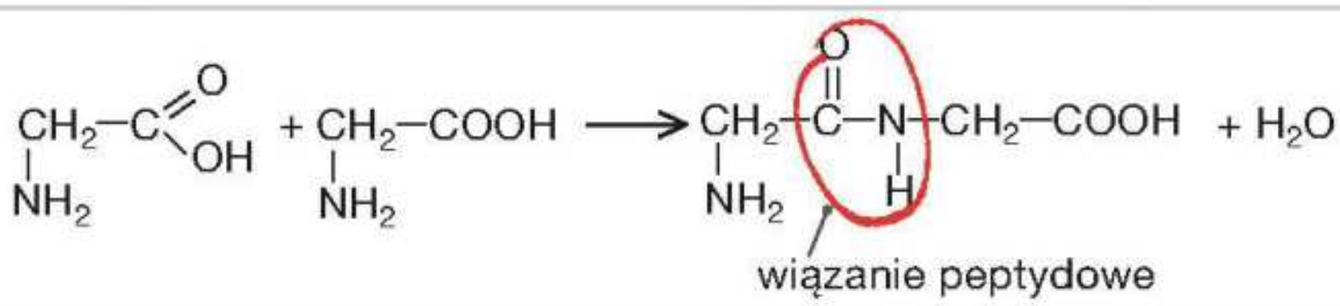
Ze względu na obecność dwóch różnych grup funkcyjnych cząsteczki hydroksykwasów ulegają reakcjom charakterystycznym dla kwasów karboksylowych oraz alkoholi i fenoli.

Obecność grupy	
hydroksylowej –OH	**karboksylowej –COOH**
▸ reakcje z metalami aktywnymi ▸ reakcja estryfikacji w obecności odpowiedniego kwasu ▸ reakcja eliminacji cząsteczki wody	▸ reakcje z metalami aktywnymi, tlenkami metali, wodorotlenkami ▸ reakcja estryfikacji w obecności odpowiedniego alkoholu ▸ reakcja dekarboksylacji

Aminokwasy

Aminokwasy to wielofunkcyjne pochodne węglowodorów, w których cząsteczkach znajdują się dwie grupy funkcyjne:

- karboksylowa –**COOH**,
- aminowa –**NH_2**.

Typ procesu	Charakterystyka procesu
Tworzenie się jonu obojnaczego	
Reakcja z kwasami i zasadami	
Kondensacja – tworzenie się peptydów	

Białka

Białka to **polipeptydy** zawierające **powyżej 100 reszt aminokwasowych** w cząsteczkach.

Typ procesu	Charakterystyka procesu
Hydroliza	W wyniku enzymatycznej hydrolizy białek powstają aminokwasy.
Wysalanie	Zachodzi pod wpływem roztworów niektórych soli, np. NaCl. To proces odwracalny, nie narusza struktury przestrzennej białka. zol $\underset{\text{peptyzacja}}{\overset{\text{koagulacja}}{\rightleftharpoons}}$ żel
Denaturacja	Nieodwracalny proces naruszający wyższe struktury białka. Zachodzi pod wpływem ogrzewania, alkoholi, kwasów, soli metali ciężkich i roztworu metanalu.
Reakcje charakterystyczne	▸ **Reakcja biuretowa** z wodorotlenkiem miedzi(II) – wykrywa wiązania peptydowe. ▸ **Reakcja ksantoproteinowa** ze stężonym roztworem kwasu azotowego(V) – wykrywa białko poprzez zachodzącą reakcję nitrowania pierścienia aromatycznego w resztach niektórych aminokwasów białkowych.

Monosacharydy

Monosacharydy dzieli się m.in. ze względu na rodzaj grupy fukcyjnej znajdującej się w ich cząsteczkach na:

- **aldozy** (polihydroksyaldehydy) – zawierają w cząsteczce grupy hydroksylowe –OH i **grupę aldehydową** –CHO,
- **ketozy** (polihydroksyketony) – zawierają w cząsteczce grupy hydroksylowe –OH i **grupę ketonową** $\rangle C{=}O$.

Typ procesu	Charakterystyka procesu
Reakcja wewnątrzcząsteczkowa z wytworzeniem formy cyklicznej	Forma cykliczna powstaje w wyniku utworzenia wiązania półacetalowego między C_1 i C_5 w glukozie (w aldoheksozach) oraz C_2 i C_5 we fruktozie (w ketoheksozach).
Utlenianie glukozy (próby Tollensa i Trommera)	Glukoza wykazuje właściwości redukujące: ▸ w próbie Tollensa redukuje jony srebra z I stopnia utlenienia do metalicznego srebra, ▸ w próbie Trommera redukuje miedź z II do I stopnia utlenienia. W obu próbach glukoza utlenia się do kwasu glukonowego.
Fotosynteza	Proces powstawania glukozy: $6\,CO_2$ (tlenek węgla(IV)) + $6\,H_2O$ (woda) $\xrightarrow{\text{światło, chlorofil}}$ $C_6H_{12}O_6$ (glukoza) + $6\,O_2$ (tlen)
Reakcja spalania glukozy	Glukoza jest źródłem energii w organizmach. W komórkach pod wpływem tlenu ulega przemianom z wydzieleniem dużej ilości energii: $C_6H_{12}O_6$ (glukoza) + $6\,O_2$ (tlen) $\longrightarrow$ $6\,CO_2$ (tlenek węgla(IV)) + $6\,H_2O$ (woda) + energia

Disacharydy

Disacharydy to związki organiczne, których cząsteczki są **zbudowane z dwóch pierścieni monosacharydowych** połączonych wiązaniem glikozydowym.

Typ procesu	Charakterystyka procesu
Hydroliza	Reakcja disacharydów z wodą w obecności katalizatora, w której wyniku powstają monosacharydy. Rodzaj disacharydu decyduje o produktach hydrolizy, np. $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{\text{kat.}} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$ sacharoza woda glukoza fruktoza

Polisacharydy

Polisacharydy to **wielkocząsteczkowe związki chemiczne zbudowane** z cząsteczek **monosacharydów** powiązanych ze sobą wiązaniami glikozydowymi.

Typ procesu	Charakterystyka procesu
Hydroliza	Produktem hydrolizy skrobi i celulozy jest glukoza. Hydrolizę skrobi wywołują inne enzymy niż hydrolizę celulozy: $(C_6H_{10}O_5)_n + n\ H_2O \xrightarrow{\text{HCl lub enzymy}} (C_6H_{10}O_5)_x \xrightarrow{\text{HCl lub enzymy}} n\ C_6H_{12}O_6$ $x < 10$ skrobia dekstryny glukoza

Rodzaje fermentacji

Fermentacja jest jednym z powszechnie stosowanych sposobów przetwarzania żywności. Polega ona na rozkładzie niektórych monosacharydów, np. glukozy, pod wpływem odpowiednich enzymów, tzw. biokatalizatorów. Enzymy te są wydzielane przez drożdże lub bakterie.

fermentacja

beztlenowa
zachodzi przy bardzo ograniczonym dostępie tlenu, np. fermentacje alkoholowa i mlekowa

tlenowa
zachodzi przy nieograniczonym dostępie tlenu, np. fermentacja octowa

- **Fermentacja alkoholowa** to reakcja zachodząca pod wpływem enzymów, w której wyniku powstają etanol i tlenek węgla(IV):

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{zymaza}} 2\ CH_3CH_2OH + 2\ CO_2$$
glukoza etanol tlenek węgla(IV)

- **Fermentacja masłowa** to proces zachodzący z udziałem bakterii masłowych w warunkach beztlenowych. Bakterie masłowe występują w glebie. Rozkładają polisacharydy na monosacharydy, które następnie przekształcają w kwas butanowy (masłowy):

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{bakterie masłowe}} CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}COOH + 2\ CO_2\uparrow + 2\ H_2\uparrow$$
glukoza kwas butanowy tlenek węgla(IV) wodór

- **Fermentacja mlekowa** to przemiana niektórych sacharydów, m.in. laktozy, w kwas mlekowy pod wpływem enzymów wytwarzanych przez bakterie – pałeczki kwasu mlekowego. Proces ten zachodzi w dwóch etapach:

- przekształcanie laktozy w monosacharydy:

$$\underset{\text{laktoza}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + \underset{\text{woda}}{H_2O} \xrightarrow{\text{enzym laktaza}} \underset{\text{glukoza}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{galaktoza}}{C_6H_{12}O_6}$$

- przetwarzanie glukozy przez bakterie mlekowe:

$$\underset{\text{glukoza}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{bakterie mlekowe}} \underset{\text{kwas mlekowy}}{2\ CH_3{-}\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}{-}COOH}$$

Składniki odżywcze

Składniki odżywcze to pierwiastki i związki chemiczne, od których zależy prawidłowe funkcjonowanie organizmu. Należą do nich m.in. białka, tłuszcze, sacharydy, witaminy i sole mineralne.

Gnicie

Gnicie to proces rozkładu związków białkowych, zachodzący m.in. pod wpływem bakterii gnilnych w warunkach beztlenowych.

metody zapobiegania psuciu się żywności

- **przechowywanie w odpowiednich warunkach**, np. chłodzenie, zamrażanie
- **przetwarzanie**, np. gotowanie, wędzenie, peklowanie, marynowanie, suszenie
- **dodawanie substancji hamujących niekorzystne procesy**, np. konserwantów

Rodzaje włókien

Włókna dzieli się na **naturalne**, **sztuczne** i **syntetyczne**.

Włókna naturalne dzieli się na włókna naturalne pochodzenia zwierzęcego (białkowe) i włókna naturalne pochodzenia roślinnego (celulozowe).

- Wełna (włókno białkowe) wykorzystywana jest do wyrobu np. swetrów, skarpet, szalików, rękawiczek, płaszczy.
- Jedwab naturalny (włókno białkowe) wykorzystywany jest do wyrobu np. chust, sukni, szali, krawatów.
- Bawełna (włókno celulozowe) wykorzystywana jest do wyrobu np. bluzek, bandaży, filtrów do kawy.
- Len (włókno celulozowe) wykorzystywany jest do wyrobu np. obrusów, pościeli, spodni, bluzek.

Włókna sztuczne wytwarza się z surowców pochodzenia naturalnego, np. z celulozy. Natomiast **włókna syntetyczne** otrzymuje się w reakcji polimeryzacji z surowców przemysłu chemicznego, np. etenu, chlorku winylu. Najpopularniejszymi włóknami syntetycznymi są włókna poliamidowe, poliestrowe i poliuretanowe.

Rodzaje opakowań

W życiu codziennym stosuje się opakowania: **metalowe** (np. beczki), **papierowe** (celulozowe, np. kartony), **szklane** (np. butelki), **z tworzyw sztucznych** (np. reklamówki).

Segregacja odpadów

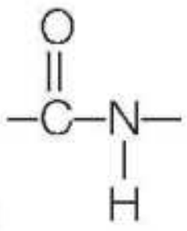
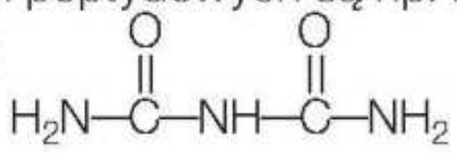
Niektóre z odpadów można ponownie wykorzystać. Segregacja odpadów jest początkowym etapem ich recyklingu bądź utylizacji. Papier, szkło, metal i tworzywa sztuczne są zbierane do specjalnych pojemników.

Sposób na zadania

Jak przeprowadzić reakcję biuretową?

Zaprojektuj doświadczenie chemiczne.

1 Wybierz odczynniki.

Jednym z odczynników musi być substancja, w której cząsteczkach obecne są przynajmniej **dwa wiązania peptydowe**  znajdujące się bezpośrednio obok siebie lub przedzielone tylko jednym atomem węgla. Związkami o takim układzie wiązań peptydowych są np. biuret, peptydy i białka. Podczas doświadczenia wykorzystane zostaną: **biuret**  oraz **zawiesina świeżo strąconego wodorotlenku miedzi(II) $Cu(OH)_2$**.

2 Zaplanuj czynności, które musisz wykonać, aby otrzymać odczynniki potrzebne do przeprowadzenia doświadczenia chemicznego.

Aby otrzymać biuret, umieść w probówce niewielką ilość mocznika, a następnie ogrzewaj go w płomieniu palnika.

W celu otrzymania zawiesiny wodorotlenku miedzi(II) do probówki zawierającej roztwór siarczanu(VI) miedzi(II) dodaj roztwór wodorotlenku sodu. Następnie mieszaj zawartość probówki.

W reakcji wydziela się amoniak, a zawartość probówki silnie wrze!



NaOH jest substancją żrącą, a $CuSO_4$ – toksyczną.



3 Dobierz szkło i sprzęt laboratoryjny.

Do przeprowadzenia doświadczenia chemicznego potrzebne będą: probówka, łapa drewniana i palnik.

4 Narysuj schemat.





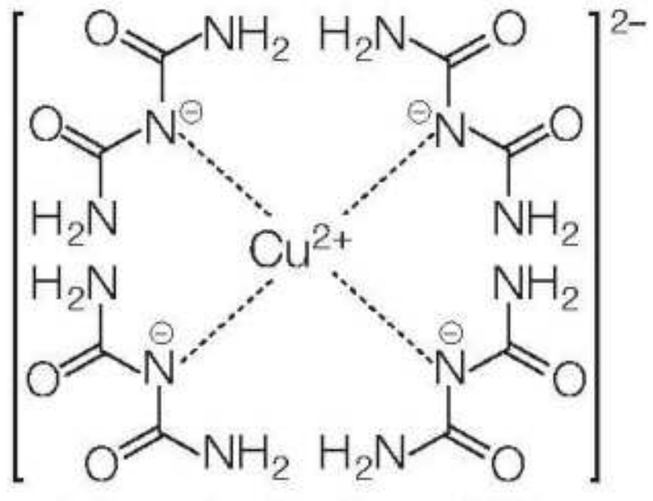
5 Napisz obserwacje.

Po wprowadzeniu zawiesiny niebieskiej substancji stałej do bezbarwnej cieczy uzyskujemy klarowny fioletowy roztwór.

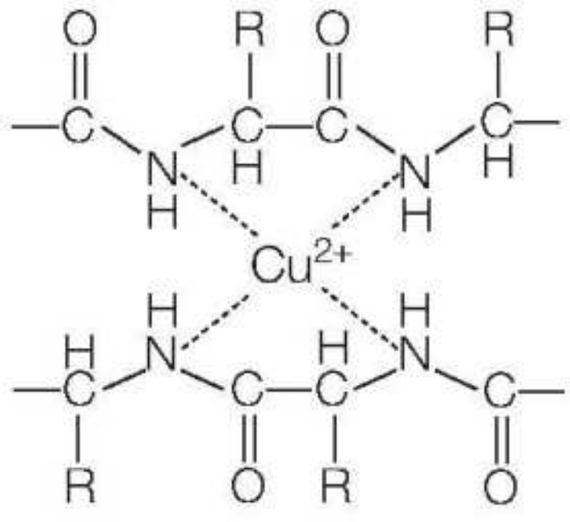
6 Napisz wniosek.

W wyniku zachodzącej reakcji powstał związek kompleksowy jonów miedzi Cu^{2+} o liczbie koordynacyjnej równej 4 (patrz *To jest chemia*, cz. 1, s. 98):

- z biuretem, np.:



- z łańcuchem peptydowym w peptydach i białkach



Trening – rozwiąż zadania: 5., s. 419.

Trening – rozwiąż zadania

ROZWIĄŻ W ZESZYCIE

Zadanie 1.

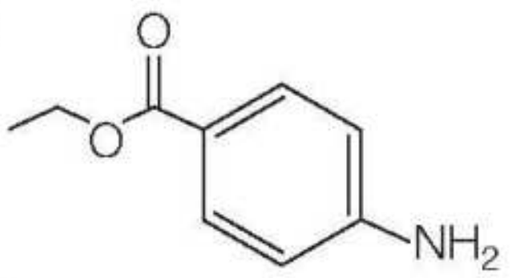
Glicyna to najprostszy aminokwas. W roztworze o pH = 6,06 większość jej cząsteczek występuje w postaci jonów obojnaczych.

a) **Podaj wzór tego jonu oraz wzory jonów glicyny występujących w roztworach o pH = 8 i pH = 5.**

b) **Napisz równania reakcji glicyny z kwasem chlorowodorowym, wodorotlenkiem sodu i glicyną. W produkcie reakcji glicyny z glicyną zaznacz wiązanie peptydowe.**

Zadanie 2.

Benzokaina (*p*-aminobenzoesan etylu) to ester kwasu *p*-aminobenzoesowego (witaminy B_{10}) i etanolu. Wzór tego związku chemicznego ma postać:



Jest to łagodnie działający środek znieczulający stosowany głównie jako składnik maści na oparzenia, ukąszenia owadów i rany.

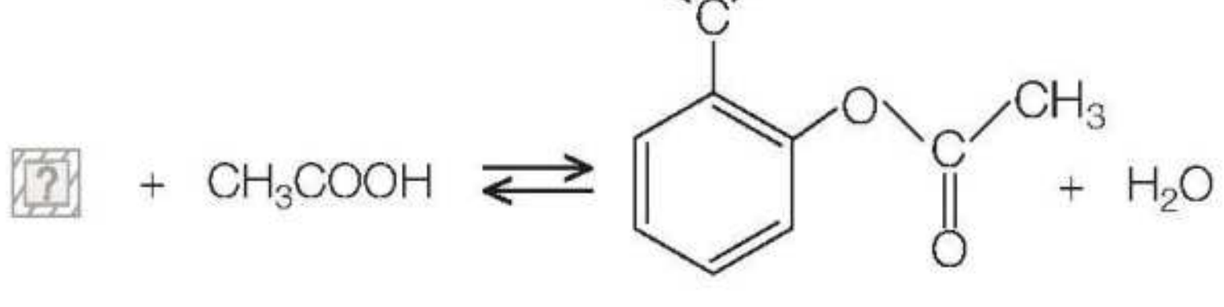
Na podstawie: H. Hart, L.E. Craine, D.J. Hart, *Chemia organiczna. Krótki kurs*, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 2009.

a) **Podaj wzór półstrukturalny witaminy B_{10}.**

b) **Podaj nazwy grup funkcyjnych występujących w benzokainie oraz narysuj ich wzory strukturalne.**

Zadanie 3.

Uzupełnij równanie reakcji estryfikacji, wpisując wzór jednego z substratów. Podaj jego nazwę systematyczną oraz nazwę grupy pochodnych węglowodorów, do których zaliczany jest ten związek chemiczny.



Zadanie 4.

Ilość D-glukozy w roztworze można oznaczyć dzięki metodzie jodometrycznej. Przebieg zachodzącej wówczas reakcji chemicznej przedstawia równanie:

$$C_6H_{12}O_6 + I_2 + 2\,KOH \longrightarrow C_6H_{12}O_7 + 2\,KI + H_2O$$

Jod zawarty w 200 cm^3 0,1-molowego roztworu przereaguje z D-glukozą zawartą w próbce roztworu o masie 80 g. **Oblicz, ile gramów D-glukozy znajduje się w 750 g tego roztworu. Wynik podaj z dokładnością do jednego miejsca po przecinku.**

Zadanie 5.

Do probówki 1. wlano roztwór D-glukozy, a do probówki 2. – roztwór D-fruktozy.

a) **Podaj wzory odczynników, których użycie umożliwi odróżnienie D-glukozy od D-fruktozy.**

b) **Wskaż poprawny wniosek.**

1. Próbę Tollensa stosuje się do odróżnienia D-glukozy (aldozy) od D-fruktozy (ketozy). D-glukoza w tej próbie wykazuje właściwości redukujące, a D-fruktoza daje wynik negatywny.
2. Próbę Trommera stosuje się do odróżniania D-glukozy (aldozy) od D-fruktozy (ketozy). D-glukoza w tej próbie wykazuje właściwości utleniające, a D-fruktoza daje wynik negatywny.
3. Woda bromowa utlenia D-glukozę, natomiast nie utlenia D-fruktozy. Reakcja ta służy do odróżnienia aldoz od ketoz.

c) **Napisz odpowiednie równanie reakcji chemicznej.**

Odpowiedzi do zadań obliczeniowych

Chemia organiczna jako chemia związków węgla

s. 16
zadanie 5. 95,24%; zadanie 6. 82,7%

s. 22
zadanie 1. a) 86% C, 14% H, b) CH_2;
zadanie 2. CH, C_6H_6;
zadanie 3. C_2H_6O (wzór empiryczny i rzeczywisty);
zadanie 4. C_8H_8; zadanie 5. $C_6H_{12}O_6$;
zadanie 7. 35,29% H_2O, 64,71% CO_2

s. 31
zadanie 3. 0,9 dm^3

s. 42
Trening – rozwiąż zadania
zadanie 1. $A_1 = 12$, $A_2 = 13$;
zadanie 3. 60% CO_2

Węglowodory

s. 65
zadanie 6. C_2H_6; zadanie 7. 10 dm^3 powietrza;
zadanie 8. 112 dm^3 tlenu

s. 82
zadanie 7. ok. 714 cząsteczek; zadanie 10. C_4H_8

s. 96
zadanie 4. 80% węgla w etanie, 85,7% węgla w etenie, 92,3% węgla w etynie
zadanie 5. acetylen występuje w nadmiarze

s. 121
zadanie 3. 58,7 g dekaliny

s. 142
zadanie 4. b) 35,9%; zadanie 6. 48,4 t CO_2

s. 148
Trening – rozwiąż zadania
zadanie 6. 75% C_2H_4 i 25% C_2H_2

Jednofunkcyjne pochodne węglowodorów

s. 163
zadanie 4. C_2Cl_6;
zadanie 9. 8,89 g toluenu

s. 180
zadanie 3. C_4H_9OH – butanol

s. 188
zadanie 4. $C_2H_4(OH)_2$ – etano-1,2-diol

s. 211
zadanie 1. $C_9H_{19}CHO$; zadanie 5. 72 u;
zadanie 6. 591,36 dm^3

s. 237
zadanie 4. 133,3 cm^3 H_2O

s. 261
zadanie 7. HCOOH – 0,8 mola, C_2H_5OH – 0,8 mola, $HCOOC_2H_5$ – 1,2 mola;
H_2O – 1,2 mola

s. 274
zadanie 2. 58,9%; zadanie 3. 42,2 dm^3 H_2;
zadanie 4. $C_{53}H_{102}O_6$

s. 286
zadanie 2. C_p = 3,3%;
zadanie 3. odczyn kwasowy

s. 299
zadanie 2. 44,8 dm^3 CO_2 i 89,6 dm^3 NH_3;
zadanie 3. $C_m = 0{,}66 \frac{mol}{dm^3}$; zadanie 4. 6,58 g aminy

Wielofunkcyjne pochodne węglowodorów

s. 368
zadanie 1. 15 775 u

s. 371
zadanie 1. 40% węgla, 6,67% wodoru, 53,33% tlenu w glukozie, 42,11% węgla, 6,43% wodoru, 51,46% tlenu w sacharozie;
zadanie 2. 3,76 mola;
zadanie 3. 0,153 mola

s. 384
zadanie 2. $C_6H_{12}O_6$

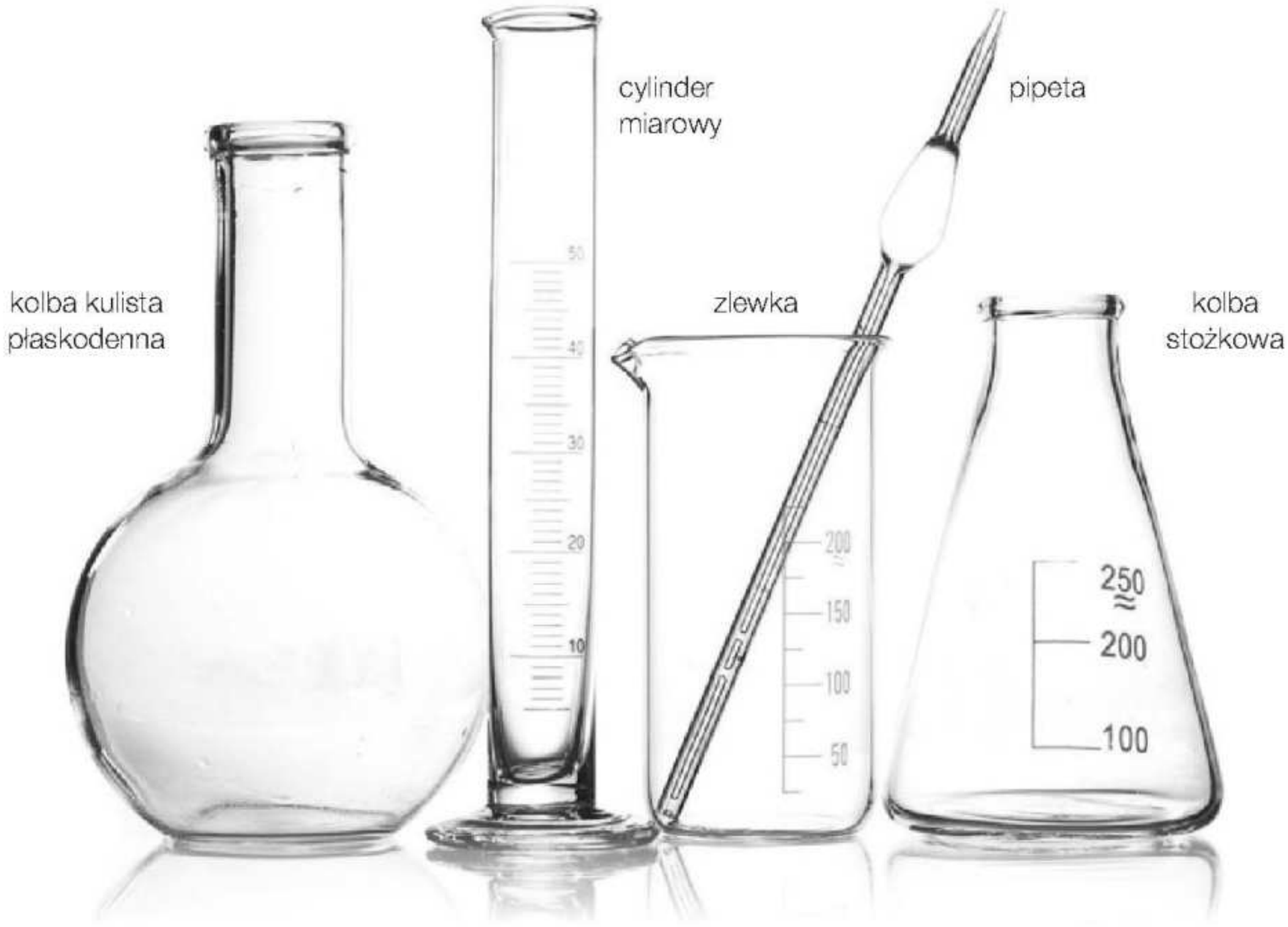
s. 391
zadanie 1. 21,4 g sacharozy; zad 2. $C_{12}H_{22}O_{11}$;
zadanie 3. 85%; zadanie 4. C_p = 21,05%;

s. 412
zadanie 3. 315 cząsteczek glukozy;
zadanie 4. 3642 reszty glukozowe;
zadanie 5. ok. 4 drzewa;
zadanie 6. 11,36 kg C_2H_5OH

s. 419
Trening – rozwiąż zadania
zadanie 4. 33,8 g glukozy

Szkło laboratoryjne

W szkolnej pracowni do doświadczeń chemicznych najczęściej używa się: probówek, zlewek, szkiełek zegarkowych i bagietek.





Jak narysować schemat szkła laboratoryjnego?



Sprzęt laboratoryjny

W szkolnej pracowni do doświadczeń chemicznych najczęściej używa się: palników, łap i statywów.



łapa drewniana



palnik spirytusowy



trójnóg z trójkątem kaolinowym



łyżka do spalań



szczypce metalowe



statywy do probówek



moździerz porcelanowy z tłuczkiem



statyw z łapą metalową



palnik gazowy

Jak oznaczyć czynności na schematach?



ogrzewanie



mieszanie



dodawanie substancji



spalanie

Rozpuszczalniki najczęściej stosowane do oczyszczania substancji metodą krystalizacji uporządkowane według zmniejszającej się polarności

Nazwa systematyczna (nazwa zwyczajowa)	Wzór sumaryczny	Temperatura wrzenia, °C	Wybrane właściwości
Tlenek wodoru (woda)	H_2O	100	–
Metanol (alkohol metylowy)	CH_3OH	65	
Etanol* (alkohol etylowy)	CH_3CH_2OH	78	
Propan-2-on (aceton)	CH_3COCH_3	56	
1,2-dichloroetan (chlorek etylenu)	CH_2ClCH_2Cl	84	
Tetrahydrofuran (THF)	C_4H_8O	65	
Kwas etanowy** (kwas octowy)	CH_3COOH	118	
Etanian etylu (octan etylu)	$CH_3COOCH_2CH_3$	77	
Trichlorometan (chloroform)	$CHCl_3$	62	
Eter dietylowy (eter)	$CH_3CH_2OCH_2CH_3$	35	
Metylobenzen (toluen)	$C_6H_5CH_3$	111	
Benzen	C_6H_5	80	
Cykloheksan	C_6H_{12}	81	
Eter naftowy (benzyna lekka lub benzyna ekstrakcyjna)	najczęściej mieszanina ciekłych węglowodorów C_5H_{12}, C_6H_{14} i C_7H_{16}	40–70	

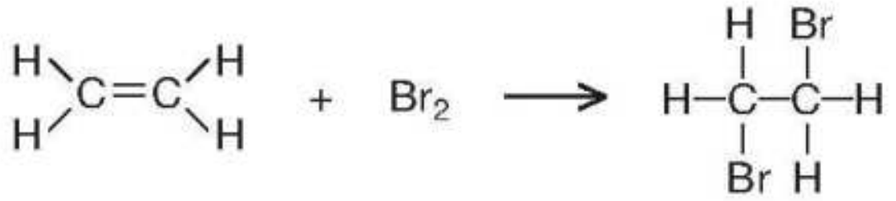
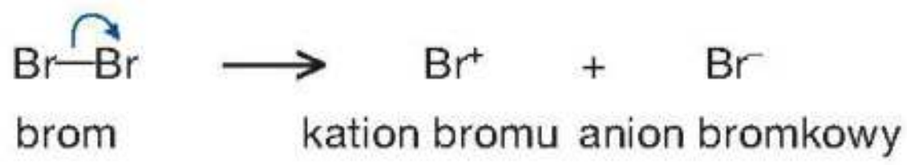
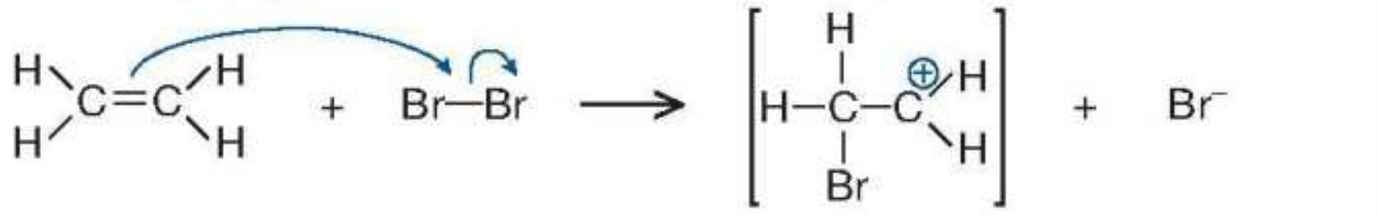
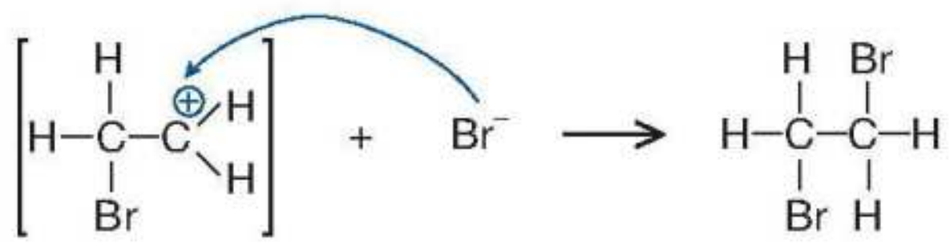
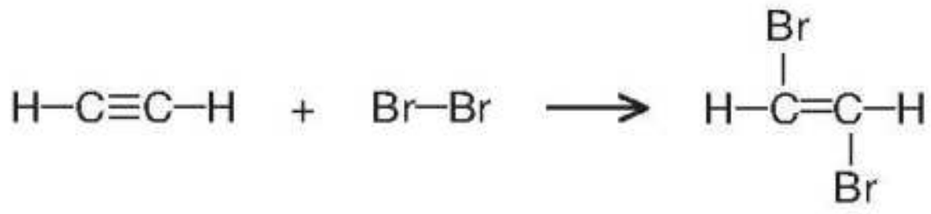
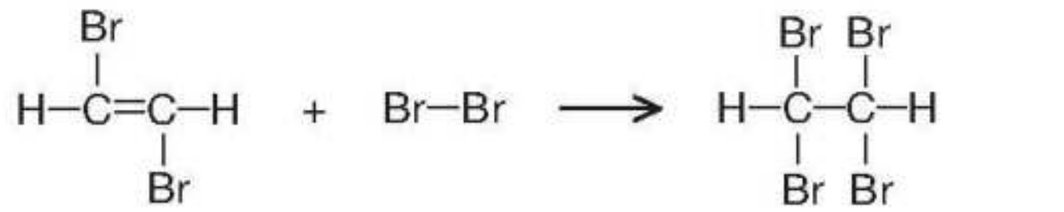
* Roztwór o stężeniu 95%.

** Czysty kwas etanowy, tzw. kwas octowy lodowaty.

https://chorg.p.lodz.pl/preparatyka/krystal_o.html

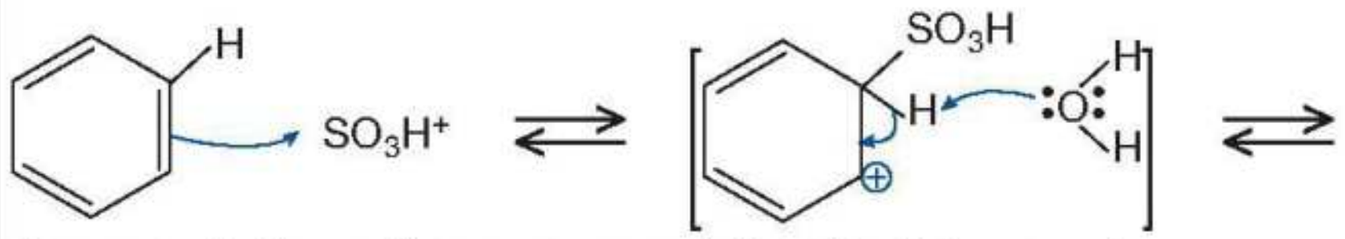
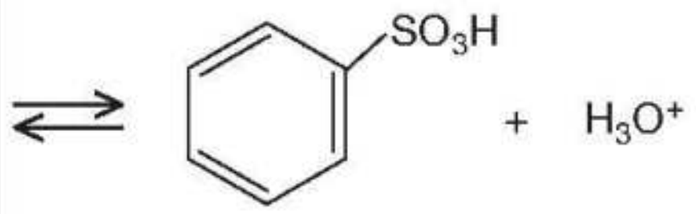
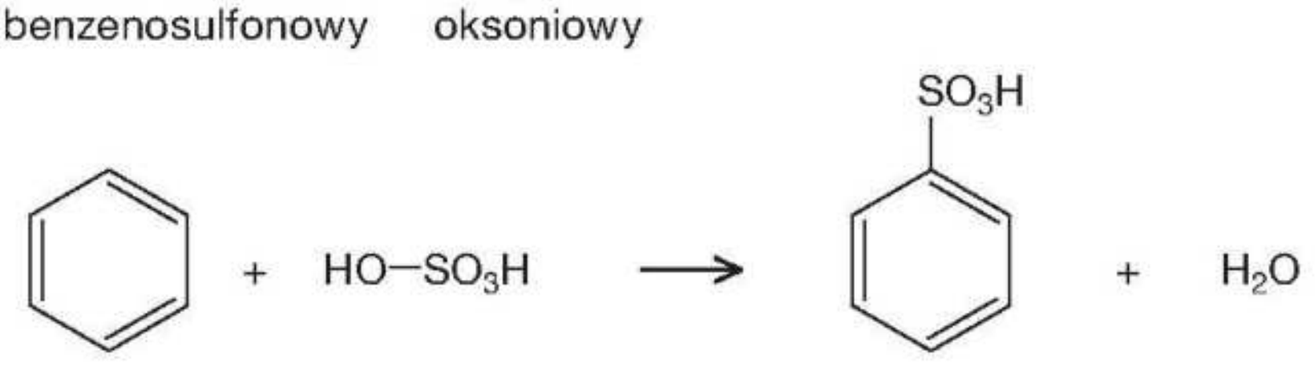
Reakcje charakterystyczne związków organicznych

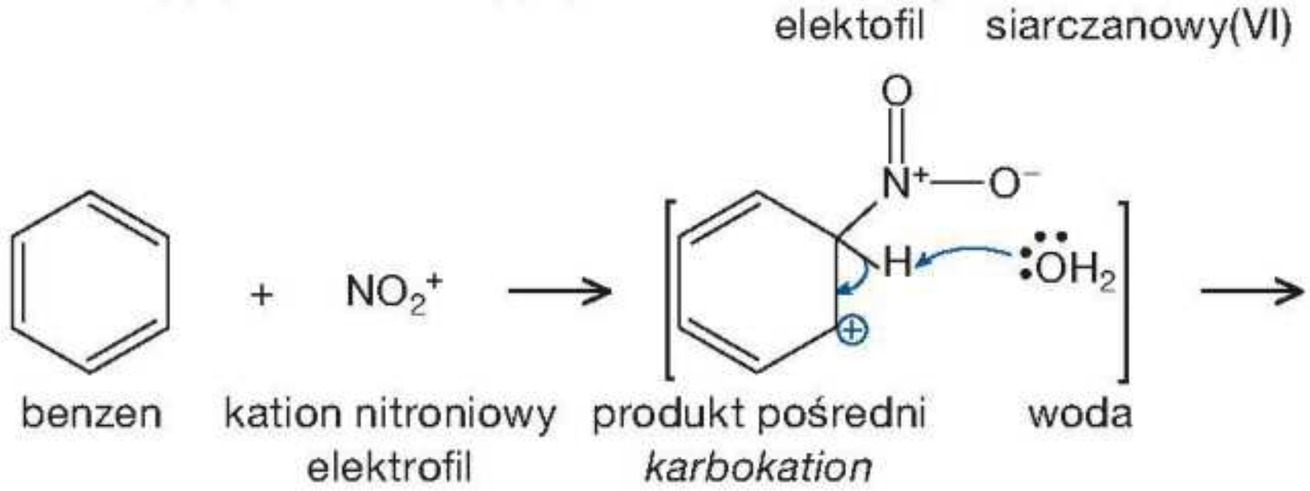
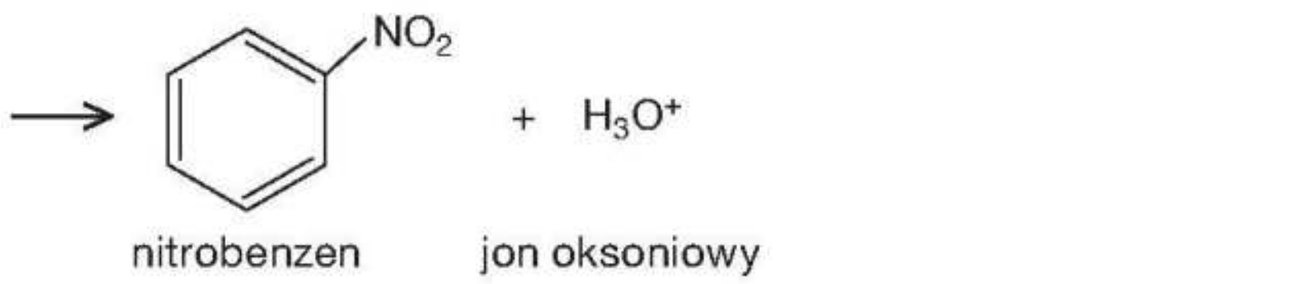
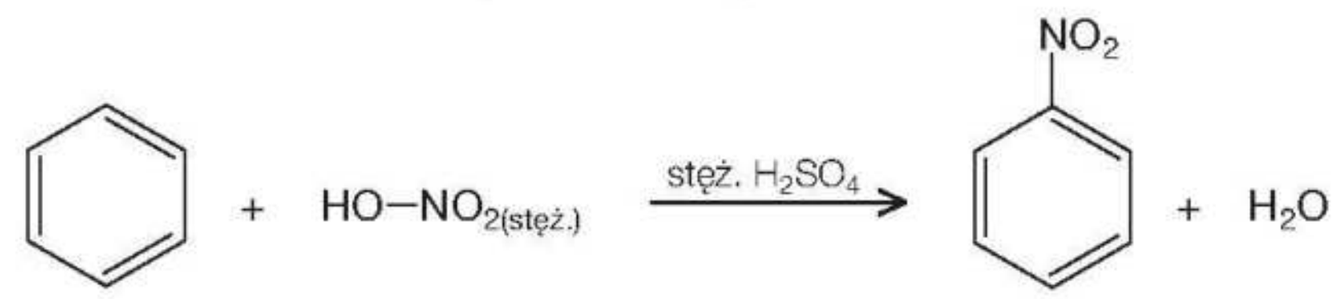
Identyfikacja **wiązania wielokrotnego** $>C=C<$, $-C\equiv C-$, np. C_2H_4 eten, C_2H_2 etyn

Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
Br_2 roztwór bromu w rozpuszczalniku organicznym, np. CCl_4	Następuje odbarwienie roztworu.	**Reakcja addycji (przyłączania) bromu do wiązania podwójnego**  eten — brom — 1,2-dibromoetan **Mechanizm reakcji addycji bromu do etenu** składa się z następujących etapów: **Etap I.** **Rozpad wiązania kowalencyjnego** w cząsteczce bromu  brom — kation bromu — anion bromkowy Następnie **addycja jonu Br^+** do elektronów π w cząsteczce etenu:  eten — brom — *karbokation* (nietrwały produkt pośredni) — anion bromkowy **Etap II.** **Addycja jonu Br^-** do karbokationu  *karbokation* (nietrwały produkt pośredni) — anion bromkowy — 1,2-dibromoetan **Reakcja addycji bromu do wiązania potrójnego**  etyn (acetylen) — brom — 1,2-dibromoeten  1,2-dibromoeten — brom — 1,1,2,2-tetrabromoetan

Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
$KMnO_4$ manganian(VII) potasu	Wytrąca się brunatny osad tlenku manganu(IV) MnO_2. 	**Reakcja utleniania alkenów** (do alkoholi dihydroksylowych) i **alkinów** (do kwasów karboksylowych) $3\,H_2C{=}CH_2 + 2\,KMnO_4 + 4\,H_2O \longrightarrow 3\,H_2C(OH){-}CH_2(OH) + 2\,MnO_2{\downarrow} + 2\,KOH$ eten; manganian(VII) potasu; woda; etano-1,2-diol (glikol etylenowy); tlenek manganu(IV); wodorotlenek potasu $CH_3{-}C{\equiv}C{-}CH_2CH_3 + 2\,KMnO_4 + 2\,H_2O \longrightarrow$ pent-2-yn; manganian(VII) potasu; woda $\longrightarrow CH_3{-}COOH + CH_3CH_2{-}COOH + 2\,MnO_2{\downarrow} + 2\,KOH$ kwas etanowy; kwas propanowy; tlenek manganu(IV); wodorotlenek potasu

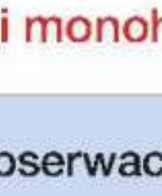
Identyfikacja **związków aromatycznych**, np.  benzen

Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
$H_2SO_4 + SO_3$ (oleum)	Powstają dobrze rozpuszczalne w wodzie kwasy sulfonowe.	**Reakcja sulfonowania** $2\,H_2SO_4 \longrightarrow SO_3H^+ + HSO_4^- + H_2O$ kwas siarkowy(VI); kation sulfonowy (elektofil); anion wodorosiarczanowy(VI); woda  benzen; kation sulfonowy (elektrofil); produkt pośredni (*karbokation*); woda  kwas benzenosulfonowy; jon oksoniowy  benzen; kwas siarkowy(VI); kwas benzenosulfonowy; woda $C_6H_6 + H_2SO_4 \longrightarrow C_6H_5SO_3H + H_2O$ benzen; kwas siarkowy(VI); kwas benzenosulfonowy; woda

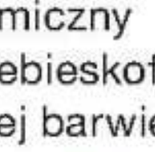
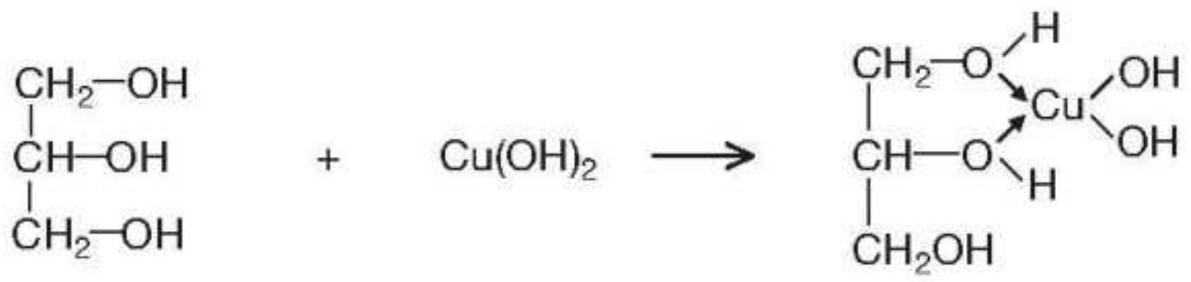
<table>
<tr><th>Wzór i nazwa odczynnika</th><th>Obserwacje</th><th>Wniosek</th></tr>
<tr><td>$HNO_{3(stęż.)}$ + + $H_2SO_{4(stęż.)}$ (mieszanina nitrująca)</td><td>Powstają związki nitrowe o żółtej barwie.</td><td>Reakcja nitrowania
Elektrofil, którym jest kation nitroniowy NO_2^+, reaguje z elektronami π pierścienia benzenowego. Powoduje to oderwanie kationu wodoru od pierścienia:
$HNO_{3(stęż.)}$ + $2\ H_2SO_{4(stęż.)}$ ⇌ NO_2^+ + $2\ HSO_4^-$ + H_3O^+
kwas azotowy(V) — kwas siarkowy(VI) — kation nitroniowy elektrofil — anion wodorosiarczanowy(VI) — jon oksoniowy
 
benzen — kation nitroniowy elektrofil — produkt pośredni karbokation — woda
 
nitrobenzen — jon oksoniowy
 
benzen — kwas azotowy(V) — nitrobenzen — woda
C_6H_6 + $HNO_{3(stęż.)}$ $\xrightarrow{\text{stęż. } H_2SO_4}$ $C_6H_5NO_2$ + H_2O
benzen — kwas azotowy(V) — nitrobenzen — woda</td></tr>
</table>

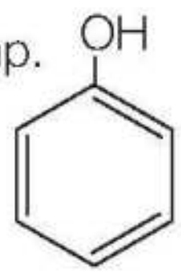
Identyfikacja **alkoholi monohydroksylowych**, np. CH_3CH_2OH etanol

<table>
<tr><th>Wzór i nazwa odczynnika</th><th>Obserwacje</th><th>Wniosek</th></tr>
<tr><td>$K_2Cr_2O_7$ + + $H_2SO_{4(stęż.)}$</td><td>Następuje zmiana barwy roztworu z pomarańczowej ($Cr_2O_7^{2-}$)

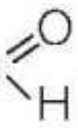
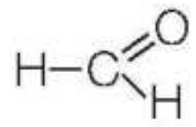
na zieloną (Cr^{3+}).
  </td><td>Reakcja utleniania alkoholi do kwasów karboksylowych
$3\ CH_3{-}CH_2OH$ + $2\ K_2Cr_2O_7$ + $8\ H_2SO_4$ ⟶
etanol — dichromian(VI) potasu — kwas siarkowy(VI)
⟶ $3\ CH_3{-}C(=O){-}OH$ + $2\ Cr_2(SO_4)_3$ + $2\ K_2SO_4$ + $11\ H_2O$
kwas etanowy — siarczan(VI) chromu(III) — siarczan(VI) potasu — woda</td></tr>
</table>

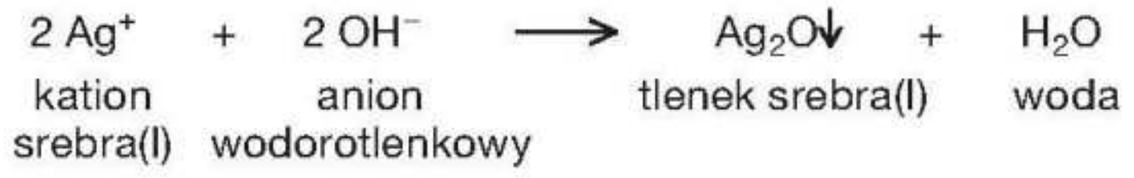
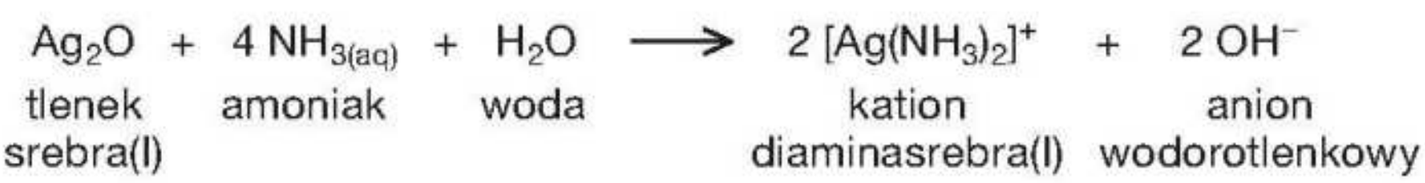
Identyfikacja **alkoholi polihydroksylowych**, np. $C_3H_5(OH)_3$ propano-1,2,3-triol

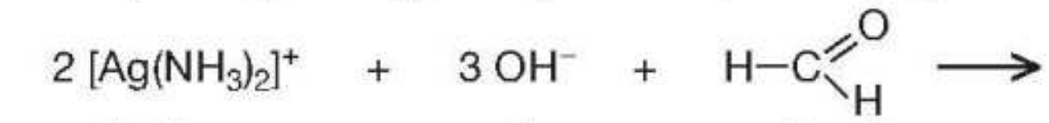
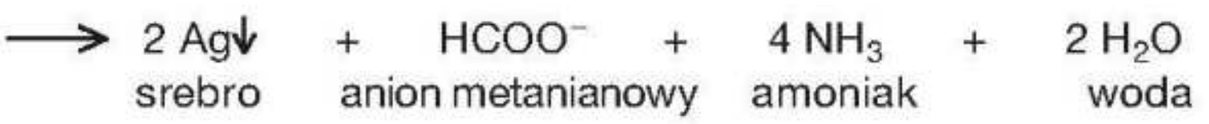
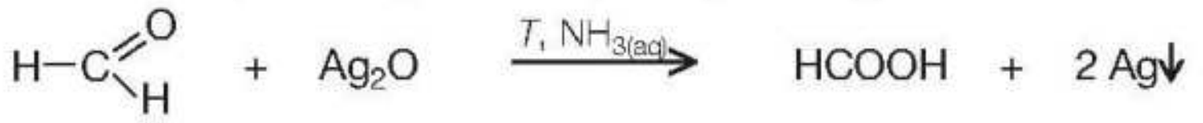
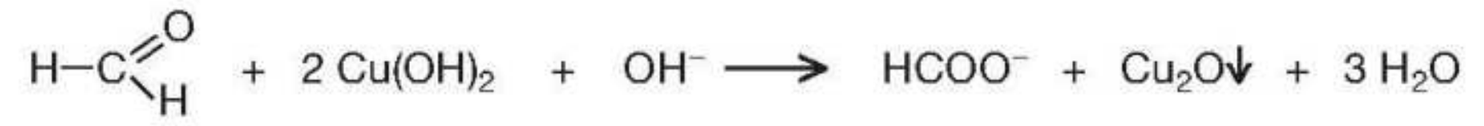
Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
$Cu(OH)_2$ wodorotlenek miedzi(II)	Powstaje związek chemiczny o szafirowej barwie. 	**Reakcja powstawania barwnych związków kompleksowych**  propano-1,2,3-triol + wodorotlenek miedzi(II) → związek koordynacyjny glicerolu i wodorotlenku miedzi(II) Powstaje barwny związek kompleksowy.

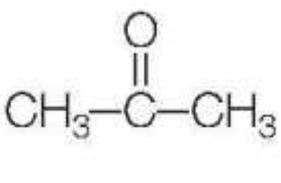
Identyfikacja **fenoli**, np.  benzenol, fenol

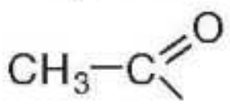
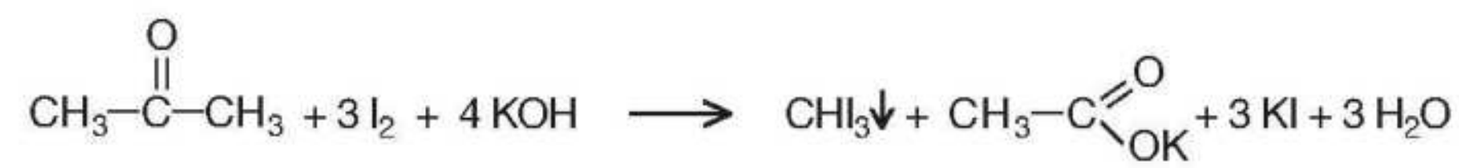
Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
$FeCl_3$ chlorek żelaza(III)	Powstaje związek chemiczny o niebieskofioletowej barwie. 	Reakcja powstawania barwnych związków kompleksowych. Powstaje barwny związek kompleksowy.

Identyfikacja **grupy aldehydowej**  , np.  metanal

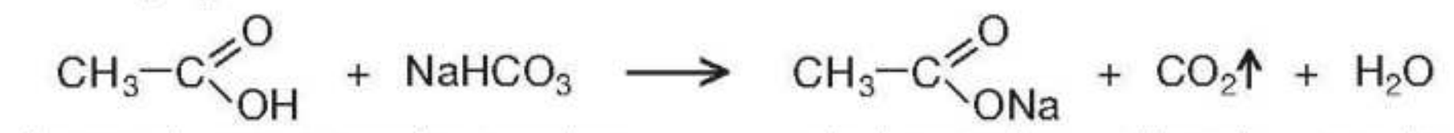
Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
$[Ag(NH_3)_2]OH$ wodorotlenek diamina-srebra(I)	Powstaje metaliczne srebro. 	**Próba Tollensa** – reakcja utleniania aldehydów do kwasów karboksylowych **Etap I.** **Redukcja jonów srebra** z I stopnia utlenienia do metalicznego srebra:  $2\,Ag^+$ + $2\,OH^-$ → $Ag_2O\downarrow$ + H_2O kation srebra(I); anion wodorotlenkowy; tlenek srebra(I); woda **Etap II.** **Rozpuszczenie się** w wodnym roztworze amoniaku osadu tlenku srebra(I) z utworzeniem związku kompleksowego – **wodorotlenku diaminasrebra(I)**, który w wodzie występuje w formie zdysocjowanej:  Ag_2O + $4\,NH_{3(aq)}$ + H_2O → $2\,[Ag(NH_3)_2]^+$ + $2\,OH^-$ tlenek srebra(I); amoniak; woda; kation diaminasrebra(I); anion wodorotlenkowy

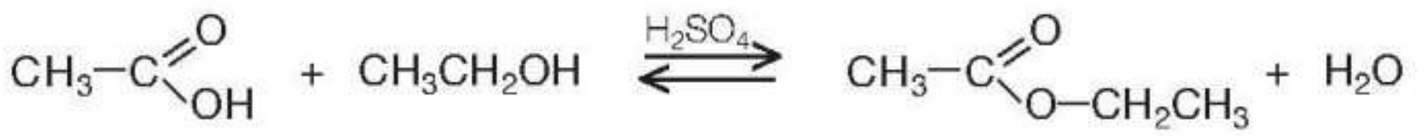
Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
		Etap III. **Reakcja otrzymanego związku kompleksowego** z aldehydem:  kation diaminasrebra(I) anion wodorotlenkowy metanal  srebro anion metanianowy amoniak woda Dla uproszczenia przyjmuje się, że aldehyd reaguje z Ag_2O:  metanal tlenek srebra(I) kwas metanowy srebro
$Cu(OH)_2$ wodorotlenek miedzi(II)	Powstaje ceglastoczerwony osad tlenku miedzi(I) – Cu_2O. 	**Próba Trommera** – reakcja utleniania aldehydów  metanal wodorotlenek miedzi(II) anion wodorotlenkowy anion metanianowy tlenek miedzi(I) woda

Identyfikacja **grupy acetylowej**  , np.  propan-2-on

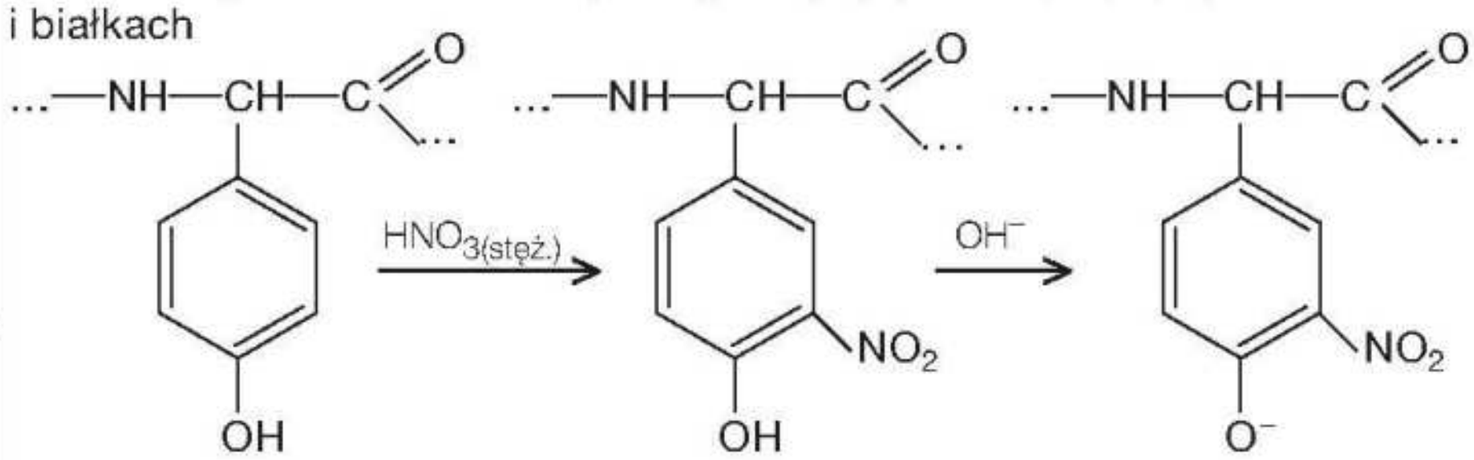
Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
I_2 w $KI_{(aq)}$ jod w wodnym roztworze jodku potasu w środowisku zasadowym	Powstaje krystaliczny osad o żółtej barwie i charakterystycznym zapachu – trijodometan CHI_3. 	**Próba jodoformowa** – reakcja chemiczna pozwalająca wykrywać metyloketony, czyli grupę acetylową   propan-2-on jod wodorotlenek potasu trijodometan etanian potasu jodek potasu woda

Identyfikacja **grupy karboksylowej**  , np. kwas etanowy

Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
$NaHCO_3$ wodorowęglan sodu	Wydziela się tlenek węgla(IV).	**Reakcja wypierania słabego kwasu z roztworu jego soli przez kwas mocniejszy**  kwas etanowy wodorowęglan sodu etanian sodu tlenek węgla(IV) woda

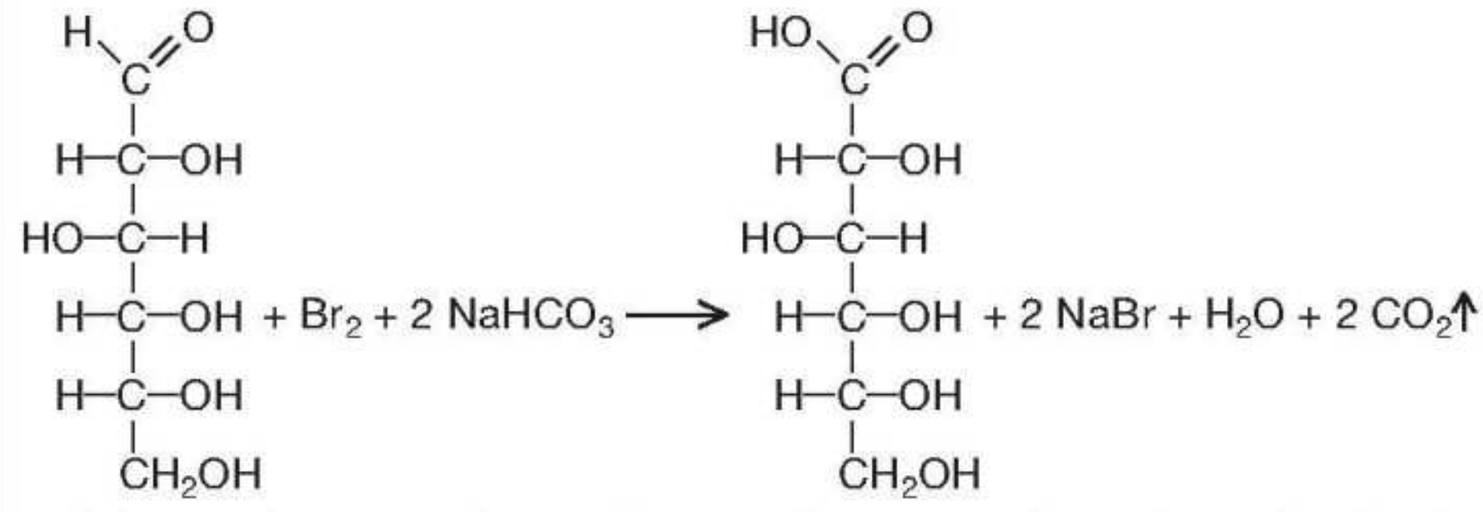
Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
CH_3CH_2OH + $+ H_2SO_{4(stęż.)}$	Powstają związki chemiczne o charakterystycznych zapachach owoców i kwiatów – estry.	**Reakcja estryfikacji**  kwas etanowy — etanol — etanian etylu — woda

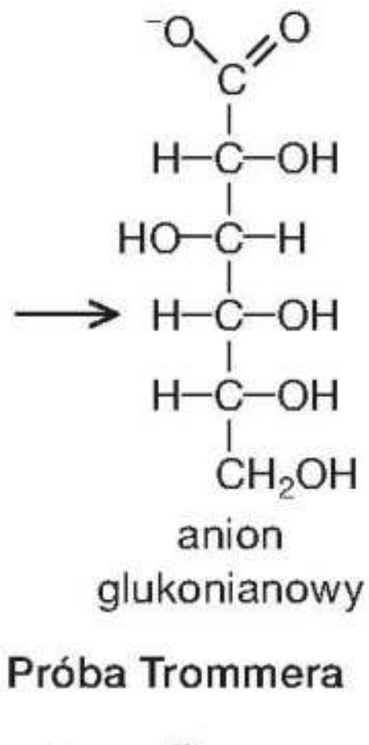
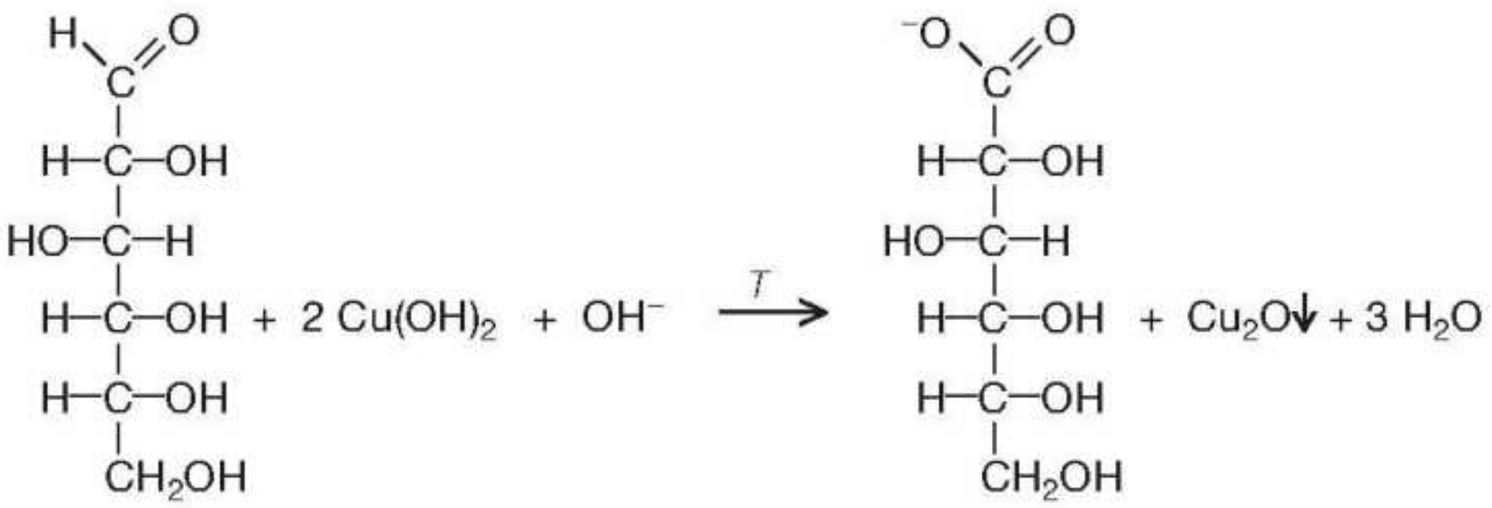
Identyfikacja **białek**

Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
$Cu(OH)_2$ wodorotlenek miedzi(II)	Powstaje związek chemiczny o ciemnofioletowej barwie. 	**Reakcja biuretowa** – reakcja powstawania barwnych związków kompleksowych Powstaje barwny związek kompleksowy.
$HNO_{3(stęż.)}$ stężony roztwór kwasu azotowego(V)	Powstaje nitrowy związek chemiczny o żółtej barwie, który po dodaniu zasady sodowej przyjmuje pomarańczową barwę. 	**Reakcja ksantoproteinowa** – reakcja nitrowania, która umożliwia wykrycie obecności pierścienia aromatycznego w peptydach, polipeptydach i białkach  reszta aminokwasu tyrozyny — bezbarwny nitrowa pochodna tyrozyny — żółty anion nitrowej pochodnej tyrozyny — pomarańczowy

Identyfikacja **monosacharydów**

$C_6H_{12}O_6$ glukoza, cząsteczka zawiera grupę aldehydową $-C\begin{matrix}O\\H\end{matrix}$ i grupy hydroksylowe $-OH$

Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
$Br_{2(aq)}$ + $NaHCO_3$ woda bromowa + wodorowęglan sodu	Następuje odbarwienie wody bromowej – brom utlenia glukozę do kwasu glukonowego.	**Reakcja utleniania glukozy do kwasu glukonowego** – odróżnianie aldoz od ketoz (np. fruktoza), które nie ulegają tej reakcji chemicznej  glukoza — brom — wodorowęglan sodu — kwas glukonowy — bromek sodu — woda — tlenek węgla(IV)

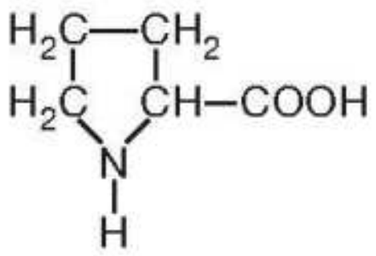
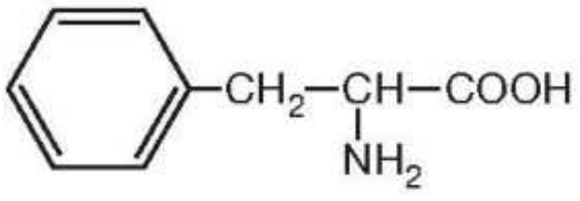
Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
$[Ag(NH_3)_2]OH$ wodorotlenek diamina-srebra(I)	Powstaje metaliczne srebro.	**Próba Tollensa** glukoza + kation diaminasrebra(I) + anion wodorotlenkowy $\longrightarrow$  anion glukonianowy + 2 Ag↓ + 4 NH_3 + 2 H_2O srebro amoniak woda
$Cu(OH)_2$ wodorotlenek miedzi(II)	Powstaje ceglastoczerwony osad tlenku miedzi(II) – Cu_2O. 	**Próba Trommera**  glukoza + 2 $Cu(OH)_2$ + OH^- $\xrightarrow{T}$ anion glukonianowy + Cu_2O↓ + 3 H_2O wodorotlenek miedzi(II) anion wodorotlenkowy tlenek miedzi(I) woda

Identyfikacja **polisacharydów**

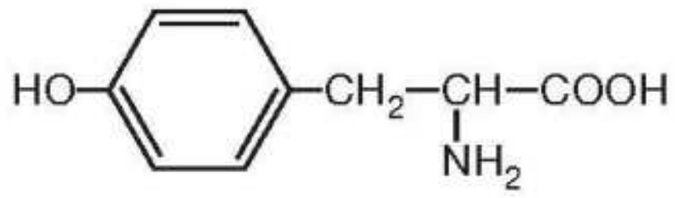
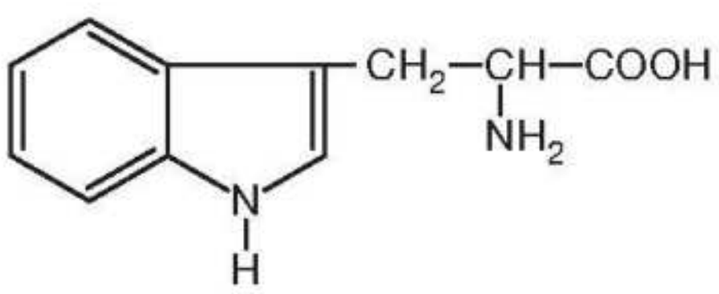
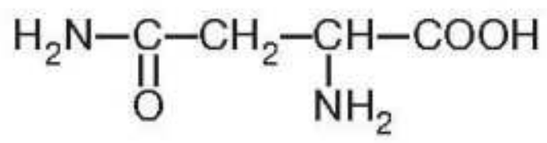
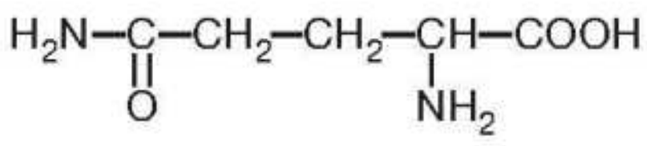
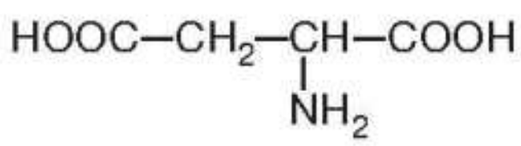
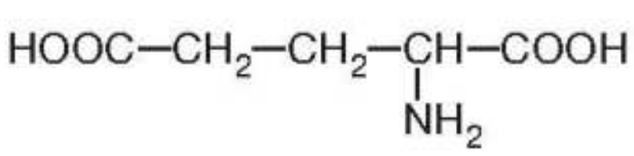
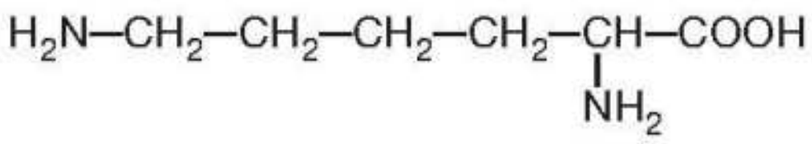
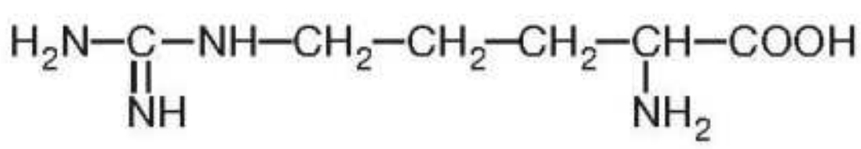
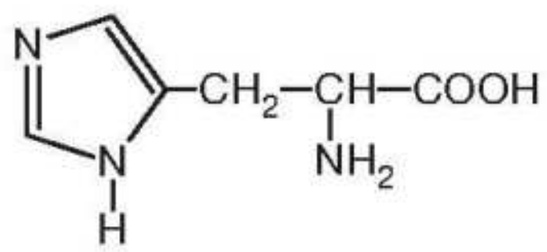
$(C_6H_{10}O_5)_n$ skrobia, cząsteczka zawiera reszty glukozowe

Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
I_2 w $KI_{(aq)}$ jod w wodnym roztworze jodku potasu	Powstaje związek chemiczny o granatowej barwie. 	**Reakcja chemiczna, w której powstają barwne związki kompleksowe** Powstaje barwny związek kompleksowy.

Wzory i nazwy aminokwasów białkowych

Wzór półstrukturalny	Nazwa zwyczajowa	Skróty nazwy zwyczajowej*	pI
H_2N-CH_2-COOH	glicyna	Gly, G	6,06
$H_3C-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	alanina	Ala, A	6,11
$H_3C\diagdown\!\!\diagup CH-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$ (H$_3$C)	walina	Val, V	6,00
$H_3C\diagdown\!\!\diagup CH-CH_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$ (H$_3$C)	leucyna	Leu, L	6,01
$H_3C-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	izoleucyna	Ile, I	6,05
$HO-CH_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	seryna	Ser, S	5,68
$HS-CH_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	cysteina	Cys, C	5,05
$H_3C-\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH}}-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	treonina	Thr, T	5,60
	prolina	Pro, P	6,30
$H_3C-S-CH_2-CH_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	metionina	Met, M	5,74
	fenyloalanina	Phe, F	5,48

* Międzynarodowe skróty stosowane dla aminokwasów białkowych.

Wzór półstrukturalny	Nazwa zwyczajowa	Skróty nazwy zwyczajowej*	pI
	tyrozyna	Tyr, Y	5,64
	tryptofan	Trp, W	5,89
	asparagina	Asn, N	5,51
	glutamina	Gln, Q	5,65
	kwas asparaginowy	Asp, D	2,85
	kwas glutaminowy	Glu, E	3,15
	lizyna	Lys, K	9,60
	arginina	Arg, R	10,76
	histydyna	His, H	7,60

* Międzynarodowe skróty stosowane dla aminokwasów białkowych.

Bibliografia

Achmatowicz O., Stasicka Z., *Kompendium terminologii chemicznej*, ZamKor, Kraków 2005.
Białecka-Florjańczyk E., Włostowska J., *Chemia organiczna*, wyd. 2, WNT, Warszawa 2005.
Biotechnologia żywności, red. W. Bednarski, A. Reps, WNT, Warszawa 2001.
Bojarski J., *Chemia organiczna*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2006.
Chemia żywności, red. Z.E. Sikorski, wyd. 4, WNT, Warszawa 2002.
Chemia żywności, t. 1: *Składniki żywności*, red. Z.E. Sikorski, wyd. 5, WNT, Warszawa 2007.
Cytlak T., Kaźmierczak M., Koroniak H., Koroniak-Szejn K., *Chemia organiczna. Testy egzaminacyjne z rozwiązaniami*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2019.
Domowy poradnik medyczny, red. K. Janicki, wyd. 5, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2004.
Emsley J., *Przewodnik po chemii życia codziennego*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1996.
Encyklopedia dla wszystkich. Chemia, WNT, Warszawa 2001.
Encyklopedia szkolna. Biologia, praca zbiorowa, Wydawnictwo Zielona Sowa, Kraków 2008.
Encyklopedia szkolna. Chemia, red. T.M. Krygowski, WSiP, Warszawa 2001.
Galikowski M., Hassa R., Kaczmarzyk M., Mrzigod A., Mrzigod J., Więckowski M., *Przyroda 2, materiał edukacyjny przeznaczony do nauki przyrody w liceum ogólnokształcącym i technikum*, Nowa Era, Warszawa 2016.
Graham L.P., *Chemia medyczna. Podstawowe zagadnienia*, WNT, Warszawa 2003.
Graham L.P., *Krótkie wykłady. Chemia leków*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
Grzywa E., Molenda J., *Technologia podstawowych syntez organicznych*, t. 2, WNT, Warszawa 2008.
Hames B.D., Hooper N.M., *Biochemia. Krótkie wykłady*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2019.
Hart H., Craine L.E., Hart D.J., *Chemia organiczna. Krótki kurs*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2009.
Hassa R., Mrzigod A., Mrzigod J., *To jest chemia. Podręcznik do szkół ponadgimnazjalnych*, Nowa Era, Warszawa 2017.
Hassa R., Mrzigod A., Mrzigod J., Sułkowski W., *Chemia 3. Podręcznik i zbiór zadań w jednym*, Wydawnictwo M. Rożak, Gdańsk, Nowa Era, Warszawa, 2005.
Jelińska-Kazimierczuk M., Megiel E., *Teraz matura. Chemia. Vademecum*, Nowa Era, Warszawa 2016.
Kołodziejczyk A., *Naturalne związki organiczne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2019.
Kulawik J., Kulawik T., Litwin M., *Chemia Nowej Ery. Podręcznik do chemii dla klasy ósmej szkoły podstawowej*, Nowa Era, Warszawa 2019.
Kulawik T., Litwin M., Styka-Wlazło S., *Chemia w zadaniach i przykładach*, Nowa Era, Warszawa 2020.
Lautenschläger K.H., Schröter W., Wanninger A., *Nowoczesne kompendium chemii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2016.
Leksykon naukowo-techniczny, wyd. 5, WNT, Warszawa 2004.
Majcher-Kozieł M., *Jedwab naturalny – białko o budowie włóknistej*, „Chemia w szkole" 2002, nr 2, s. 16–18.
Manahan S.E., *Toksykologia środowiska. Aspekty chemiczne i biochemiczne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
Marzec A., *Chemia kosmetyków. Surowce, półprodukty i preparatyka wyrobów*, wyd. 3, Wydawnictwo „Dom Organizatora", Toruń 2009.
Mastalerz P., *Chemia organiczna*, Wydawnictwo Chemiczne, Wrocław 2016.
Matematyka. Fizyka. Chemia. Encyklopedia szkolna, red. W. Baturo, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004.
McMurry J., *Chemia organiczna*, t. 1–5, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017.
Mizerski W., *Tablice chemiczne*, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2013.
Mizerski W., *Tablice szkolne*, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2011.
Molski M., *Chemia piękna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
Morrison R.T., Boyd R.N., *Chemia organiczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
Nicholson J.W., *Chemia polimerów*, WNT, Warszawa 1996.
Nomenklatura związków organicznych, PTCh, Warszawa 2013.
Patrick G.L., *Chemia medyczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2019.
Patrick G.L., *Chemia organiczna. Krótkie wykłady*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.
Podręczny słownik chemiczny, red. R. Hassa, J. Mrzigod, J. Nowakowski, Videograf II, Katowice 2004.
Podstawy toksykologii. Kompendium dla studentów szkół wyższych, red. J.K. Piotrowski, wyd. 2, WNT, Warszawa 2008.
Rabek J.F., *Współczesna wiedza o polimerach*, t. 1: *Budowa strukturalna polimerów i metody badawcze*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017.
Rabek J.F., *Współczesna wiedza o polimerach*, t. 2: *Polimery naturalne i syntetyczne, otrzymywanie i zastosowania*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017.
Rola-Noworyta A., Pazdro K.M., *Zbiór zadań z chemii do liceów i techników. Zakres rozszerzony*, Oficyna Edukacyjna – Krzysztof Pazdro, Warszawa 2013.
Römpp H., Raaf H., *Chemia organiczna w probówce*, WNT, Warszawa 1997.
Saechtling H., *Tworzywa sztuczne. Poradnik*, WNT, Warszawa 2000.
Silverman R.B., *Chemia organiczna w projektowaniu leków*, WNT, Warszawa 2004.
Zdrowie na talerzu. Lecznicze właściwości potraw, wyd. 3, Reader's Digest, Warszawa 2010.

Indeks

A

acetaldehyd [acetaldehyde] 178, 203
acetamid [acetamide] 287, 289–291
aceton [acetone] 175–176, 214–219, 297, 423
acetylen [acetylene] 84–87, 94–96, 102, 204
achiralność [achirality] 314, 324
alanina [alanine] 347–349
aldehyd glicerynowy [glyceric aldehyde] 320, 325, 342, 343
– mrówkowy [methyl aldehyde] → formaldehyd
– octowy [ethyl aldehyde] → acetaldehyd
aldehydy [aldehydes] 150, 201–211, 214, 216, 218, 234
–, izomeria [aldehydes, isomerism] 203
–, otrzymywanie [aldehydes, the preparation of] 204
–, reakcje charakterystyczne [aldehydes, chemical tests] 206–208
aldoheksoza [aldohexose] 372, 374–376
aldopentoza [aldopentose] 372, 377
aldozy [aldoses] 372, 382
alkadieny [alkadienes] 79
alkaloidy [alkaloids] 283–284
alkany [alkanes] 44–65, 126, 143
–, izomeria [alkanes, isomerism] 55
–, otrzymywanie [alkanes, the preparation of] 47, 133, 154–155
–, reakcje charakterystyczne [alkanes, chemical tests] 48–49
alkatrieny [alkatrienes] 79
alkeny [alkenes] 44, 66–82, 143
–, izomeria [alkenes, isomerism] 76
–, otrzymywanie [alkenes, the preparation of] 68, 133, 155–156, 174
–, reakcje charakterystyczne [alkenes, chemical tests] 69–70
alkiny [alkynes] 83–96
–, otrzymywanie [alkynes, the preparation of] 84–85
–, reakcje charakterystyczne [alkynes, chemical tests] 85–87
alkohol etylowy [ethyl alcohol] → etanol
alkoholan [alkoxide] 172, 198
alkohole [alcohols] 150, 164–188
– aromatyczne [alcohols, aromatic] 164
– cykliczne [alcohols, cyclic] 164
– monohydroksylowe [alcohols, monohydroxy] 164–180
– –, izomeria [alcohols, monohydroxy, isomerism] 167
– –, otrzymywanie [alcohols, monohydroxy, the preparation of] 167
– –, reakcja charakterystyczna [alcohols, monohydroxy, chemical test] 174–176
– nasycone 164
– polihydroksylowe [alcohols, polyhydroxy] 164, 181–188
– –, otrzymywanie [alcohols, polyhydroxy, the preparation of] 182–183
– –, reakcja charakterystyczna [alcohols, polyhydroxy, chemical test] 185–186
amidy [amides] 150, 287–299
–, izomeria [amides isomerism] 289
–, otrzymywanie [amides, the preparation of] 290
aminokwasy [amino acids] 341–351
– białkowe [amino acids, protein] 346–348
– egzogenne [amino acids, exogenous] 347
–, izomeria [amino acids, isomerism] 342–343
– kwasowe [amino acids, acid] 348
– obojętne [amino acids, neutral] 348
–, otrzymywanie [amino acids, the preparation of] 343
–, zasadowe [amino acids, basic] 348
aminy [amines] 150, 154, 275–286
–, izomeria [amines, isomerism] 277
–, otrzymywanie [amines, the preparation of] 278
–, reakcje chemiczne [amines, chemical reactions] 281–283
amoniak [ammonia] 21, 39, 154 275, 278, 280, 290–292
amylopektyna [amylopectin] 392
amyloza [amylose] 392
analiza elementarna [elemental analysis] → analiza jakościowa
– ilościowa [analysis, quantitative] 17, 39
– jakościowa [analysis, qualitative] 17, 20
anilina [aniline] 276–283
anion fenolanowy [phenolate anion] 193–195
– palmitynianowy [palmitate anion] 243
– stearynianowy [stearate anion] 243
anomer [anomer] 376–377
antracen [anthracene] 97, 119, 121
areny [arenes] 97–109, 143
– wielopierścieniowe [arenes, polycyclic] 119–121
asocjacja [association] 169, 228
atropina [atropine] 283
azot [nitrogen] 21, 27, 38–39

B

benzen [benzene] 40, 44, 87, 97–109, 115–117
benzenol [benzophenol] → fenol
benzyl [benzyl] → grupa benzylowa
benzyna [petrol] 14, 45, 132–135, 145–146
BERTHELOT MARCELIN P.E. 16
białka [proteins] 352–369
– kulisto-globularne [proteins, spherical-globular] 352
– proste [proteins] → proteiny
–, przemiany białek [proteins, transformation] 358
–, reakcje charakterystyczne [proteins, chemical tests] 359
–, struktury [proteins, structures] 353–355
– włókniste [proteins, fibrous] 352
– złożone [proteids] 352
biuret [biuret] 292
bromowanie [bromination] 41, 49–51, 54–55, 69–70, 85–87, 100–101, 103, 110–112, 154, 196
BUTLEROW ALEKSANDER M. 16, 32

C

celuloza [cellulose] 370, 392, 395–397
chiralność [chirality] 314

chlorek winylu [vinyl chloride] 87, 160
chlorofil [chlorophyll] 17, 268, 365, 367, 373
chloroform [chloroform] 423
chlorowanie [chlorination] 50, 144, 153–154
cholesterol [cholesterol] 165, 268
chromatograf [chromatograph] 27
chromatografia [chromatography] 26–27, 36, 39
chromatogram [chromatogram] 27
chromoproteidy [chromoproteins] 352
cukry [saccharides] → sacharydy
– proste [monosaccharides] → monosacharydy
cyjaniany [cyanates] 15
cyjanki [cyanides] 15
cykloalkany [cycloalkanes] 64
cysteina [cysteine] 347, 431
cytronelol [citronellol] 165
czynność optyczna [optical rotation] 317–319, 413

D

dehydratacja [dehydration] 174, 305
dekstryny [dextrin] 394, 416
denaturacja [denaturation] 171, 357–358, 415
destylacja frakcjonowana [fractional distillation] 128–131, 145
destylat [distillate] 27–28
diament [diamond] 10, 12, 36–37
diaminometanal [diaminometanal] → mocznik
diastereoizomery [diastereoisomers] 324, 377
dichromian(VI) potasu [potassium dichromate(VI)] 176, 217, 225
disacharydy [disaccharides] 370, 385–391
–, izomeria [disaccharides, isomerism] 386
dodatki do żywności [food additives] 365–367
duroplasty [hardening plastics] 161, 309
dwucukry [disaccharides] → disacharydy
dynamit [dynamite] 259
dysocjacja jonowa [ion dissociation] 170, 172, 193, 227, 231

E

efedryna [ephedrine] 275
ekstrakcja [extraction] 25, 36, 39, 41
eksykator [desiccator] 24
elektrofil [electrophile] 70, 104
eluent [eluent] 27
emulgator [emulsifier] 270
emulsja [emulsion] 264, 270–271
enancjomeria [enantiomerism] 122
estry [esters] 150, 252–261
– glicerolu i kwasów tłuszczowych [esters of glicerol and fatty acids] → tłuszcze
–, izomeria [esters, isomerism] 253
–, otrzymywanie [esters, the preparation of] 253–254
etanal [ethanal] → acetaldehyd
etano-1,2-diol [ethane-1,2-diol] → glikol etylenowy
etanoamid [ethanamide] → acetamid
etanol [ethanol] 32, 68, 71, 154, 156, 164–179, 185, 204, 226, 252
eten [ethene] → etylen
etenyl [ethenyl] → grupa winylowa
eter dietylowy [diethyl ether] 423
– dimetylowy [dimethyl ether] 32
– naftowy [petroleum ether] 423
etyl [ethyl] 57, 166
etylen [ethylene] 67–73, 80, 152, 174, 204
etyn [ethyne] → acetylen
eutrofizacja [eutrophication] 250, 309

F

faza nieruchoma [stationary phase] 26, 39
– ruchoma [mobile phase] 26, 39
– stacjonarna [stationary phase] → faza nieruchoma
fenantren [phenanthrene] 119, 121
fenol [phenol] 189–197, 209
fenole [phenols] 150, 189–200
–, otrzymywanie [phenols, the preparation of] 191–192
–, reakcja charakterystyczna [phenols, chemical test] 197
fenyl [phenyl] → grupa fenylowa
fenyloamina [phenylamine] → anilina
fenyloeten [phenylethene] → styren
fermentacja alkoholowa [ethanol fermentation] 168
– beztlenowa [anaerobic fermentation] 168
– masłowa [butyric fermentation] 267
– octowa [acetic fermentation] 225–226
– tlenowa [aerobic fermentation] 168
FISCHER EMIL 316
fluorowcopochodne węglowodorów [fluorinated hydrocarbons] 150–163
–, izomeria [fluorinated hydrocarbons, isomerism] 151
–, otrzymywanie [fluorinated hydrocarbons, the preparation of] 152
– –, substytucji rodnikowej [fluorinated hydrocarbons, radical substitution] 153–154
– –, substytucji nukleofilowej [fluorinated hydrocarbons, nucleophilic substitudion] 154–155
– –, eliminacji [fluorinated hydrocarbons, elimination reaction] 155–156
fluorowcowanie [halogenation] 157, 198, 230, 307
formaldehyd [formaldehyde] 203–205, 206–208
formalina [formalin] 205–207
fosfolipidy [phospholipids] 267
fosfoproteidy [phosphoproteins] 352
fotosynteza [photosynthesis] 373, 415
fruktoza [fructose] 370–382
fulereny [fullerene] 10–11, 12, 36, 38
furan [furan] 121

G

galaktoza [galactose] 330, 373, 386, 389
gaz koksowniczy [coal gas] 136–137, 145
– rafineryjny [refinery gas] 145
– syntezowy [syngas] 14, 167
– wodny [syngas] → gaz syntezowy
– ziemny [natural gas] 8, 14, 44, 48, 126

geraniol [geraniol] 165
glicerol [glycerol] 168, 181–187
glicyna [glycine] 341–342, 344, 346–349,
glikol etylenowy [ethylene glycol] 181–182, 184–185
glikolany [glycolates] 185
glikolipidy [glycolipids] 267–268
glukoza [glucose] 168, 267, 330, 370, 372–383
grafen [graphene] 10–11, 12, 38
grafit [graphite] 10–11, 12, 37
grupa aldehydowa [aldehyde group] 150, 201–203, 218, 234, 374, 380–381
– alkilowa [alkyl group] 56–57, 107, 115, 150
– amidowa [amide] 150, 287–289
– aminowa [amino group] 150, 275, 282, 341–346
– aromatyczna [aromatic group] 157, 212
– arylowa [aryl] 112, 113, 150, 189, 198, 201, 222, 275, 287–288
– benzylowa [benzyl] 107, 112
– estrowa [ester group] 150, 252, 262
– fenylowa [phenyl] 107, 112, 152, 213
– funkcyjna [functional group] 32, 150, 300–302, 414
– hydroksylowa [hydroxyl group] 150, 164, 172–173, 181, 184, 189, 193, 196, 198, 227, 372, 385
– karboksylowa [carboxyl group] 150, 221, 234, 287
– karbonylowa [carbonyl group] 150, 201, 205, 208, 212, 217, 218, 221, 227
– ketonowa [keto group] → grupa karbonylowa
– metylowa [methyl group] 57, 125
– nitrowa [nitro group] 113, 121, 150
– sulfonowa [sulfone group] 105, 114, 121
– tiolowa [thiol] 347
– węglowodorowa [hydrocarbon group] 150, 164, 167–168, 198
– winylowa [vinyl group] 115, 160

H

hemoglobina [hemoglobin] 14–15, 17, 353–355
hybrydyzacja *sp* [hybridization *sp*] 12, 83, 143
– sp^2 [hybridization sp^2] 10–11, 66–67, 98, 124, 143
– sp^3 [hybridization sp^3] 10–11, 45–46, 64, 123, 143
hydroksykwasy [hydroxy acids] 327–340
–, izomeria [hydroxy acids, isomerism] 334
–, otrzymywanie [hydroxy acids, the preparation of] 329–330
hydroliza [hydrolysis] 172, 182–183, 194, 234, 243, 256, 388, 410

I

ibuprofen [ibuprofen] 323
izomeria *cis-trans* [*cis-trans* isomerism] 76, 122–125, 145, 224, 238–239
– funkcyjna [functional isomerism] 123, 145, 203, 214
– konfiguracyjna [stereoisomerism] → stereoizomeria
– konstytucyjna [constitutional isomerism] 55–56, 76, 109, 122, 151, 167, 203, 214, 253, 277, 289
– optyczna [optical isomerism] 122, 314–326, 342
– *orto-meta-para* [*orto-meta-para* isomerism] 109, 144, 195
– podstawienia [position isomerism] → izomeria położenia
– położenia [position isomerism] 122–123, 145, 224, 277, 289
– strukturalna [structural isomerism] → izomeria konstytucyjna
– szkieletowa [chain isomerism] 122, 145, 167, 203, 214, 223, 277, 289
izomeryzacja [isomerization] → reforming

J

jełczenie [rancidity] 266, 308
jodoform [iodoform] 218
jon alkilooksoniowy [alkyloxonium ion] 173
– obojnaczy [zwitterion] 345

K

kamfora [camphor] 31, 212
karbid [carbide] 85, 96
karboanion [carbanion] 34, 156
karbokation [carbocation] 34, 70, 103–104
karotenoidy [carotenoids] 268
karwon [carvone] 324
kation amoniowy [ammonium] 280
– aniliniowy [aniline anion] 281, 283
– nitroniowy [nitronium cation] 104
kauczuk naturalny [natural rubber] 80
KEKULÉ FRIEDRICH AUGUST 32, 99
keratyna [keratin] 352, 399
ketoheksoza [ketohexose] 372–375
ketony [ketones]150, 212–220
–, izomeria [ketones, isomerism 214
–, otrzymywanie [ketones, the preparation of] 215
–, reakcja charakterystyczna [ketones, chemical test] 217
ketozy [ketosis] 372, 376, 382
koagulacja [coagulation] 356, 358
kofeina [caffeine] 31, 284
KOLBE HERMANN 16
koloid [colloid] 270, 356
kolumna destylacyjna [distillation column] 128, 130–131
konfiguracja [configuration] 124, 320
– absolutna *R* i *S* [absolute configuration *R* and *S*] 320
– względna D i L [the relative configuration of D and L] 320, 335, 377
konformacja [conformation] 124
kontrakcja [contraction] 171
kraking [cracking] 133, 146
krezole [cresols] 191
krystalizacja [crystallization] 23–24, 39, 423
ksylen [xylene] 106, 109
kwas adypinowy [adipic acid] 292
kwas aminoetanowy [aminoethanoic acid] → glicyna
– aminooctowy [aminoacetic acid] → glicyna
– asparaginowy [aspartic acid] 347
– cyjanowodorowy [hydrocyanic acid] → kwas pruski
– cyjanowy [cyanic acid] 15, 37
– cytrynowy [citric acid] 327, 329

kwas etanowy [ethanoic acid] → kwas octowy
– glukonowy [gluconic acid] 327, 380
– glutaminowy [glutamic acid] 341, 347
– hydroksypropanowy [hydroxypropanoic acid] → kwas mlekowy
– jabłkowy [malic acid] 327, 329
– linolowy [linoleic acid] 238, 263
– metanowy [methanoic acid] → kwas mrówkowy
– mlekowy [lactic acid] 327, 329, 335
– mrówkowy [formic acid] 207, 223, 225–228, 232
– octowy [acetic acid] 16, 32, 168, 174, 221–223, 225–234
– lodowaty [glacial acetic acid] 227
– oleinowy [oleic acid] 238–241, 263
– palmitynowy [palmitic acid] 238–243, 263
– pruski [prussic acid] 15
– salicylowy [salicylic acid] 327, 335, 338
– siarkowy(VI) dymiący [fuming sulfuric acid] → oleum
– stearynowy [stearic acid] 238–243, 263
– tereftalowy [terephthalic acid] 258
– winowy [tartaric acid] 327, 329
kwasy karboksylowe [carboxylic acids] 150, 221–237
– –, izomeria [carboxylic acids, isomerism] 223–225
– –, otrzymywanie [carboxylic acids, the preparation of] 225
– – wyższe [fatty acids] 238–251
– – –, izomeria [fatty acids, isomerism] 238–239
kwasy tłuszczowe [fatty acids] → kwasy karboksylowe wyższe

L

lakton [lactone] 337
laktoza [lactose] 370, 385–387, 389
laktyd [lactide] 337
lecytyna [lecithin] 265
liczba oktanowa (LO) [octane number] 133–134, 146
liofilizacja [freeze-drying] 31, 362
lipidy [lipids] 267–268
lipoproteidy [lipoproteins] 352
lizyna [lysine] 347–348
LO → liczba oktanowa

M

maltoza [maltose] 370, 385–389
manganian(VII) potasu [potassium manganate(VII)] 49, 54, 69, 71–73, 85, 100, 225, 235, 239–240
mannoza [mannose] 373, 374
mazut [mazut] 131, 133, 145
mechanizm usuwania brudu [cleansing action of soap] 246–247
mer [mer, monomeric unit] 80, 94
metaloproteidy [metalloprotein] 352
metan [methane] 44, 46–53, 57, 72, 85, 126, 151–152, 166, 202, 225
metanal [methanal] → formaldehyd
metanol [methanol] 72, 155, 164–169, 172, 198, 204–205
metionina [methionine] 341, 347
metoda cyjanohydrynowa [cyanohydrin metod] → metoda Streckera
– kumenowa [cumene process] 191
– Streckera [Strecker synthesis] 343
metylobenzen [methylobenzene] → toluen
metylofenole [methylphenols] → krezole
micela [micelle] 246, 309
mieszanina nitrująca [nitrating mixture] 104, 114, 144
– racemiczna [racemic mixture] → racemat
mocznik [carbamide] 15, 287, 291–292
monomer [monomer] 80, 94, 115, 208
monosacharydy [monosaccharides] 370, 372–384
–, izomeria [monosaccharides, isomerism] 373
–, otrzymywanie [monosaccharides, the preparation of] 373
–, reakcje charakterystyczne [monosaccharides, chemical tests] 379–382
morfina [morphine] 283
mostek disiarczkowy [disulfide bridge] → mostek disulfidowy
– disulfidowy [disulfide bridge] 354–355, 358
mydło [soap] 241, 243, 265

N

nafta [kerosene] 128, 130–131
naftalen [naphthalene] 31, 97, 119–121, 159
napięcie powierzchniowe [surface tension] 245
nanorurka [nanotube] 12
nitrobenzen [nitrobenzene] 104, 107, 117, 144
nitrogliceryna [nitroglycerin] 257, 259
NOBEL ALFRED 259
nukleofil [nucleophile] 70–71, 103–105, 155
nylon [nylon] 292–295

O

oddziaływanie van der Waalsa [van der Waals force] 10, 354
odwodnianie [dehydration] → dehydratacja
olej napędowy [diesel fuel] 45, 130–131, 134, 145
oleum [oleum] 105
oligosacharydy [oligosaccharides] 370
otoczka solwatacyjna [solvation shell] 358

P

peptydy [peptides] 346, 348–349
peptyzacja [peptization] 356, 358
PET → poli(tereftalan etylenu)
pI → punkt izoelektryczny
piroliza [pyrolysis] 85, 119, 135–137, 145, 191
pirydyna [pyridine] 121
PMMA → poli(metakrylan metylu)
podstawniki [substituents] 56–57, 107, 109, 112–113, 144, 152, 233–234
polaryzator [polarizer] 317–319
poliacetylen [polyacetylene] 94
poliamidy [polyamides] 161, 292–295
poli(chlorek winylu) (PVC) [poly(vinyl chloride)] 160–161
poliestry [polyesters] 161, 258
polieten [polyethene] → polietylen
polietylen [polyethylene] 68, 80, 117, 161
polietyn [polyethyne] → poliacetylen
polifenol [polyphenol] 189

poliformaldehyd [polyformaldehyde] 208–209
polimer [polymer] 80, 94, 115, 160–161, 208
poli(metakrylan metylu) (PMMA) [poly(methyl methacrylate)] 161, 259
polipropylen [polypropylene] 80, 161
polisacharydy [polysaccharides] 370, 392–412
polistyren [polystyrene] 115, 118, 161
poli(tereftalan etylenu) (PET) [poly(ethylene terephthalate)] 161, 258, 407
politetrafluoroeten [polytetrafluoroethylene] → teflon
poliuretany [polyurethanes] 161, 293
poliwęglan [polycarbonates] 161
pozycja alfa α [alpha position] 119, 121
– beta β [beta position] 119, 121
projekcja Fischera [Fischer projection] → wzór Fischera
propano-1,2,3-triol [propane-1,2,3-triol] → glicerol
propan-2-on [propanone] → aceton
proteiny [protein] 352
próba jodoformowa [iodoform test] 217–218
– Tollensa [Tollens' test] 206–208, 216–217, 225, 387–389
– Trommera [Trommer's test] 207–208, 216–217, 225, 380, 387
przegrupowanie wewnątrzcząsteczkowe [intramolecular rearrangement] 87
przesącz [filtrate] 23
PTFE → teflon
punkt izoelektryczny (pI) [isoelectric point] 345
– izojonowy [isoionic point] → punkt izoelektryczny
PVC → poli(chlorek winylu)

R

racemat [racemate] 325
reakcja addycji [addition reaction] 35, 40, 69–71, 86–87, 99, 101, 105, 143, 152, 160, 167, 205, 217–218, 230, 240, 264
reakcja alkilowania [alkylation reaction] 110, 115
– amonolizy [ammonolysis reaction] 343
– biuretowa [biuret reaction] 359
– dekarboksylacji [decarboxylation reaction] 235
– depolimeryzacja [depolymerization] 209
– eliminacji [elimination reaction] 35, 40, 68, 155–156, 174
– estryfikacji [esterification reaction] 254–256, 263
– jonowa [ionic reaction] 34
– ksantoproteinowa [xanthoproteic reaction] 359
– Kuczerowa [Kucherov reaction] 87
– łańcuchowa [chain reaction] 49
– nitrowania [nitration] 104, 114, 121, 144, 196, 257
– podstawienia [substitution reaction] → reakcja substytucji
– polimeryzacja [polymerization] 67, 80, 89, 94, 115, 143, 160, 208, 218, 258–259
– polikondensacja [polycondensation] 208–209, 218, 258, 292–293
– przyłączania [addition reaction] → reakcja addycji
– rodnikowa [radical reaction] 35, 50, 159, 183
– substytucji [substitution reaction] 35, 40, 50, 55, 99, 101, 103–104, 110–112, 143, 152–153, 158–159, 173, 217, 230
– sulfonowania [sulfonation] 105, 114, 121, 144, 198
– utleniania-redukcji [oxidation-reduction reaction] 71–72, 175–176, 207–208, 235
– uwodornienia [hydrogenation] 105, 217, 240, 265
– Wurtza [Wurtz reaction] 154
reforming [reforming] 102, 135, 146
reguła Hückla [Hückel's rule] 102
– Markownikowa [Markovnikov's rule] 71, 87, 167
reguła pierwszeństwa 320
rektyfikacja [rectification] → destylacja frakcjonowana
resublimacja [deposition] 30–31, 39
rodnik [radical] 34–35, 50–51, 158–159, 183
ropa naftowa [petroleum] 27, 127–131
rozdzielacz [separatory funnel] 25
ryboza [ribose] 372

S

sacharoza [saccharose] 370, 385–388
sacharydy [saccharides] 370–371
seryna [serine] 347
sfingolipidy [sphingolipids] 267–268
sfingozyna [sphingosine] 268
siarka [sulfur] 13, 21, 39
skręcalność właściwa [specific rotation] 377
skrobia [starch] 370, 392–396
smoła węglowa [coal tar] 136–137, 145
spalanie całkowite [complete combustion] 14, 48, 54, 69, 86, 101, 111, 143, 171, 184, 227
– niecałkowite [incomplete combustion] 14, 48, 54, 69, 86, 101, 111, 143, 171, 184, 227
– stukowe [fuel knocking] 133
spektrometria mas [mass spectrometry] 27
spirytus drzewny [wood alcohol] → metanol
spirytus salicylowy [salicylic alcohol] 336
stała dysocjacji elektrolitycznej [dissociation constant electrolytic] 232
steran [sterane] 64
stereoizomeria [stereoisomerism] 122–125
steroidy [steroids] 64, 268
stopień utlenienia [oxidation number] 8, 71–72
styren [styrene] 115
styropian [styrofoam] 115, 118
sublimacja [sublimation] 30–31, 39, 120
suchy lód [dry ice] 14, 31
substancje powierzchniowo czynne [surfactants] 243–245
surfaktanty → substancje powierzchniowo czynne

szereg homologiczny [homologous series] 51–53, 64, 74, 84, 88, 106, 143, 166, 203, 222–223

Ś

środki przeciwstukowe [anti-knock agents] 134
środki czystości [cleaning supplies] 248–250

T

talidomid [thalidomide] 323
teflon (PTFE) [teflon] 160
teoria strukturalna [structural theory] 32, 40
– witalistyczna [vitalistic theory] 15
termoplasty [thermoplastics] 161, 309
terpeny [terpenes] 268
tiofen [thiophene] 121
tlen [oxygen] 20, 39
tłuszcze [fats] 16, 262–269
–, hydroliza zasadowa [fats, base hydrolysis] → zmydlanie
–, otrzymywanie [fats, the preparation of] 263
–, utwardzanie [fats] 265
tłuszczowce [lipids] → lipidy
toluen [toluene] 97, 106, 110–114, 117, 120, 158, 191
triazotan(V) glicerolu [trinitrate(V) glycerol] → nitrogliceryna
trichlorometan [trichloromethane] → chloroform
trijodometan [triiodomethane] → jodoform
twarda woda [hard water] 243
tyrozyna [tyrosine] 347

U

ugrupowanie uretanowe [urethane group] 293

W

węgiel [carbon] 8–12, 20, 37
–, atom anomeryczny [carbon, anomeric atom] 376–377
–, centrum chiralności [carbon, chiral center] 314, 320, 323, 334, 342, 376
–, rzędowość [carbon, primary, secondary, tertiary, quaternary atom] 61–62, 144, 153, 164
węgle kopalne [coal] 8, 44, 126, 145
węglik wapnia [calcium carbide] → karbid
węglowodany [carbohydrates] → sacharydy
węglowodory [hydrocarbons] 44–142
– aromatyczne [aromatic hydrocarbons] → areny
– nasycone 44–65
– nienasycone 66–96
wiązanie glikozydowe [glycosidic bond] 385
– hemiacetalowe [hemiacetal bond] 375
– koordynacyjne [coordinative bond] 186
– kowalencyjne [covalent bond] 10, 37–38, 67, 70, 84, 103, 168
– peptydowe [peptide bond] 292, 346, 348–349, 359
– podwójne [double bond] 33, 66–67, 79, 107, 123, 143, 156, 205, 208, 217
– pojedyncze [single bond] 32–33, 44–46, 83, 97–99, 143
– potrójne [triple bond] 32–33, 44, 83, 94, 143
– półacetalowe [hemiacetal bond] → wiązanie hemiacetalowe
– typu pi π [pi bond] 66–67, 70, 84, 94, 98, 124
– typu sigma σ [sigma bond] 45, 67, 70, 83–84, 98
– wodorowe [hydrogen bonding] 169, 171, 184, 227
– zdelokalizowane [delocalized bonding] 98, 107, 143
winylobenzen [vinylbenzene] → styren
witamina B12 [vitamin B12] 17
woda bromowa [bromine water] 49, 70, 195, 264
wodór [hydrogen] 20–21, 39
WÖHLER FRIEDRICH 15, 96
woski [waxes] 267
wysalanie białka [salting] 356, 358
wzory Kekulégo [Kékule formulas] 99
wzór elementarny [elementary formula] → wzór empiryczny
– empiryczny [empirical formula] 17–19, 38
– Fischera [Fischer formula] 316, 323–324, 374
– grupowy [semi-structural formula] 33, 40
– Hawortha [Haworth formula] 374
wzór kreskowy [skeletal formula] → wzór szkieletowy
– perspektywiczny [perspective formula] 315–317, 334
– półstrukturalny [semi-structural formula] 33, 40
– projekcyjny [projection] → wzór Fischera
– rzeczywisty [molecular formula] → wzór sumaryczny
– strukturalny [structural formula] 33, 40
– sumaryczny [molecular formula] 18, 32, 38
– szkieletowy [skeletal formula] 33, 40
– taflowy [Haworth formula] → wzór Hawortha

Z

zielona chemia [green chemistry] 139
zmydlanie [saponification] 265, 308
zol [sol] 356, 358
związki amfoteryczne [amphoterics] 344–346
– Grignarda [Grignard compounds] 157
– koordynacyjne [coordination compounds] 186
– magnezoorganiczne [magnesium organic compounds] → związki Grignarda
– *mezo* [*meso* compounds] 324
– nitrowe [nitro compounds] 150, 278

Ż

żele [gels] 358
żywica fenolowo-formaldehydowa [phenol-formaldehyde resin] 209

Zdjęcie na okładce: Getty Images/iStock/Getty Images Plus/Sirer

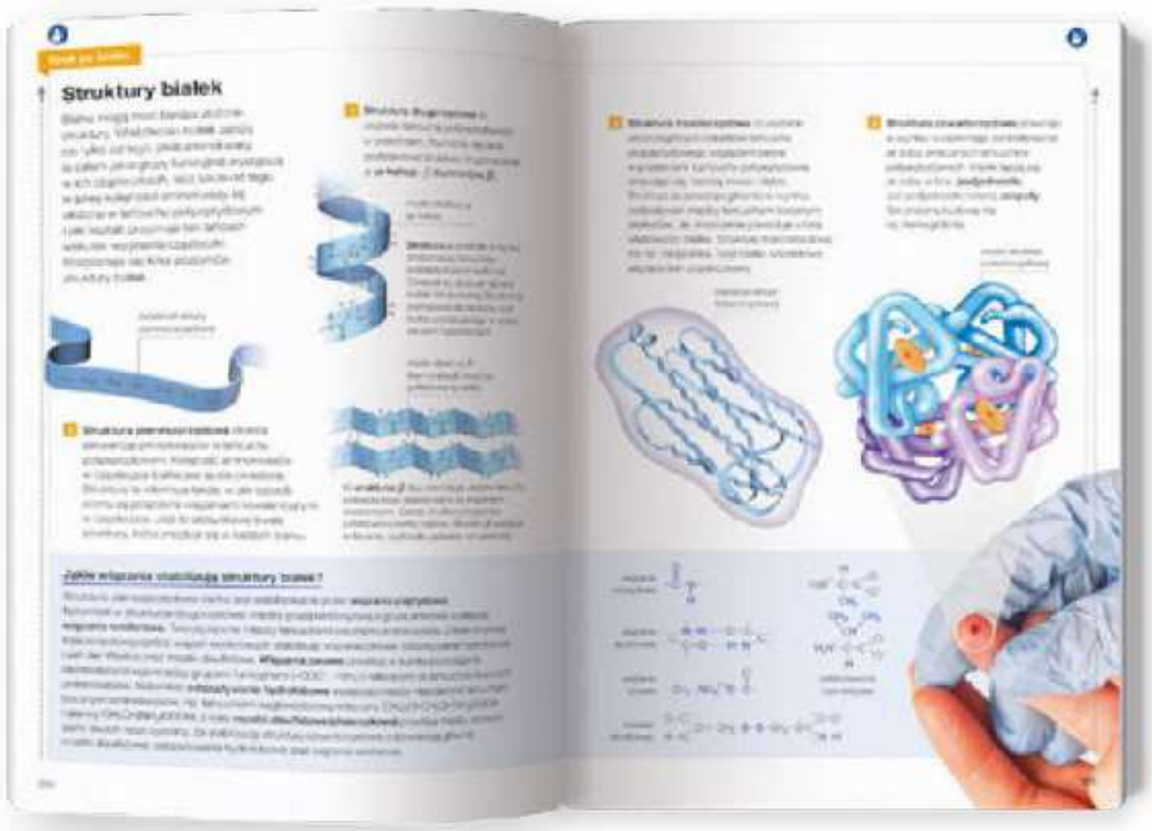
Zdjęcia: **Agencja Gazeta**: Cezary Aszkiełowicz s. 178; **Archiwum Nowej Ery**: s. 295 (nici nylonowe), s. 367 (aromat do ciasta); **BE&W**: Alamy Stock Photo – agefotostock s. 362 (liofilizacja), s. 363 (pakowanie próżniowe, pasteryzacja), Amy Lv s. 401 (bawełna), Anna Usova s. 9 (dolomit), Neighbours Cat s. 337, Pixel-shot s. 131 (świece), PNWL s. 11 (grafen SEM), sciencephotos s. 331 (kwaśne mleko), studiomode s. 131 (butla turystyczna), Vince F s. 23 (kwas benzoesowy), Wattlebird s. 373 (guma arabska), imagebroker/Michael Weber s. 168 (kolumna rektyfikacyjna), Photo Researchers/Charles D. Winters s. 13 (fosfor), Science Source – Charles D. Winters s. 7, 10–11 (fulereny), s. 14, 85, 170 (spalanie etanolu), Edward Kinsman s. 11 (diament SEM); **Depositphotos**: lipsky s. 285 (szczoteczka do zębów), sommaill s. 9 (węgiel leczniczy); **Diomedia**: Science Source/GIPhotoStock s. 27; **East News**: REPORTER/Grzegorz Bukala s. 400 (kask kevlarowy); **Fotolia**: Africa Studio s. 421 (szkło laboratoryjne); **Getty Images**: 500Px Plus.Dina (Food Photography)/500px s. 63 (świeca), Cavan/Cavan Images s. 383 (kroplówka), E+ – AzmanJaka s. 283 (krople do oczu), Cecilie_Arcurs s. 187 (guma do żucia), CostinT s. 361 (mleko), filadendron s. 296 (lek przeciwbólowy), freemixer s. 63 (butla gazowa), gilaxia s. 236 (choroby stawów), kjohansen s. 151, mariusFM77 s. 262 (kokos), milanfoto s. 266, Milos Dimic s. 400 (odzież ochronna), mladenbalinovac s. 169, slobo s. 242 (mycie rąk), South_agency s. 187 (lakierowanie), svetikd s. 81 (odzież), Future/T3 Magazine s. 94, Gamma-Rapho/API s. 340, imagenavi s. 28 (termometr), iStock/Getty Images Plus – alekseykolotvin28 s. 160, Alexlukin s. 189, aoldman s. 285 (adrenalina), brackish_nz s. 401 (owca), clubfoto s. 394 (chleb), czarny_bez s. 363 (suszenie), Dejan Jekic s. 363 (marynowanie), Deklofenak s. 210 (narzędzia chirurgiczne), Elenathewise s. 83, Eric Bascol s. 361 (kompostownik), fotohunter s. 401 (jedwabnik), Grindi s. 250 (zakwit wody), kolesnikovserg s. 358 (ugotowane jajko), Lana_M s. 333 (nabiał), leekris s. 48 (detektor czadu), LeManna s. 244 (parasol), margostock s. 401 (wełniane skarpety), mashuk s. 252, michal812 s. 9 (syderyt), Naypong s. 401 (bawełniane koszulki), olando_o s. 285 (oranż metylowy), Photographer s. 238, PLG s. 9 (kalcyt), Priyono – s. 97, Savany s. 226, shironosov s. 350 (sen), Suntorn Suwannasri s. 284 (tytoń), ToppyBaker s. 285 (proces rafineryjny), valio84sl s. 350 (nawożenie), vikif s. 262 (smalec), Ziga Plahutar s. 272–273, Love Lanner/Folio Images s. 336 (sok), Moment Open/Matt Anderson Photography s. 219 (balon), Moment Unreleased/Achim Thomae s. 259 (Stadion Olimpijski w Monachium), Moment – 100 s. 284 (herbata), Boy_Anupong s. 242 (preparat na trądzik), s. 284 (kawowiec), by Chakarin Wattanamongkol s. 383 (lusterko), Carbonero Stock s. 81 (opona), Maciej Toporowicz, NYC s. 131 (mazut), R.Tsubin s. 287, Witthaya Prasongsin s. 162 (zastrzyk), Photodisc – Image Source s. 296 (płyn do golenia), Niels Busch s. 397 (nici), Photographer's Choice/Getty Images Plus/Vincenzo Lombardo s. 10 (grafen), PhotoObjects.net/Getty Images Plus/Hemera Technologies s. 205, Portland Press Herald s. 67, Science Photo Library/KTSDESIGN s. 23 (wirówka), Stockbyte/Patrice Coppee s. 219 (perfumy), The Image Bank – Andy Sacks s. 250 (oprysk pola), Joff Lee s. 165 (awokado), Laurence Monneret s. 236 (soczewki kontaktowe), Per Winbladh s. 360 (mycie włosów), Universal Images Group/Universal History Archive s. 15, Westend61 s. 95 (spawanie), s. 383 (dżemy); **Indigo**: Alamy Stock Photo – STOCKFOLIO® s. 114, Westend61 GmbH s. 9 (magnezyt), Science Photo Library s. 11 (grafit SEM), s. 24, 44 (pęcherzyki gazu), s. 48 (palnik), s. 128 (zestaw laboratoryjny), s. 149, 172, 192 (fenol biały i różowy), s. 258 (protezy naczyń krwionośnych), s. 290 (reakcja kwasu), s. 293 (pianka SEM), s. 313, 318 (barwa światła), s. 367 (guma arabska), s. 379, 400 (włókno węglowe SEM, włókno szklane SEM), s. 403, Andrew Lambert Photography s. 43, 104, 218, Dennis Kunkel Microscopy s. 17, Dr Jeremy Burgess s. 294, Eye of Science s. 295 (nylon SEM), Martyn F. Chillmaid s. 206; **Panthermedia**: Gerad Taylor s. 395 (termit); **PAP**: Muzeum Przemysłu Naftowego i Gazowniczego w Bóbrce/Paweł Pawłowski s. 128 (lampa naftowa); **Shutterstock**: abimages s. 161 (doniczka), Aerial-motion s. 242 (łódź), Africa Studio s. 81 (kwiaty), s. 210 (lody waniliowe), s. 327, Alena Brozova s. 362 (mrożenie), Alena TS s. 260 (masa szpachlowa), Alessia Pierdomenico s. 362 (peklowanie), Alexkich s. 296 (żyłka wędkarska), alexzrv s. 332 (kiszone warzywa), All-stock-photos s. 63 (ser), Anatoliy Lukich s. 131 (samolot), Andrea Izzotti s. 13 (mumia), Anna Gawlik s. 336 (spirytus), Anze Furlan s. 373 (bąbelki gazu), Arkadi Bulva s. 293 (pianka poliuretanowa), Artem and Olga Sapegin s. 245, aslysun s. 336 (stopa), Bangkoker s. 397 (nić chirurgiczna), baranq s. 336 (chory mężczyzna), Barna Tanko s. 124 (dłoń 1), belchonock s. 269 (czekolada), Bilanol s. 118, Bjoern Wylezich s. 12 (brylanty), Bozhena Melnyk s. 210 (przemysł perfumeryjny), Bruno Rodrigues B Silva s. 8, Carlo Prearo s. 382, CHAIWATPHOTOS s. 108 (pojemnik styropianowy), Chanwoot_Boonsuya s. 390 (tabletki), Cheng Wei s. 343, Cire notrevo s. 390 (termoizolacja), Corepics VOF s. 138, Corona Borealis Studio s. 408, Coyoteblabla s. 275, Daniel Jedzura s. 197 (oczyszczalnia), Denis and Yulia Pogostins s. 365 (bakłażany), DenisProduction.com s. 360 (pieczywo), DmitrySt s. 10 (diament), Domaskina s. 219 (opryszczka), Domenic Gareri s. 208 (robot kuchenny), Elena Rudakova s. 81 (dziewczyna), elenavolf s. 260 (preparat na włosy), Evgeny Atamanenko s. 260 (aromat do ciasta), Farzad Frames s. 405 (kwiaty w celofanie), faustasyan s. 108 (intubacja), Fer Gregory s. 96, 259 (dynamit), FOTOGRIN s. 390 (świece dymne), FotoHelin s. 249, Gabriel Pahontu s. 95 (szkło), goffkein.pro s. 177 (płyn do płukania, chusteczki), Gorodenkoff s. 12 (projekt), Grabowski Foto s. 180, GSDesign s. 332 (salami), gyn9037 s. 383 (bielenie bawełny), Hallgerd s. 335, HENADZI PECHAN s. 355, huyangshu s. 388, Ilya Platonov s. 248, J5M s. 401 (lniany obrus), Jiang Zhongyan s. 341, Jirik V s. 291, Jo Ann Snover s. 366, Juan Miguel Aparicio s. 199 (chirurg), KatMoy s. 397 (pierogi), Ken Felepchuk s. 139 (elektrownia wiatrowa), Khoroshunova Olga s. 391, Leonid and Anna Dedukh s. 187 (niemowlę), LightArty s. 296 (lakierowanie mebli), losmandarinas s. 127 (ropa naftowa w kolbie), Luis Carlos Jimenez del rio s. 385, M. Unal Ozmen s. 115, MaraZe s. 390 (żywność dla niemowląt), Mars Evis s. 338, Michelle Wignall s. 389, Mik Lav s. 137, Mikbiz s. 131 (ciężarówka), Monika Wisniewska s. 350 (konserwy), Natalielme s. 199 (błękit bromofenolowy), Natasha Breen s. 404 (rogaliki), Nattika s. 201, neelsky s. 364, Noinar Nittha s. 401 (jedwabna chusta), Nor Gal s. 269 (pasta do butów), Norbert Braun s. 199 (kule bilardowe), Nurul Akmal s. 86, Oleg Shishkov s. 269 (wosk pszczeli), Oleksiy Mark s. 108 (farby), Olena Chukhil s. 32, Olga Zinkevych s. 246–247 (tkanina spod mikroskopu), Oliver Hoffmann s. 362 (wędzenie), Only_NewPhoto s. 360 (klej do tapet), Pack-Shot s. 365 (marchew), Pavelis s. 95 (syrop), Pavels Hotulevs s. 95 (laboratorium), Ph.wittaya s. 161 (granulat), photogal s. 221, photomaster s. 402 (beczki), piotr_pabijan s. 323, PixaHub s. 66, Pressmaster s. 187 (kremowanie twarzy), progressman s. 177 (lakier do paznokci), s. 350 (preparat do pielęgnacji włosów), ra3rn s. 181, Rabbitmindphoto s. 25, rame435 s. 397 (produkcja papieru), Rattiya Thongdumhyu s. 26, Rechitan Sorin s. 295 (odzież turystyczna), Roblan s. 367 (słodzik), RusAKphoto s. 236 (peeling), rvlsoft s. 124 (dłoń 2), science photo s. 12 (kapsułki z krwią), Sebastian Janicki s. 319, senk s. 22 (grill), SergeBertasiusPhotography s. 139 (baterie słoneczne), Shestakoff s. 365 (sałata), Sirisak_baokaew s. 162 (oprysk), SlayStorm s. 405 (papier toaletowy), Stefan Holm s. 177 (motocykl), stefan11 s. 126, StockphotoVideo s. 363 (kiszenie), Stocksolutions s. 168 (chleb), StudioSmart s. 44 (pszczoły), Sychugina s. 357 (dezodorant), Tamas Panczel – Eross s. 402 (opakowania plastikowe), Tanawat Chantradilokrat s. 207, Tanis Saucier s. 314, tcsaba s. 210 (preparat brązujący), Ternavskaia Olga Alibec s. 260 (łuszczyca), ThamKC s. 269 (tran), TigerForce s. 402 (słoiki), TORWAISTUDIO s. 63 (preparat chłodzący), Try my best s. 242 (uszczelka), VadimZosimov s. 293 (kask), Valentyn Volkov s. 358 (rozbite jajko), Vasilyev Alexandr s. 352, VectorManZone s. 399 (warstwy maski), Vgstockstudio s. 360 (bóle stawów), viper345 s. 392, Vlada Tikhonova s. 162 (patelnia), wasanajai s. 212, Yevhen Vitte s. 236 (napój gazowany), Yulia.Panova s. 219 (lakier do paznokci), Zagorulko Inka s. 333 (chleb na zakwasie), ZayacSK s. 401 (len), Zoran Matic s. 199 (pszczoła); **Thinkstock/Getty Images**: Digital Vision s. 258 (butelki PET), Hemera s. 295 (dywan), iStockphoto s. 162 (granat dymny), s. 293 (narciarz), s. 333 (sery), Alexey Ilyashenko s. 324 (mięta), Anna Khomulo s. 246–247 (piana), bereta s. 267, brytta s. 353, Dleonis s. 331 (chleb), Paolo Conti s. 365 (pomidory), prill s. 10 (grafit), PHOTOS.com>>/Jupiterimages s. 339, Polka Dot/Jupiterimages s. 131 (tankowanie), Stockbyte s. 271 (krem), s. 402 (karton), Zoonar s. 324 (kminek); **Włodzimierz Echeński**: s. 20, 22 (doświadczenie), s. 68 (otrzymywanie etenu), s. 84, 127 (spalanie ropy, mieszanina ropy i wody), s. 131 (benzyna, nafta, olej napędowy w kolbach), s. 132 (spalanie benzyny, mieszanie benzyny z olejem), s. 136 (piroliza węgla), s. 171, 174, 183, 192 (papierek wskaźnikowy), s. 208 (próba Trommera), s. 228, 229, 240, 241, 244 (badanie rozpuszczalności oleju), s. 254, 264 (badanie rozpuszczalności oleju roślinnego), s. 265, 270, 279, 317, 318 (żarówka), s. 393 (badanie właściwości skrobi), s. 394 (wykrywanie skrobi), s. 421, 422; **Franciszek Krok**: s. 393 (skrobia SEM); **PUTTO/Piotr Kubat**: s. 28 (proces wrzenia), s. 30, 49, 54, 68 (otrzymywanie etenu – zbliżenie), s. 100, 101, 111, 120, 132 (mieszanie benzyny z wodą), s. 136 (woda pogazowa, smoła węglowa, koks), s. 165 (spalanie metanolu), s. 170 (porównanie lotności), s. 173, 185, 186, 196, 197 (wykrywanie fenolu), s. 204, 209, 227, 243, 244 (badanie wpływu substancji), s. 264 (topnienie masła), s. 271 (płyn dwufazowy), s. 281, 283, 283 (oleista ciecz), s. 290 (reakcja etanoamidu), s. 292, 342, 344, 356, 357 (wpływ na białko), s. 358 (doświadczenie), s. 359, 371, 378, 381, 387, 395 (celuloza), s. 399 (spalanie wełny i bawełny), s. 418; U.S. Army s. 108 (mina); **Merck/LabClassics**: s. 28 (kamyczki wrzenne).

Wydawnictwo Nowa Era oświadcza, że podjęło starania mające na celu dotarcie do właścicieli i dysponentów praw autorskich wszystkich zamieszczonych utworów. Wydawnictwo Nowa Era, przytaczając w celach dydaktycznych utwory lub fragmenty, postępuje zgodnie z art. 27^1 ust. 1 ustawy o prawie autorskim. Jednocześnie Nowa Era oświadcza, że jest jedynym podmiotem właściwym do kontaktu autorów tych utworów lub innych podmiotów uprawnionych w przypadkach, w których twórcy przysługuje prawo do wynagrodzenia.

Twoje mocne strony

To jest chemia

Część 2. podręcznika *To jest chemia* zawiera treści z chemii organicznej. Zastosowane w nim rozwiązania skutecznie ułatwiają opanowanie kluczowych umiejętności.



Doświadczenia chemiczne

Opisy z wyróżnionymi obserwacjami i wnioskami oraz fotografiami przedstawiają przebieg doświadczeń, które trzeba znać.

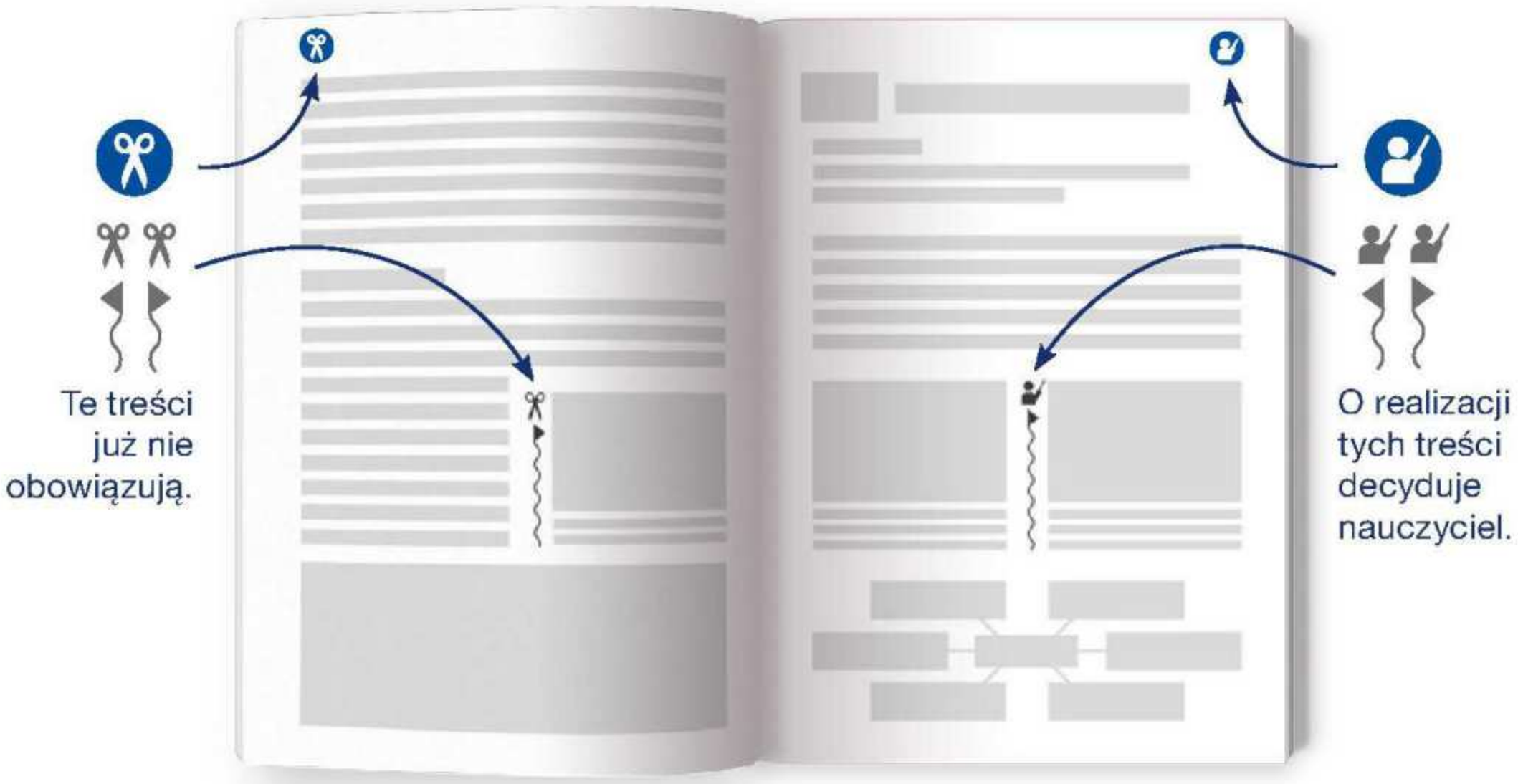
Infografiki

Graficzna prezentacja trudnych, ale istotnych treści pomaga je zrozumieć i zapamiętać.

Wiesz, umiesz, zdasz

Metoda systematycznego i skutecznego kształcenia kluczowych umiejętności.

W podręczniku znajdziesz oznaczenia treści, które od września 2024 r. nie są już wymagane.



Niebieska ikona na górze strony wskazuje, że na tej stronie znajdują się treści, które nie są wymagane – oznaczono je szarą ikoną i falką.

Nowa Era Sp. z o.o.

www.nowaera.pl nowaera@nowaera.pl

Centrum Kontaktu: 58 721 48 00

ISBN 978-83-267-5058-8

9 788326 750588