

Maria Litwin
Szarota Styka-Wlazło
Joanna Szymońska

To jest chemia 2

Chemia organiczna
Podręcznik dla liceum ogólnokształcącego i technikum

Zakres rozszerzony

nowa
era

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 Jolanty Grażyny Sawickiej,
dr Katarzyny Kozłowskiej.**

Zakres kształcenia: rozszerzony.

Etap edukacyjny: IV.

Typ szkoły: ponadgimnazjalna.

Rok dopuszczenia: 2013.

Numer ewidencyjny w wykazie MEN: 528/2/2013.



**DO NOWEJ PODSTAWY
PROGRAMOWEJ**

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. 2013

ISBN 978-83-267-1260-9

Warszawa 2013

Współpraca autorska: **Grażyna Świdarska**

Konsultacja merytoryczna: **Grażyna Barcińska, Romuald Hassa**

Koordinacja prac i opracowanie redakcyjne: Magdalena Niedźwiedzka

Współpraca redakcyjna: Justyna Kamińska, Marta Mieszkowska, Honorata Piłasiewicz

Redakcja językowa: Katarzyna Miller

Projekt okładki: Maciej Galiński

Projekt graficzny: Dorota Sameć, Paulina Tomaszewska

Realizacja projektu graficznego: Dorota Sameć

Fotoedycja: Beata Chromik

Nowa Era Sp. z o.o.

Al. Jerozolimskie 146D, 02-305 Warszawa

tel.: 22 570 25 80; faks: 22 570 25 81

infolinia: 801 88 10 10 (z telefonów stacjonarnych),

58 721 48 00 (z telefonów komórkowych)

www.nowaera.pl, e-mail: nowaera@nowaera.pl

Druk i oprawa: DRUK-INTRO S.A., Inowrocław



Jak korzystać z podręcznika?

Przypomnienie podstaw chemii

- **To było w gimnazjum** – na początku działu
- **Z zakresu podstawowego** – po wybranych działach

Oznaczenia stosowane w podręczniku

-  doświadczenia chemiczne do wykonania wyłącznie przez nauczyciela
-  substancje niebezpieczne, wykorzystane w doświadczeniu chemicznym
-  materiały umieszczone na płycie dołączonej do podręcznika
-  informacje dotyczące BHP

Wiadomości do zapamiętania

- **Definicje i wzory** – na marginesie
- **Zamiast repetytorium** – po każdym dziale

Zadania ułatwiające sprawdzenie wiadomości i ćwiczenie umiejętności

- **Przykłady** – zadania z opisaniem sposobu rozwiązania, związane tematycznie z danym działem
- **Rozwiąż zadania** – zadania rachunkowe i ćwiczenia do każdego tematu
- **Zadania maturalne** – zadania typu maturalnego do każdego działu
- **To było na maturze!** – wybrane zadania z arkuszy maturalnych do każdego działu

Wiadomości nadobowiązkowe

- **Wiadomości wykraczające poza wymagania podstawy programowej**
- **To jest interesujące** – ciekawostki, wyjaśnienia otaczających nas zjawisk

5 zasad skutecznego przygotowania do egzaminu maturalnego

1 Systematyczne powtarzanie wiadomości

To było w gimnazjum

– zagadnienia, których przypomnienie ułatwi poznawanie nowych wiadomości.

Z zakresu podstawowego – powtórzenie wiadomości obowiązujących na maturze.

2 Doskonalenie umiejętności praktycznych

Doświadczenia – opisane w podręcznikach i zilustrowane schematem oraz fotografią z czytelnie przedstawionymi obserwacją i wnioskiem – **uczą** umiejętności **opisu doświadczeń chemicznych**.

Niezbędnik maturzysty – publikacja z zasadami projektowania doświadczeń – **doskonalą** umiejętność opisu doświadczeń chemicznych.

3 Ćwiczenie zapisywania równań reakcji chemicznych

Niezbędnik maturzysty – publikacja z reakcjami charakterystycznymi i schematami przemian pierwiastków oraz związków chemicznych – umożliwi **powtórzenie** i **sprawdzenie** umiejętności zapisu równań reakcji chemicznych.

4 Rozwiązywanie zadań obliczeniowych i problemowych

Przykłady – zadania rozwiązane krok po kroku – ułatwiają **opanowanie** wielu sposobów **rozwiązywania zadań obliczeniowych**.

Rozwiąż zadania – zadania do każdego tematu – umożliwiają **ćwiczenie umiejętności** i **utrwalanie** nowych wiadomości.



5 Rozwiązywanie zadań typu maturalnego

Maturalne karty pracy – publikacja z przykładami zadań rozwiązanymi krok po kroku – **uczy** umiejętności wykonywania zadań typu maturalnego już od pierwszych lekcji.

Zadania maturalne – umożliwiają **ćwiczenie** umiejętności rozwiązywania zadań typu maturalnego po każdym dziale.

Matura-ROM – płyta z testami dołączona do podręcznika – ułatwia **samodzielną diagnozę** poziomu wiedzy.

To było na maturze! – zadania z egzaminów maturalnych pozwalają **sprawdzić poziom** przygotowania do egzaminu.

Spis treści

Szkło i sprzęt laboratoryjny	6	3.10. Tłuszcze	205
BHP	8	3.11. Aminy i amidy – związki organiczne zawierające azot	213
1. Chemia organiczna jako chemia związków węgla		Zamiast repetytorium	228
1.1. Węgiel i jego związki chemiczne	10	Zadania maturalne	238
1.2. Wykrywanie pierwiastków chemicznych w związkach organicznych	19	To było na maturze!	243
1.3. Metody rozdzielania mieszanin i oczyszczania związków chemicznych	24	4. Wielofunkcyjne pochodne węglowodorów	
Zamiast repetytorium	34	4.1. Izomeria optyczna	246
Zadania maturalne	38	4.2. Hydroksykwasy	258
To było na maturze!	40	4.3. Aminokwasy	265
2. Węglowodory		4.4. Białka	274
2.1. Węglowodory nasycone – alkany	42	4.5. Sacharydy (cukry)	283
2.2. Węglowodory nienasycone – alkeny	60	4.5.1. Monosacharydy – cukry proste	284
2.3. Węglowodory nienasycone – alkiny	72	4.5.2. Disacharydy – dwucukry	296
2.4. Węglowodory aromatyczne – areny.		4.5.3. Polisacharydy – wielocukry	302
Benzen	81	Zamiast repetytorium	308
2.5. Metylobenzen – toluen	92	Zadania maturalne	312
2.6. Areny wielopierścieniowe	98	To było na maturze!	317
2.7. Izomeria węglowodorów	101	Odpowiedzi do zadań rachunkowych	319
Zamiast repetytorium	106	Wzory i nazwy aminokwasów białkowych	320
Zadania maturalne	110	Reakcje charakterystyczne związków organicznych	322
To było na maturze!	114	Bibliografia	328
3. Jednofunkcyjne pochodne węglowodorów		Indeks polsko-angielski	330
3.1. Fluorowcopochodne węglowodorów	116		
3.2. Alkohole monohydroksylowe	129		
3.3. Alkohole polihydroksylowe	141		
3.4. Fenole	148		
3.5. Karbonylowe związki organiczne – aldehydy	159		
3.6. Karbonylowe związki organiczne – ketony	169		
3.7. Kwasy karboksylowe	177		
3.8. Wyższe kwasy karboksylowe	189		
3.9. Estry	195		

Szkło i sprzęt laboratoryjny

Wykonując doświadczenia chemiczne opisane w podręczniku, będziesz korzystać ze szkła i sprzętu laboratoryjnego. Najczęściej używane elementy wyposażenia pracowni chemicznej przedstawiono na fotografiach i schematach.



zlewka



bagietka

termometr



kolba kulista
okrągłodenna



lejki



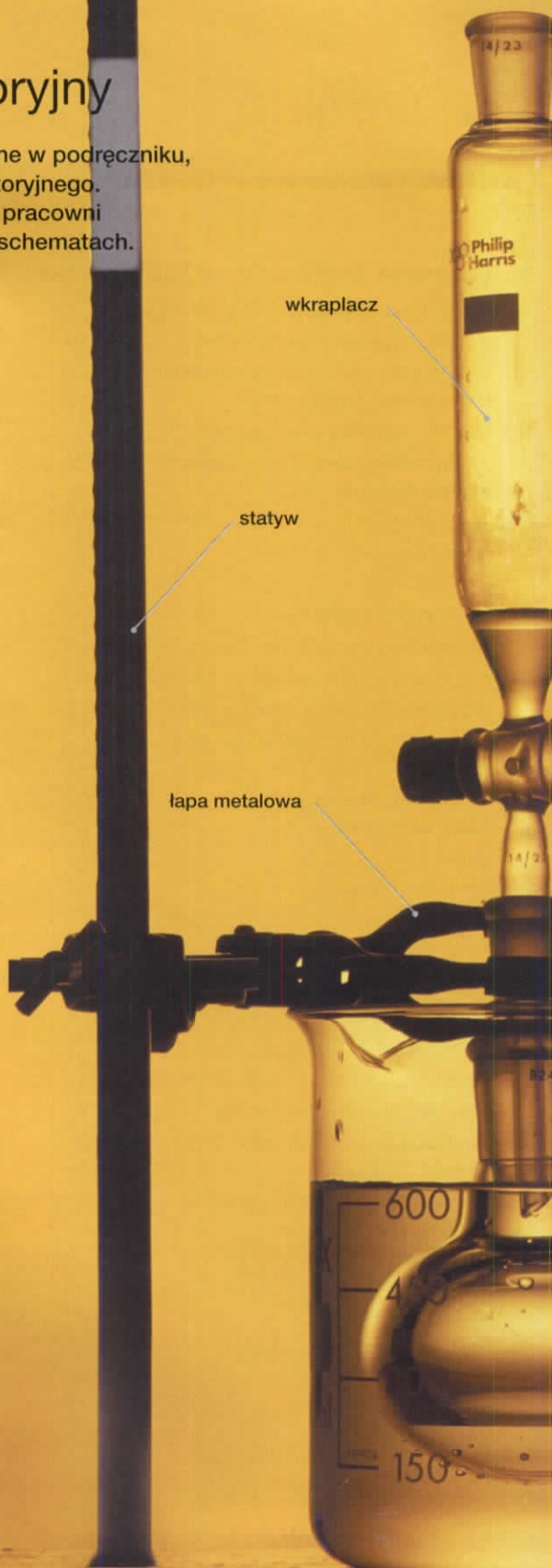
cylinder miarowy



szalka Petriego



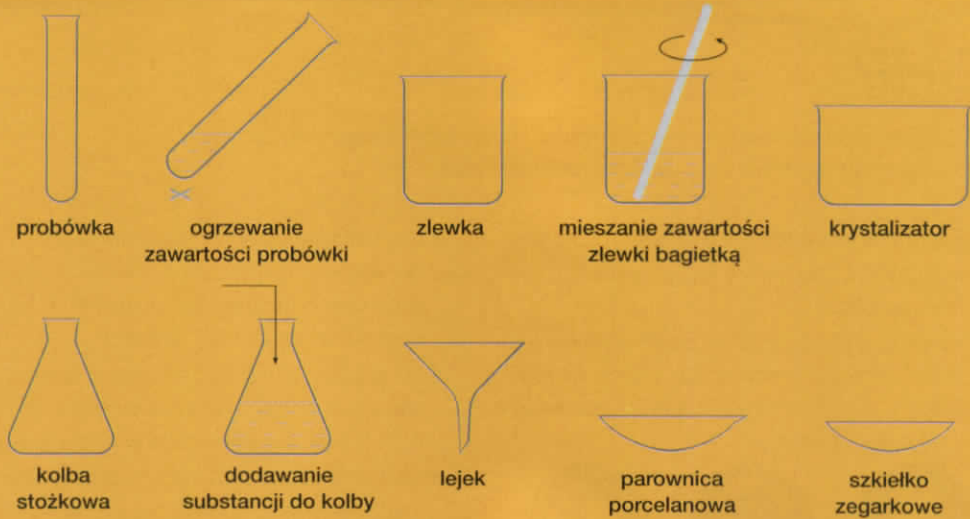
szkiełko zegarkowe



wkraplacz

statyw

łapa metalowa



zestaw laboratoryjny
do otrzymywania nitrobenzenu



BHP

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

- Wszystkie doświadczenia chemiczne należy wykonywać zgodnie ze wskazówkami nauczyciela.
- Na polecenie nauczyciela przed wykonaniem doświadczenia chemicznego należy założyć fartuch, okulary ochronne, a jeśli to konieczne – rękawice ochronne.
- Doświadczenia chemiczne należy przeprowadzać według instrukcji umieszczonej w podręczniku lub podanej przez nauczyciela.
- Wszystkie substancje stosowane do eksperymentów należy traktować jako potencjalnie trucizny: nie wolno ich dotykać, sprawdzać smaku ani zapachu.
- Na polecenie nauczyciela można sprawdzić zapach substancji przez skierowanie jej par ruchem wachlującym dłoni w stronę nosa.
- Podczas ogrzewania substancji w probówce należy 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.



Zagrożenia fizykochemiczne



substancje
wybuchowe



substancje
łatwo palne



substancje
utleniające



gazy
pod ciśnieniem



substancje
korodujące metale

Zagrożenia dla zdrowia



substancje
toksyczne



substancje
drażniące



substancje
rakovotwórcze,
mutagenne



substancje
żrące

Zagrożenia dla środowiska



substancje niebezpieczne
dla środowiska



Chemia organiczna jako chemia związków węgla

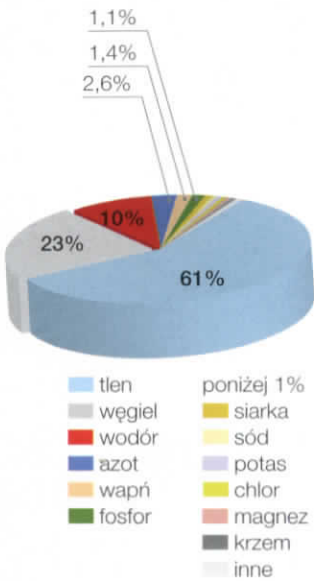
- 1.1. Węgiel i jego związki chemiczne
- 1.2. Wykrywanie pierwiastków chemicznych w związkach organicznych
- 1.3. Metody rozdzielania mieszanin i oczyszczania związków chemicznych

To było w gimnazjum

- Określanie budowy atomu węgla.
- Opisywanie właściwości fizycznych i chemicznych tlenku węgla(IV).
- Wykrywanie obecności tlenku węgla(IV).
- Opisywanie podstawowych metod rozdzielania mieszanin na składniki.



1.1. Węgiel i jego związki chemiczne



Rys. 1. Skład pierwiastkowy organizmu człowieka.

Teoria witalistyczna

– otrzymywanie związków organicznych jest związane ze szczególną siłą życiową.

Węgiel występuje we wszystkich organizmach. Jego zawartość w organizmie człowieka (rys. 1.) oraz różnorodność związków organicznych tworzonych z udziałem tego pierwiastka chemicznego powodują, że jest on uważany za chemiczną podstawę życia.

W skorupie ziemskiej węgiel występuje w postaci minerałów, takich jak: kalcyt, dolomit, magnezyt i syderyt (tabela 1.), oraz w postaci kopalnych paliw stałych, ropy naftowej i gazu ziemnego. Ponadto w formie czystego pierwiastka chemicznego tworzy m.in. diament, grafit oraz fulereny.

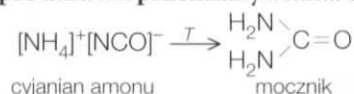
Chemia organiczna jako chemia związków węgla

Na początku XIX w. chemicy potrafili wytworzyć w laboratoriach wiele różnych związków chemicznych, m.in.: kwasy, tlenki, zasady oraz sole. Nie udało 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 powstać. Tę teorię nazwano **witalistyczną** [łac. *vis vitalis* ‘siła życiowa’], substancje – **organicznymi**, a dział chemii o nich traktujący – **chemią organiczną**.

Tabela 1. 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	MgCO ₃ · CaCO ₃	MgCO ₃	FeCO ₃
Fotografia				

Teoria witalistyczna powstawania substancji organicznych na wiele lat zahamowała rozwój chemii organicznej. Przełomowy moment nastąpił w 1828 r., gdy młody niemiecki chemik **Friedrich Wöhler** (fot. 1.) dokonał przemiany **związku nieorganicznego – cyjanianu amonu – w mocznik**. Jest on **końcowym produktem przemiany białka u ssaków**:



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 syntezы kolejnych związków organicznych, np.:

- kwasu etanowego – uzyskał go niemiecki chemik **Adolf Wilhelm Hermann Kolbe** w 1845 r.,
- tristéarynianu glicerolu (tłuszczu) – otrzymał go francuski chemik **Marcellin Pierre Eugéne Berthelot** w 1854 r.,
- sacharydów – zsyntetyzował je rosyjski chemik **Aleksandr Michajłowicz Butlerow** w 1861 r.

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**.

W przeciwieństwie do większości substancji nieorganicznych prawie wszystkie **związki organiczne są wrażliwe na działanie wysokiej temperatury**. Tylko nieliczne wytrzymują ogrzanie do temperatury 400°C, a w temperaturze powyżej 500°C następuje zwęglenie i rozkład większości z nich. Lekkie ogrzewanie związków organicznych stosuje się podczas reakcji chemicznych, ponieważ zwiększa ono ich szybkość.

Produktami pośrednimi większości reakcji chemicznych z udziałem związków organicznych są jony albo rodniki. Reakcje te można więc podzielić na **jonowe** oraz **rodnikowe**. Produktami pośrednimi reakcji jonowych są **karbokationy** lub **karboaniony**, czyli jony, w których ładunki znajdują się na atomach węgla. **Rodniki** to atomy lub grupy atomów zawierające niesparowany elektron.



Fot. 1. Wyniki Wöhlera przeczyły teorii witalistycznej.

Karbokation

– kation z ładunkiem dodatnim na atomie węgla.

Karboanion

– anion z ładunkiem ujemnym na atomie węgla.

To jest interesujące

Czerń z winorośli oraz czern kostna to pigmenty pochodzenia organicznego, wykorzystywane w wielu technikach malarskich. **Czerń z winorośli** jest pigmentem, zawierającym ok. 90% węgla. Otrzymuje się ją ze zwęglenia winorośli, korka, pestek, ewentualnie w procesie suchej destylacji drewna lipowego lub bukowego. **Czerń kostna** (fot. 2.) zawiera 10–15% węgla. Pozyskuje się ją w wyniku zwęglenia m.in.: kości, rogów, kopyt i ości rybich, w piecach bez dostępu powietrza.

Fot. 2. Czerń kostna jest wykorzystywana w kosmetyce, m.in. do produkcji czarnych tuszów do rzęs i kredek.



Niezwykłe właściwości węgla

Czysty węgiel pierwiastkowy występuje w kilku **odmianach alotropowych**. Najważniejsze z nich to: **grafit**, **diament**, **grafen** i **fulereny**. Odmiany alotropowe węgla różnią się hybrydyzacją orbitali atomowych, a więc liczbą wiązań i ich ułożeniem w przestrzeni oraz tworzoną siecią krystaliczną.

Diament

Jest zbudowany z atomów węgla o hybrydyzacji sp^3 . W sieci krystalicznej diamentu każdy atom węgla łączy się z czterema innymi atomami węgla. Nie przewodzi prądu elektrycznego. Jest odmianą alotropową węgla o największej gęstości ($d = 3,51 \frac{g}{cm^3}$).

Charakteryzuje się bardzo małą reaktywnością chemiczną i jest trudno topliwy.

Diament ogrzewany bez dostępu powietrza przechodzi w grafit. Jest odporny na działanie kwasów i zasad.



Grafit

Jest zbudowany z atomów węgla o hybrydyzacji sp^2 . Do tworzenia wiązań kowalencyjnych każdy atom węgla wykorzystuje trzy z czterech elektronów walencyjnych. Kąty między wiązaniami chemicznymi wynoszą 120° . Sieć krystaliczna grafitu składa się z warstw, w których występują sześciokątne pierścienie o wspólnych bokach. Niezwiązane elektrony w strukturze grafitu

(czwarty elektron atomu węgla na orbitalu niezhybrydowanym) powodują, że jako jedyny niemetal wykazuje on przewodnictwo elektryczne. Grafit jest łatwo łupliwy, nierozpuszczalny w rozpuszczalnikach polarnych, reaguje z utleniaczami, metalami aktywnymi chemicznie i bromem.

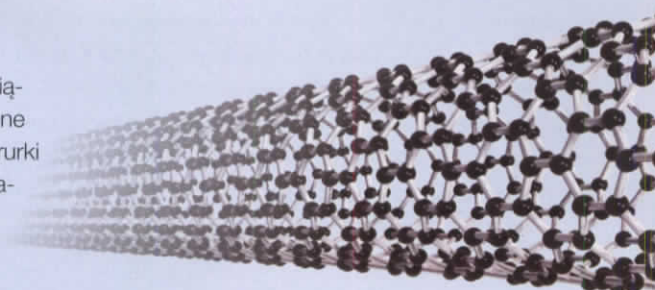
Grafen

Odmiana alotropowa węgla odkryta w 2004 r. Przewodzi prąd elektryczny lepiej od krzemu i jest dziesiątki razy wytrzymalsza od stali. Grafen jest przezroczysty, więc planuje się stosowanie go m.in. do produkcji ekranów, które będzie można łatwo odkształcać. Warstwa grafenu ma grubość równą średnicy atomu węgla.



Fulereny i nanorurki

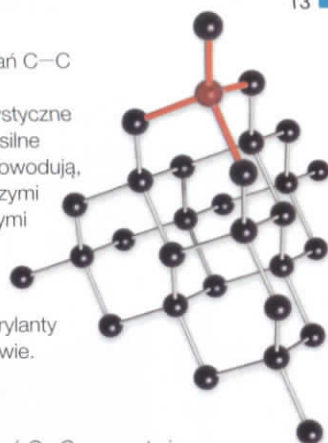
Jedna warstwa atomów węgla, połączonych wiązaniami kowalencyjnymi, tworzy kształty podobne do piłki futbolowej (fulereny) lub jest zwinięta w rurki (nanorurki). Fulereny i nanorurki reagują z utleniaczami, bromem i potasem. Mają właściwości podobne do węglowodorów aromatycznych.





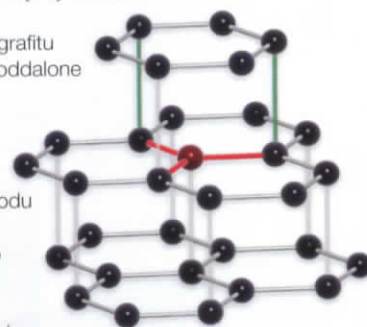
0,154 nm – długość wiązań C—C

Wiązania C—C charakterystyczne dla diamentów to bardzo silne wiązania kowalencyjne. Powodują, że diamenty są najtwardszymi substancjami występującymi na Ziemi. Diamenty najczęściej mają formę bezbarwnych kryształów, które szlifuje się i – jako brylanty – wykorzystuje w jubilerstwie.



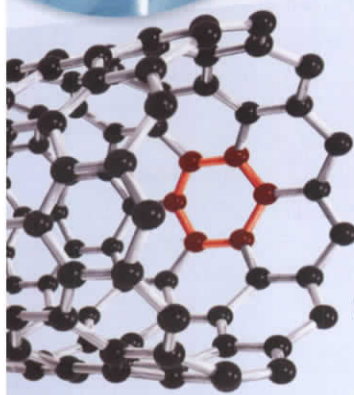
0,142 nm – długość wiązań C—C w warstwie
0,340 nm – odległość między warstwami

Warstwy w strukturze grafitu są znacznie od siebie oddalone i połączone słabymi oddziaływaniami van der Waalsa, dlatego łatwo je rozdzielić. Z tego powodu grafit jest miękki i łupliwy. Stosuje się go m.in. do wyrobu past i smarów oraz jako wypełnienie w ołówkach.

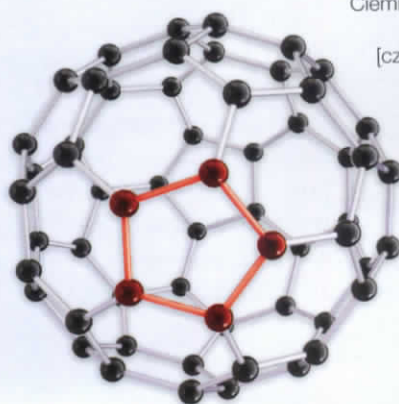


ok. 0,142 nm – długość wiązań C—C

Grafit jest zbudowany z pojedynczej warstwy atomów węgla, która przypomina plaster miodu. Atomy węgla są rozmieszczone w narożach sześciokąta foremnego.



Nanorurki są bardzo trwałe i wytrzymałe na rozciąganie. Mają też zdolność przewodzenia prądu elektrycznego i ciepła.



Ciemnobrązowe kryształy fulerenu C_{60} [czyt. ce sześćdziesiąt] rozpuszczają się m.in. w benzenie. Roztwór ten ma fioletową barwę.

Teoria strukturalna

– wyjaśnia zasady budowy
cząsteczek związków
organicznych.

Teoria strukturalna budowy związków organicznych

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

Twórcami tej teorii byli m.in. **Aleksandr Michajłowicz Butlerow** oraz **Friedrich August Kekulé**. Najważniejsze założenia teorii strukturalnej:

- atomy węgla w związkach organicznych są **czterowartościowe**,
- atomy węgla mogą **łączyć się ze sobą bezpośrednio**; dzięki temu tworzą cząsteczki zbudowane z łańcuchów lub pierścieni węglowych, zawierających dziesiątki lub setki tysięcy atomów węgla,
- atomy węgla mogą łączyć się ze sobą **wiązaniem pojedynczymi, podwójnymi i potrójnymi**,
- związki organiczne mogą zawierać inne pierwiastki chemiczne, takie jak **tlen, siarka, azot, fosfor i fluorowce**, które tworzą różnorodne połączenia, tzw. **grupy funkcyjne**, np.: $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{COOH}$.

W związkach organicznych mogą znajdować się też metale, np.: jon żelaza w cząsteczce hemoglobiny (fot. 3.), jon magnezu w cząsteczce chlorofilu (fot. 4.), jon kobaltu w witaminie B_{12} .



Fot. 3. Żelazo (w postaci jonu Fe^{2+}) w hemoglobinie, czerwonym barwniku znajdującym się w erytrocytach, ma zdolność wiązania tlenu i transportowania go do tkanek organizmu.



Fot. 4. Magnez (w postaci jonu Mg^{2+}) znajduje się w chlorofilu, którego cząsteczka aktywowana pod wpływem światła słonecznego rozpoczyna przemiany składające się na proces fotosyntezy.

Wzory związków organicznych

W chemii organicznej rzadko stosuje się **wzory sumaryczne** związków chemicznych. Dzieje się tak, ponieważ jeden wzór sumaryczny może odpowiadać kilku różnym związkom organicznym, np.:

- $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ to wzór sumaryczny etanolu ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) lub eteru dimetylowego (CH_3OCH_3),
- $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ to wzór sumaryczny kwasu etanowego (CH_3COOH) lub metanianu metylu (HCOOCH_3).

W celu jednoznacznego określenia budowy cząsteczek związków organicznych stosuje się wzory, które uwzględniają sposób połączenia poszczególnych atomów (tabela 2., s. 15). Najdokładniejszy z nich jest **wzór strukturalny**. Są w nim uwzględnione wszystkie atomy pierwiastków chemicznych oraz wszystkie wiązania występujące w cząsteczce danego związku chemicznego.

Wzór sumaryczny

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

Wzór strukturalny

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

We **wzorze półstrukturalnym**, nazywanym także **wzorem grupowym**, liczbę atomów wodoru przyłączonych do atomu węgla sumuje się i zapisuje w indeksie dolnym. Wzór ten zawiera najistotniejsze informacje na temat cząsteczki związku chemicznego. Jest on najczęściej stosowanym wzorem w zapisie równań reakcji chemicznych.

Wzory półstrukturalne można przedstawić w prostszy sposób, zapisując w nawiasie powtarzające się fragmenty cząsteczki. Wówczas jest to **wzór półstrukturalny uproszczony**.

W chemii organicznej stosuje się także **wzory szkieletowe**, nazywane również **wzorami kreskowymi**, w których zaznacza się tylko szkielet cząsteczki. We wzorach szkieletowych:

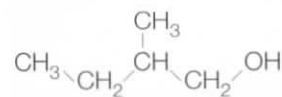
- nie zaznacza się ani atomów węgla, ani połączonych z nimi atomów wodoru,
- pojedyncza kreska oznacza wiązanie pojedyncze, podwójna – wiązanie podwójne, potrójna – wiązanie potrójne,
- atomy węgla znajdują się w punktach, w których łączą się odcinki linii łamanych oraz na końcach tych linii,
- każdy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

Wzór półstrukturalny (grupowy)

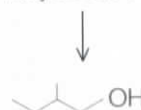
– nie uwzględnia wiązań węgiel-wodór.

Wzór szkieletowy (kreskowy)

– pomija atomy węgla i wodoru występujące w szkielecie cząsteczki.



wzór półstrukturalny
2-metylobutan-1-olu



wzór szkieletowy
2-metylobutan-1-olu

Tabela 2. Sposoby zapisu wzorów związków organicznych

Wzór sumaryczny i nazwa systematyczna związku chemicznego	Wzór strukturalny	Wzór półstrukturalny (grupowy)	Wzór półstrukturalny uproszczony	Wzór szkieletowy (kreskowy)
C_4H_{10} butan	<pre> H H H H H - C - C - C - C - H H H H H </pre>	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$	$CH_3-(CH_2)_2-CH_3$	
$C_4H_{10}O$ butan-1-ol	<pre> H H H H H - C - C - C - C - OH H H H H </pre>	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-OH$	$CH_3-(CH_2)_3-OH$	
C_4H_8 cyklobutan	<pre> H H H - C - C - H H - C - C - H H H </pre>	<pre> H2C-CH2 H2C-CH2 </pre>	—	
$C_4H_8O_2$ kwas butanowy	<pre> H H H H - C - C - C - C(=O)OH H H H </pre>	$CH_3-CH_2-CH_2-COOH$	$CH_3-(CH_2)_2-COOH$	

tlenek węgla(II) CO

tlenek węgla(IV) CO₂kwas węglowy H₂O + CO₂

kwas cyjanowy HOCN

kwas cyjanowodorowy HCN

Nieorganiczne związki węgla

Niektóre związki węgla zalicza się do związków nieorganicznych. Należą do nich: **tlenki, kwasy** – węglowy, cyjanowy, cyjanowodorowy – oraz ich **sole**.

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

! Tlenek węgla(II), nazwany potocznie czadem, jest bardzo toksycznym gazem. Trwale łączy się z jonem żelaza Fe²⁺, 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.

Tlenek węgla(IV) jest gazem bezbarwnym i bezwonnym, o gęstości ok. 1,5 raza większej od gęstości powietrza. Powstaje w wyniku reakcji spalania całkowitego węgla oraz związków organicznych. Jest też produktem oddychania. Stosunkowo łatwo, w temperaturze –78,5°C, zestala się w śnieżnobiałą masę, nazywaną **suchym lodem** (fot. 5.).

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



Fot. 5. Suchy lód łatwo sublimuje.

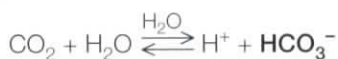
To jest interesujące

Tlenek węgla(IV) stosuje się do uzyskania efektownej scenografii. Rozprężony, ciekły tlenek węgla(IV) wypuszcza się wąskimi dyszami. Powoduje to powstawanie spektakularnych słupów pary (fot. 6.), które można podświetlić na dowolny kolor. Wytwornice dymu CO₂ – urządzenia wywołujące efekt szybko znikającej chmury dymu – to po prostu gaśnice uzbrojone w specjalny zawór sterowany elektrycznie. Dzięki niemu można idealnie zsynchronizować efekt wizualny z muzyką.

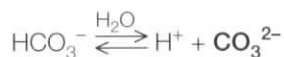


Fot. 6. Słupy par tlenku węgla(IV) mogą osiągać nawet 8 m wysokości.

Tlenek węgla(IV) dość dobrze rozpuszcza się w wodzie, zwłaszcza pod zwiększonym ciśnieniem. Powstaje wówczas kwas węglowy, który jest **bardzo słabym** kwasem – dysocjuje w ok. 0,2%:

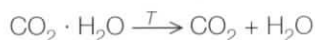


anion wodorowęglanowy

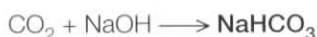


anion węglanowy

Kwas węglowy jest **nietrwały**. Gdy jego stężenie jest większe niż 0,002%, ulega rozkładowi, który można przedstawić równaniem:



Z tego powodu do otrzymywania soli wykorzystuje się tlenek węgla(IV), który jako tlenek kwasowy, łatwo reaguje z zasadami, np.



wodorowęglan sodu



węglan sodu

Węglany to sole kwasu węglowego. Wyróżnia się **węglany obojętne**, zawierające jon CO_3^{2-} , lub **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.

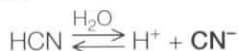
węglan wapnia CaCO_3 wapno palone CaO węglan sodu Na_2CO_3

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

! Kwas cyjanowodorowy jest jedną z najsilniej działających trucizn.

kwas cyjanowodorowy
HCN

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

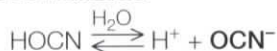


anion cyjanowy

Cyanki to sole kwasu cyjanowodorowego.

! Cyanki są związkami bardzo toksycznymi. Cyanki litowców i berylowców są dobrze rozpuszczalne w wodzie.

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

kwas cyjanowy HCN 

anion cyanianowy

Cyjaniany to sole kwasu cyjanowego.



To jest interesujące

Pochodne kwasu cyjanowodorowego występują w niektórych gatunkach fasoli, w korze wiśni oraz w pestkach owoców, m.in.: brzoskwiń, moreli, wiśni, jabłek i śliwek oraz gorzkich migdałów (fot. 7.). Jeden gorzki migdał zawiera ok. 1 mg tego kwasu. Dla dziecka dawką śmiertelną może być 10 gorzkich migdałów, dla dorosłego człowieka – 50. Gorzka odmiana migdałów nie nadaje się do spożycia bez odpowiedniej obróbki. Kwas cyjanowodorowy jest usuwany z nasion przez prażenie, pieczenie lub gotowanie.

Fot. 7. Gorzkie migdały zawierają związek chemiczny, **amigdalinę**. Substancja ta łatwo ulega rozkładowi, w którego wyniku powstaje m.in. bardzo toksyczny kwas cyjanowodorowy.

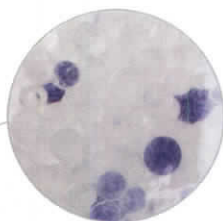
Rozwiąż zadania

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.

$$\text{C} \xrightarrow{1} \text{CO} \xrightarrow{2} \text{CO}_2 \xrightarrow{3} \text{NaHCO}_3 \xrightarrow{4} \text{Na}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{5} \text{CO}_2$$
3. Węglan sodu można otrzymać m.in. w wyniku reakcji wodorowęglanu sodu z amoniakiem.
Napisz równanie tej 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.
5. **Napisz równanie reakcji stężonego roztworu kwasu siarkowego(VI) z węglem**, wiedząc, że wśród produktów tej reakcji chemicznej są dwa gazy: jeden – bezwonny, powodujący zmętnienie wody wapiennej, a drugi – o charakterystycznej ostrej woni, będący tlenkiem kwasowym pewnego nietrwałego kwasu.
6. Kwas krzemowy H_2SiO_3 służy m.in. do produkcji żelu krzemionkowego, tzw. silikażelu, stosowanego jako pochłaniacz wilgoci. **Oblicz, ile decymetrów sześciennych CO_2** , odmierzonego w warunkach normalnych, należy wprowadzić do 100 cm^3 roztworu krzemianu sodu Na_2SiO_3 o stężeniu $C_m = 0,5 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$, aby całkowicie wytrącić kwas krzemowy.



silikażel



granulki
silikażelu

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

1.2. Wykrywanie pierwiastków chemicznych w związkach organicznych

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

Aby poznać budowę związków organicznych, wykonuje się ich:

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

Pierwiastki chemiczne, które mogą wchodzić w skład cząsteczek związków organicznych:

1	2																18
1	2																K
2																	L
3			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					M
4																	N
5																	O
6																	P
7																	Q

Wzory 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. Ustal wzór empiryczny tego związku chemicznego.

Aby określić wzór empiryczny, należy zapisać wzór cząsteczki w postaci:



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:

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

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

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

Obliczanie ze wzoru:

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

Stosunek molowy $n_C : n_H : n_O = 3,33 : 6,7 : 3,33 = 1 : 2 : 1$

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

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

Wzór empiryczny nie określa faktycznej liczby atomów w cząsteczce związku chemicznego. Informuje jedynie, że na jeden atom węgla w cząsteczce związku chemicznego przypadają dwa atomy wodoru i jeden atom tlenu.

Odp.: Wzór empiryczny związku chemicznego: CH_2O .

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

Przykład 2.

Ustalanie wzoru rzeczywistego przy znanym wzorze elementarnym
Napisz wzór rzeczywisty związku chemicznego, którego wzór elementarny ma postać CH_2O , a masa cząsteczkowa wynosi 30 u. Wzór rzeczywisty ma postać $(\text{CH}_2\text{O})_n$.

Postać wzoru rzeczywistego wskazuje, że jest on wielokrotnością wzoru elementarnego, zatem:

$$n = \frac{m_{(\text{CH}_2\text{O})_n}}{m_{(\text{CH}_2\text{O})}} = \frac{30}{30} \quad \left[\frac{\text{u}}{\text{u}} \right]$$

$$n = 1$$

Wynika stąd, że wzór rzeczywisty cząsteczki tego związku chemicznego jest identyczny z jego wzorem elementarnym.

Odp.: Wzór rzeczywisty związku chemicznego: CH_2O .

Przykład 3.

Ustalanie wzoru rzeczywistego przy znanym wzorze elementarnym
Napisz wzór rzeczywisty związku chemicznego, którego wzór elementarny ma postać CH_2O , a masa cząsteczkowa wynosi 180 u. Wzór rzeczywisty ma postać $(\text{CH}_2\text{O})_n$.

$$(\text{CH}_2\text{O})_6 = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \quad n = \frac{m_{(\text{CH}_2\text{O})_n}}{m_{(\text{CH}_2\text{O})}} = \frac{180}{30} \quad \left[\frac{\text{u}}{\text{u}} \right]$$

$$n = 6$$

Odp.: Wzór rzeczywisty związku chemicznego: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.

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 $y : z = 2 : 1$. Określ wzór empiryczny tego związku chemicznego.

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

$$y = 5 \text{ ————— } z = ?$$

$$y = 2 \text{ ————— } z = 1$$

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

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

Współczynniki muszą być najprostszymi liczbami całkowitymi, czyli:

$$x : y : z = 6 : 10 : 5$$

Wzór empiryczny ma zatem postać $C_6H_{10}O_5$.

Odp.: 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.

Doświadczenie 1. $Ca(OH)_2$

Wykrywanie obecności węgla, wodoru i tlenu w substancji organicznej

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. Co obserwujesz?



Podczas ogrzewania probówki wydziela się gaz. Po dłuższym ogrzewaniu próbka ulega zwęgleniu, a na ściankach probówki 1. skrapla się bezbarwna ciecz (fot. 8.). Wydzielający się gaz powoduje mętnienie wody wapiennej.

Fot. 8. Wykrywanie węgla, wodoru i tlenu w ziarnach kaszy.

Najważniejsze pierwiastki chemiczne, będące składnikami substancji organicznych:

1	2																18
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			13	14	15	16	17	
19	20																
21	22																
23	24																
25	26																
27	28																

Gaz, który powstał w wyniku ogrzewania substancji organicznej, to tlenek węgla(IV). Zwęglenie próbki świadczy o obecności węgla w badanej substancji. Skroplona ciecz to para wodna, której obecność jest wynikiem reakcji chemicznej. Zachodzi ona między atomami wodoru, znajdującymi się w substancji organicznej, a cząsteczkami tlenu zawartymi w powietrzu:



atomy wodoru
z substancji organicznej

Obecność tlenu wykrywa 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 pomiędzy masą próbki a masą węgla i wodoru w próbce to masa tlenu.

Doświadczenie 2.



NaOH , HNO_3



HNO_3



!



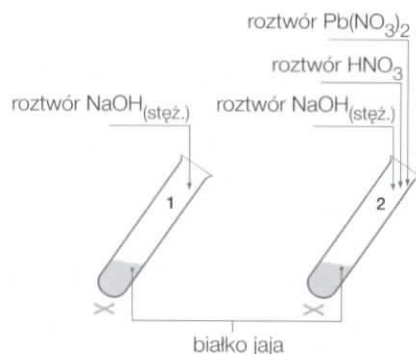
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

Wykrywanie siarki i azotu w substancji organicznej

! Zachowaj szczególną ostrożność podczas nalewania roztworu azotan(V) ołowiu(II) i stężonego roztworu kwasu azotowego(V).

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 roztworu kwasu azotowego(V) w celu zobojętnienia mieszaniny poreakcyjnej. Dodaj ok. 1 cm^3 roztworu azotan(V) ołowiu(II) i ogrzewaj.

Co obserwujesz?



Najważniejsze pierwiastki chemiczne, będące składnikami białek:

1	2																18
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			13	14	15	16	17	
19	20																
21	22																
23	24																
25	26																
27	28																

W próbce 1. wydzielił się gaz o charakterystycznym ostrym zapachu. W próbce 2. strącił się czarny osad.

Gazem, który wydzielil się w próbce 1., jest amoniak NH_3 . Natomiast osad w próbce 2. to siarczek ołowiu(II) PbS . W skład białka wchodzi zatem azot i siarka. Poza tymi pierwiastkami chemicznymi białko zawiera głównie węgiel, wodór i tlen.

To jest interesujące

Wartość energetyczna żywności to ilość energii, którą organizm może przyswoić w wyniku strawienia tej żywności (fot. 9.). Na początku XX w. Departament Rolnictwa Stanów Zjednoczonych [ang. *United States Department of Agriculture*] opracował sposób mierzenia wartości energetycznej żywności, który jest stosowany do dziś. Badaną żywność spala się całkowicie w kalorymetrze i mierzy uwolnione ciepło. W ten sposób określa się **całkowitą wartość energetyczną żywności**. Następnie dokonuje się odpowiedniej korekty na podstawie rzeczywistego sposobu przyswajania energii przez człowieka. Na przykład 1 g sacharozy uwalnia ok. 3,95 kcal **całkowitej energii**, ale **współczynnik przyswajalności** dla sacharozy wynosi u człowieka ok. 98%. Wartość energetyczna sacharozy wynosi zatem $3,87 \frac{\text{kcal}}{\text{g}}$.



Fot. 9. Wartość energetyczną produktów żywnościowych wyraża się w kilodżulach na gram produktu ($\frac{\text{kJ}}{\text{g}}$) lub w kilokaloriach na gram ($\frac{\text{kcal}}{\text{g}}$).

Rozwiąż zadania

- W wyniku całkowitego spalania 6,51 g związku chemicznego węgla z wodorem otrzymano 20,47 g tlenku węgla(IV) i 8,36 g wody.
 - Oblicz skład procentowy tego związku chemicznego.
 - Ustal jego wzór empiryczny.
- Analizy jakościowa i ilościowa wykazały, że pewien związek organiczny zawiera 92,3% węgla i 7,7% wodoru. Jego masa cząsteczkowa wynosi 78 u. **Ustal wzory empiryczny oraz rzeczywisty tego związku chemicznego.**
- W związku organicznym $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$ 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.**
- Napisz wzór sumaryczny związku organicznego**, jeśli jego wzór elementarny to CH , masa cząsteczkowa wynosi 104 u, a wzór rzeczywisty ma postać $(\text{CH})_n$.
- Ustal wzór rzeczywisty związku organicznego**, wiedząc, że stosunek masowy pierwiastków chemicznych w tym związku chemicznym wynosi: $\text{C} : \text{H} : \text{O} = 6 : 1 : 8$, a masa molowa jest równa $180 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$.
- Napisz obserwacje i sformułuj wniosek** do doświadczenia przedstawionego na fotografii.



Wykrywanie pierwiastków chemicznych w mące

1.3. Metody rozdzielania mieszanin i oczyszczania związków chemicznych



Fot. 10. Głównym źródłem miedzi w przyrodzie jest **chalkopiryt** – mineral o wzorze sumarycznym CuFeS_2 .

Krystalizacja

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

Związki chemiczne występują w przyrodzie najczęściej w postaci minerałów (fot. 10.) oraz ich mieszanin. Mieszaniny związków chemicznych powstają często w reakcjach syntezy. Aby zidentyfikować substancję, należy dysponować czystą próbką. Nawet niewielkie ilości domieszek (zanieczyszczeń) mogą bowiem w zasadniczy sposób wpływać na właściwości badanej próbki i uniemożliwić identyfikację rozdzielanych substancji. W procesie rozdzielania i oczyszczania mieszanin substancji wykorzystuje się różnice we właściwościach związków chemicznych, np.: różnice w ich rozpuszczalności, temperaturze wrzenia, prężności par czy odmienne oddziaływania z danymi substancjami.

Najprostsze metody rozdzielania mieszanin niejednorodnych na składniki to: sedymentacja, dekantacja i sączenie.

■ Krystalizacja

Do oczyszczania substancji można wykorzystać proces **krystalizacji** (fot. 11.), podczas którego z roztworu nasyconego wytrącają się kryształy substancji w nim rozpuszczonej.

Oczyszczanie mieszaniny w procesie krystalizacji polega na rozpuszczeniu zanieczyszczonej próbki w rozpuszczalniku o temperaturze bliskiej temperaturze wrzenia rozpuszczalnika, tak aby otrzymany roztwór osiągnął jak największe stężenie. Następnie gorący roztwór odsącza się od nierozpuszczalnych zanieczyszczeń. Pozostały roztwór, tzw. **przesącz**, pozostawia się do ostygnięcia.

Powolne oziębianie sprzyja tworzeniu się dużych kryształów, które suszy się po odsączeniu.



Fot. 11. W wyniku krystalizacji chlorku sodu, zachodzącej wzdłuż brzegów Wielkiego Jeziora Słonego w zachodniej części USA, w stanie Utah, pozyskuje się ok. 2,5 mln t soli rocznie.

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.

Rozpuszczalnik (tabela 3.) użyty do wykrystalizowania substancji z jej roztworu musi mieć określone właściwości:

- wraz ze wzrostem temperatury rozpuszczalnika rozpuszczalność substancji powinna się znacznie zwiększać,
- występujące w roztworze zanieczyszczenia nie powinny rozpuszczać się w rozpuszczalniku,
- powinien być niepalny i nietoksyczny,
- powinien mieć niską temperaturę wrzenia.

Tabela 3. 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)	C_2H_5OH	78	
Propanon (aceton)	CH_3COCH_3	56	
1,2-dichloroetan (chlorek etylenu)	CH_2ClCH_2Cl	84	
Kwas etanowy** (kwas octowy)	CH_3COOH	118	
Etanian etylu (octan etylu)	$CH_3COOC_2H_5$	77	
Trichlorometan (chloroform)	$CHCl_3$	62	
Eter dietylowy (eter)	$C_2H_5OC_2H_5$	34	
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.

Oczyszczanie mieszaniny w procesie krystalizacji

W procesie syntezy organicznej otrzymuje się produkty zanieczyszczone innymi substancjami. Do ich usunięcia wykorzystuje się proces krystalizacji. Kryształy oczyszczonej substancji suszy się na powietrzu, w suszarce lub w zamkniętym naczyniu, tzw. eksykatorze.



◀ Zanieczyszczoną substancję rozpuszcza się w rozpuszczalniku o temperaturze bliskiej wrzenia.



▲ Rozpuszcza się taką ilość substancji, aby otrzymać roztwór nasycony o jak największym stężeniu, czyli roztwór, w którym nie można już rozpuścić więcej substancji.

Zastosowanie procesu krystalizacji

Podczas wyodrębniania związku chemicznego z roztworu z wykorzystaniem procesu krystalizacji wydziela się energia na sposób ciepła. Jest to więc proces egzotermiczny. Często tak pozyskaną energię wykorzystuje się m.in. w ogrzewaczach termicznych.



▲ Do przesyconego roztworu CH_3COONa dodaje się niewielki kryształ substancji, tzw. **zarodek krystalizacji**.



▲ Dodanie zarodka powoduje błyskawiczną krystalizację soli.



◀ Gorący roztwór odsącza się od nierozpuszczalnych zanieczyszczeń oraz substancji, która się nie rozpuściła.



▲ Pozostałą ciecz, tzw. przesącz, pozostawia się do ostygnięcia i wykrystalizowania.



▲ Krystalizujący CH_3COONa wydzielają energię na sposób ciepła.



▲ Sól krystalizuje w bardzo krótkim czasie – kryształy CH_3COONa wypełniają całą objętość naczynia.

Sublimacja

– przemiana substancji stałej bezpośrednio w stan gazowy.

Wybrane substancje, które **łatwo sublimują**: $\text{CO}_{2(s)}$, HgCl_2 , NH_4Cl , I_2 .

Sublimacja i resublimacja

Do oczyszczania i rozdzielania mieszanin stosuje się m.in. **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.

Zjawiskiem odwrotnym do sublimacji jest **resublimacja**. Łatwo sublimują m.in.: suchy lód (zestalony CO_2), kamfora, chlorek rtęci(II), chlorek amonu oraz jod (fot. 12.).



Pary jodu łatwo zestalić na chłodnej powierzchni – jest to proces resublimacji.

Fot. 12. Jod szybciej sublimuje po podgrzaniu, czego skutkiem są fioletowe opary.



Fot. 13. Siarka otrzymana w procesie resublimacji ma postać drobnitkich kryształków i jest nazywana **kwiatem siarczanym**.

Sublimację wykorzystuje się do oczyszczania i rozdzielania mieszanin niektórych związków chemicznych o stałym stanie skupienia. W tym celu mieszaninę zawierającą sublimowaną substancję ogrzewa się w zamkniętym naczyniu. Powierzchnię, która zamyka otwór naczynia z sublimującą substancją, chłodzi się najczęściej wodą. Powstające pary związku chemicznego ulegają resublimacji na chłodnej powierzchni zamykającej otwór naczynia albo w osobnym naczyniu, do którego mogą być kierowane strumieniem obojętnego gazu. Przykładem resublimacji jest powstawanie żółtego proszku siarki (fot. 13.). Tworzy się on po gwałtownym ostudzeniu ciemnobrunatnych par, które powstają nad stopioną siarką.

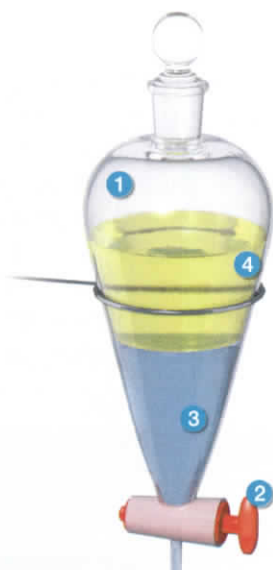
Sublimację stosuje się np. do wyodrębniania kofeiny z herbaty czy kawy. Sublimacja stanowi także podstawę procesu liofilizacji, czyli suszenia zamrożonych produktów żywnościowych.

■ Ekstrakcja

Jedną z metod oczyszczania substancji jest **ekstrakcja**. Wykorzystuje się w niej różną rozpuszczalność związku chemicznego w dwóch niemieszających się cieczach. Jedna z cieczy wymywa pożądany składnik z mieszaniny stałej lub ciekłej (fot. 14.), nie rozpuszczając przy tym innych składników mieszaniny, które pozostają rozpuszczone w drugiej cieczy.

Ekstrakcję przeprowadza się w rozdzielaczu z użyciem dwóch niemieszających się ze sobą cieczy, np. wody i chloroformu lub wody i eteru naftowego. Po energicznym wymieszaniu zawartości rozdzielacz pozostawia się w statywie, aby obie ciecze się rozwarstwiły. Następnie odlewa się rozpuszczalnik wraz z rozpuszczonym w nim związkiem chemicznym od pozostałych substancji (rys. 2.).

Po usunięciu nadmiaru rozpuszczalnika wyekstrahowany związek chemiczny krystalizuje z roztworu. Rozpuszczalniki stosowane do ekstrakcji dobiera się doświadczalnie. Korzystniejsze jest kilkukrotne powtórzenie ekstrakcji z mniejszymi, świeżymi porcjami rozpuszczalników niż jednokrotne stosowanie dużej ich ilości.



- 1 rozdzielacz
- 2 kranik odcinający
- 3 oddzielona substancja w rozpuszczalniku
- 4 pozostałe substancje

Rys. 2. Rozdzielanie składników mieszaniny metodą ekstrakcji.

Ekstrakcja

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



Fot. 14. W trakcie parzenia herbaty substancje smakowe i aromatyczne, które znajdują się w jej liściach, są wymywane przez gorącą wodę.

To jest interesujące

Biopaliwo (fot. 15.) można uzyskać domowym sposobem za pomocą ekstrakcji. Oprócz rozdzielacza o pojemności 2 l potrzebne są do tego m.in. olej roślinny, wodorotlenek sodu (znajdujący się np. w preparacie do udrożniania rur) oraz metanol (zawarty np. w odmrażaczu do szyb). Więcej szczegółów na temat otrzymywania biodiesla na małą skalę można znaleźć pod adresem:

www.chemistryland.com/Biodiesel/SmallScale/smallScaleProductionBiodiesel.htm

Fot. 15. Ekstrakcja jest jednym z etapów otrzymywania biopaliwa na skalę przemysłową.



To jest interesujące

Ekstrakcja to również proces prowadzony w układzie ciecz-substancja stała. Jego przykładem jest pozyskiwanie olejków eterycznych metodą **enfleurage** [czyt. *ãfluraż*, fr. *enfleurage* 'nawanianie']. Pachnące części rośliny (najczęściej płatki) umieszcza się w tłuszczu, który wchłania ich zapach (fot. 16.). Płatki kwiatów zanurzone w tłuszczu zostawia się na pewien czas, aby uwolniły olejki eteryczne. Powstały produkt to **pomada**, którą następnie topi się w jak najniższej temperaturze. Stopioną pomadę miesza się z alkoholem – zachodzi ekstrakcja. Olejki eteryczne przechodzą z tłuszczu do alkoholu, który jest dla nich rozpuszczalnikiem. Mieszanina alkoholu i olejku to ekstrakt, który chłodzi się do temperatury ok. -15°C . Chłodzenie ułatwia oddzielenie tłuszczów od ekstraktu. Ostatnim etapem otrzymywania olejków jest odparowanie rozpuszczalnika pod zmniejszonym ciśnieniem. Ekstraktami są różnego rodzaju wywary, wyciągi ziołowe, eliksiry i nalewki.

Fot. 16. W metodzie enfleurage stosuje się najczęściej mieszaninę łojów wieprzowego i wołowego.

Destylacja

– rozdzielanie składników mieszaniny ciekłej jednorodnej z wykorzystaniem różnic w temperaturze wrzenia cieczy wchodzących w skład tej mieszaniny.

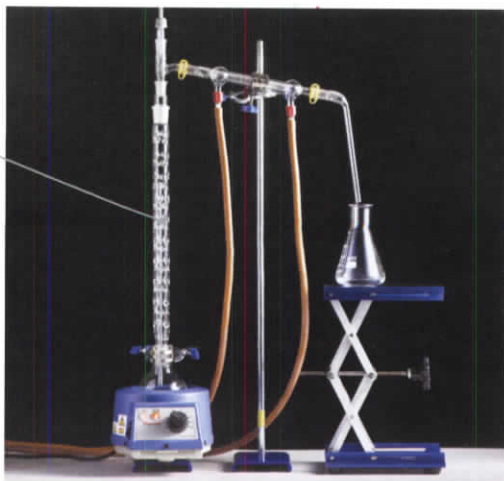
Destylacja

Do rozdzielania i oczyszczania mieszaniny cieczy stosuje się **destylację**. 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.

W celu dokładnego rozdzielania cieczy stosuje się kolumny destylacyjne. Zachodzi w nich ciągły proces częściowego odparowywania cieczy i częściowego skraplania par, nazywany **destylacją frakcjonowaną** (frakcyjną) lub **rektyfikacją** (fot. 17.).

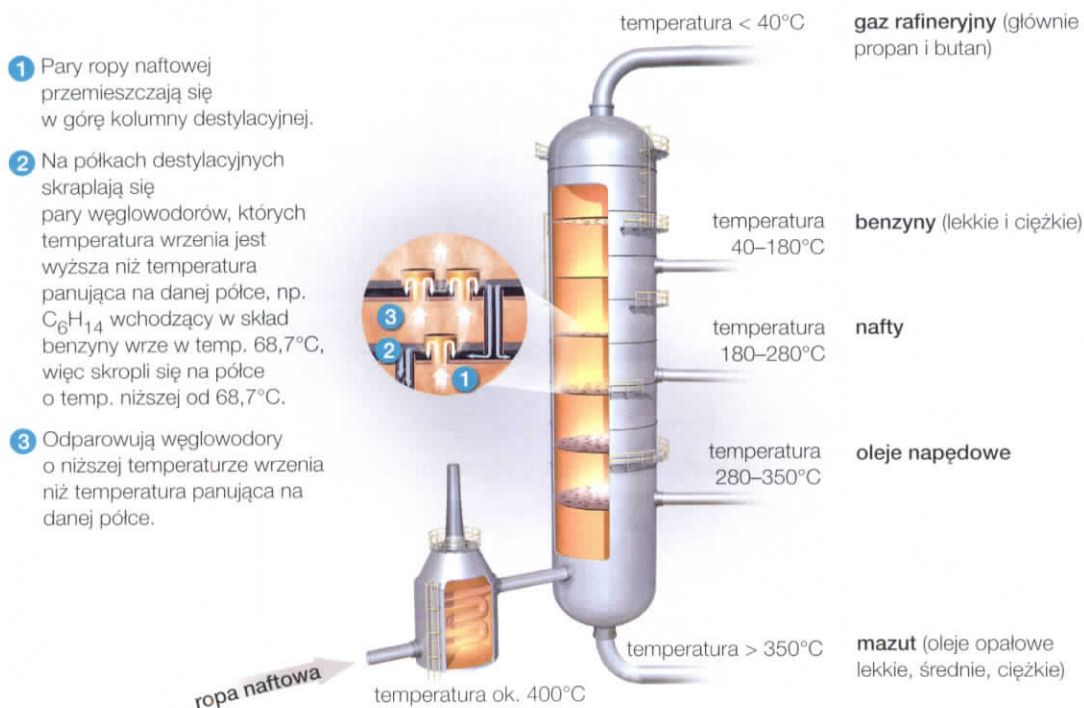


półki
w kolumnie
destylacyjnej



Fot. 17. Zestaw laboratoryjny do przeprowadzania rektyfikacji ropy naftowej.

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** (rys. 3.). Im więcej półek ma kolumna, tym lepsze jest rozdzielanie ciekłej mieszaniny na składniki.



Rys. 3. Kolumna rektyfikacyjna procesu destylacji ropy naftowej.

Wysokowrzące ciecze często ulegają rozkładowi lub innej przemianie chemicznej w temperaturze wrzenia pod normalnym ciśnieniem. Aby temu zapobiec, prowadzi się **destylację pod zmniejszonym ciśnieniem**. W takich warunkach temperatura wrzenia cieczy ulega obniżeniu, a to pozwala na bezpieczne rozdzielanie ciekłej mieszaniny na składniki.

Destylacja jest popularną metodą: wyodrębniania związków organicznych z mieszanin poreaacyjnych, 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.

Chromatografia

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

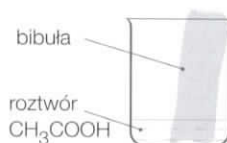
Chromatografia

Chromatografia jest najbardziej rozpowszechnioną metodą rozdzielania mieszanin związków organicznych i ich analizy. Pierwszy raz rozdzielenia substancji metodą chromatograficzną dokonał w 1905 r. w Warszawie rosyjski botanik i chemik **Michaił Cwiet** (1872–1919), profesor Politechniki Warszawskiej. Zauważył on, że stosowany do rozcierania liści węglan wapnia zatrzymuje barwniki roślinne z wyjątkiem karotenu. Dostrzegł także, że chloroformowy ekstrakt soku roślinnego przepuszczony przez sproszkowaną kredę, umieszczoną w wąskiej rurze, rozdziela się na szereg kolorowych frakcji. Po usunięciu warstwy kredy z kolumny frakcje te można rozdzielić i wyodrębnić poszczególne składniki soku roślinnego. Miesiące doświadczeń pozwoliły Cwietowi na opracowanie nowej metody rozdzielania związków barwnych, nazwanej w 1906 roku przez wynalazcę chromatografią [gr. *chromatos* 'barwa' i *grapho* 'pisze']. Stosowanie tej metody pozwoliło Cwietowi udowodnić istnienie w roślinach dwóch odmian chlorofilu i kilku odmian ksantofilu (pochodnych karotenu).

Doświadczenie 3.**Rozdzielanie składników tuszu metodą chromatografii bibułowej**

Do zlewki nalej octu na wysokość ok. 1 cm. Na pasku bibuły filtracyjnej narysuj grubą kreskę czarnym flamastrem (można użyć też 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.

Co obserwujesz?



Powstała różnobarwna smuga (fot. 18.).

Tusz jest mieszaniną substancji o różnych barwach, które z różną szybkością przemieszczają się po bibule.

Chromatografia polega na podziale substancji zawartych w rozdzielanej mieszaninie pomiędzy dwie fazy: stacjonarną (nieruchomą) i ruchomą. Fazę stacjonarną może stanowić bibuła filtracyjna (chromatografia bibułowa), cienka warstwa adsorbentu naniesiona na płytkę szklaną lub plastikową (chromatografia cienkowarstwowa) czy też stałe lub ciekłe wypełnienie kolumny (chromatografia kolumnowa).

Mieszaninę substancji rozdzielanych nanosi się na fazę stacjonarną w postaci roztworu lub gazu (gdy mieszanina składa się z lotnych składników). Następnie przez fazę stacjonarną przepuszcza się **eluent**, który

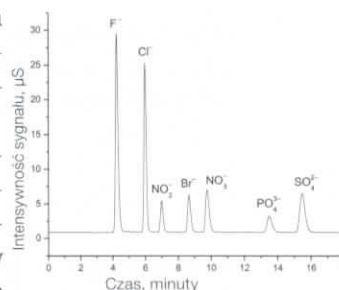


Fot. 18. Rozdzielanie tuszu na składniki metodą chromatografii.

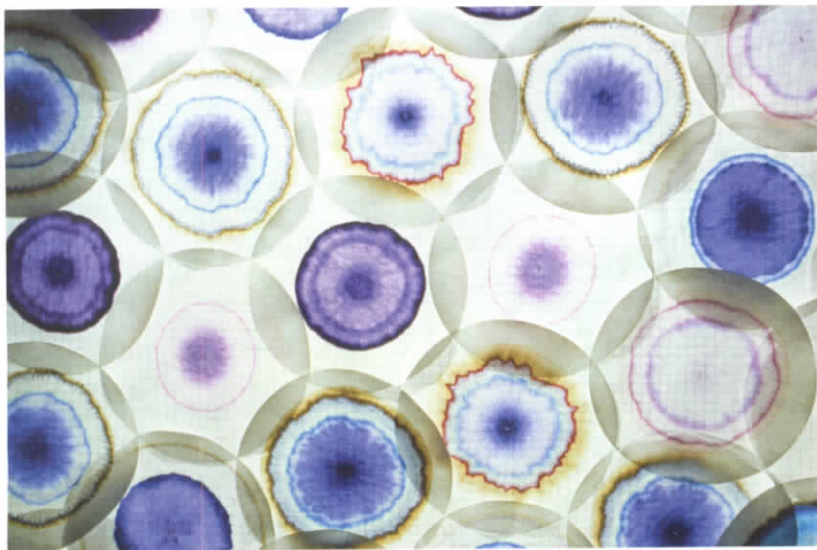
stanowi fazę ruchomą. Jest to zazwyczaj ciekły rozpuszczalnik lub mieszanina rozpuszczalników (w doświadczeniu 3. jest to ocet, czyli mieszanina kwasu etanowego i wody). Gdy składniki rozdzielane są gazami to fazę ruchomą stanowi gaz lub mieszanina gazów. Eluent rozpuszcza poszczególne składniki mieszaniny, a wędrując wzdłuż fazy stacjonarnej powoduje ich przesuwanie się z szybkością zależną od budowy cząsteczek tych związków chemicznych.

Skuteczność rozdzielania metodą chromatografii zależy od odpowiedniego doboru fazy stacjonarnej i fazy ruchomej. Wynik rozdzielania, tzw. **chromatogram** (fot. 19.), ma postać plamek na fazy stacjonarnej (chromatografia bibułowa i cienkowarstwowa) albo wykresów uzyskanych dzięki zastosowaniu specjalnych detektorów w przyrządach nazywanych **chromatografami** (rys. 4.).

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.



Rys. 4. Chromatogram mieszaniny anionów otrzymany przy zastosowaniu chromatografu jonowego.



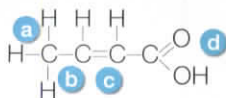
Fot. 19. Chromatogramy barwników stosowanych w przemyśle uzyskane metodą chromatografii bibułowej.

Rozwiąż zadania

1. Zaproponuj sposób rozdzielania na składniki mieszaniny jednorodnej acetonu, etanolu i dekanu.
2. Korzystając z różnych źródeł informacji, zaprojektuj sposób oczyszczenia próbki fenolu z zanieczyszczeń metodą krystalizacji.

Zamiast repetytorium

- **Węgiel** jest składnikiem związków nieorganicznych: tlenków, kwasu węglowego, kwasu cyjanowego, kwasu cyjanowodorowego oraz soli tych kwasów i związków organicznych.
- **Teoria strukturalna** wyjaśnia przyczyny istnienia ogromnej liczby różnorodnych związków organicznych.



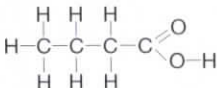
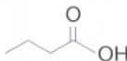
- a** Atomy węgla w związkach organicznych są **zawsze czterowartościowe**.
 - b** Atomy węgla mogą **łączyć się ze sobą w sposób bezpośredni**.
 - c** Atomy węgla mogą łączyć się ze sobą lub z innymi pierwiastkami chemicznymi **wiazaniami pojedynczymi, podwójnymi i potrójnymi**.
 - d** Związki organiczne mogą zawierać inne pierwiastki chemiczne, takie jak: **tlen, siarka, azot, fosfor i fluorowce**. Wchodzą one w skład m.in. **grup funkcyjnych**.
- Wykrywanie pierwiastków chemicznych w związkach organicznych

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.
Wodór	Spalanie: $4 H + O_2 \longrightarrow 2 H_2O$ atomy wodoru z substancji organicznej	Na ściankach probówki pojawia się skroplona para wodna.
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%.

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

- W celu jednoznacznego przedstawienia budowy związków organicznych stosuje się wzory, które uwzględniają sposób połączenia poszczególnych atomów.

Rodzaj wzoru	Opis	Przykład
Wzór strukturalny	Uwzględnia wszystkie atomy pierwiastków chemicznych oraz wszystkie wiązania występujące w cząsteczce.	
Wzór półstrukturalny (grupowy)	Uwzględnia rodzaj i liczbę atomów w cząsteczce oraz wiązania chemiczne między atomami, oprócz wiązań węgiel-wodór.	$\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--COOH}$
Wzór szkieletowy (kreskowy)	Przedstawia budowę cząsteczki, uwzględniając jedynie wzór jej szkieletu węglowego.	

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

Nazwa metody	Właściwość	Opis
Krystalizacja	Różnice w rozpuszczalności związków chemicznych i ich zanieczyszczeń.	Wydzielenie się substancji w postaci kryształków 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 w dwóch niemieszkających się cieczach.	Rozpuszczona substancja rozdziela się pomiędzy dwie niemieszkające się fazy ciekłe. Stosunek jej stężeń w obu fazach jest w danej temperaturze wielkością stałą, niezależną od ilości substancji rozpuszczonej i ilości użytych rozpuszczalników.
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.
Destylacja frakcjonowana (rektyfikacja)		Wielokrotna destylacja prowadzona w sposób ciągły na różnych wysokościach kolumny destylacyjnej (na tzw. półkach).
Chromatografia	Różnice w szybkości przemieszczania się poszczególnych składników podczas przepływu ich roztworu przez fazę nieruchomą.	Podział substancji zawartych w rozdzielanej mieszaninie pomiędzy dwie fazy: stacjonarną (nieruchomą) i ruchomą.

Z zakresu podstawowego

Charakterystyka **odmian alotropowych** węgla.

Odmiana alotropowa	Właściwości		Charakterystyka struktury
	fizyczne	chemiczne	
Grafit	- substancja stała - miękki – twardość 1 w skali Mohsa - śliski w dotyku - ciemnoszare płytki - nierozpuszczalny w wodzie - dobrze przewodzi prąd elektryczny i ciepło - gęstość* $d = 2,27 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	- bezwonny - mała aktywność chemiczna w temperaturze 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 mocnymi wiązaniami kowalencyjnymi z trzema 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 trzech sześciopierścieniowych pierścieni - w każdym z pierścieni znajduje się sześć 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 – twardość 10 w skali Mohsa - kruchy - bezbarwne kryształy - nierozpuszczalny w wodzie - nie przewodzi prądu elektrycznego - dobrze przewodzi ciepło - po oszlifowaniu ma wysoki współczynnik załamania światła - gęstość* $d = 3,51 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	- bezwonny - aktywność chemiczna mniejsza od aktywności grafitu, spala się w temperaturze wyższej niż 850°C - w podwyższonej temperaturze reaguje m.in. z fluorem - można go przekształcić w grafit	- w diamencie każdy atom węgla jest połączony mocnymi wiązaniami kowalencyjnymi z czterema innymi atomami węgla - atomy węgla w diamencie tworzą regularną sieć przestrzenną - diamant zawdzięcza twardość równomiernie rozłożonym w przestrzeni wiązanom o identycznej sile

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

Z zakresu podstawowego

Odmiana alotropowa	Właściwości		Charakterystyka struktury
	fizyczne	chemiczne	
Fulereny	- substancje stałe - kryształy o barwie od żółtej do czerwono-brązowej - metaliczny połysk - nierozpuszczalne w wodzie, rozpuszczają się w rozpuszczalnikach organicznych, np. w benzenie, tworzą kolorowe roztwory - wykazują właściwości nadprzewodzące i półprzewodnikowe - gęstość* $d = 1,68 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	- 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 czego wyniku tworzą się symetryczne struktury - każdy atom węgla jest połączony z trzema innymi atomami węgla - atomy węgla tworzą pięciokątne i sześciokątne pierścienie - cząsteczki fulerenów są zbudowane z parzystej liczby atomów węgla C_n; najmniejsza cząsteczka ma ich 28 ($n = 28$) - najbardziej znane rodzaje fulerenów to C_{60} i C_{70} [czyt.: ce sześćdziesiąt, ce siedemdziesiąt] - cząsteczka fulerenu C_{60} ma kształt piłki futbolowej, a cząsteczka fulerenu C_{70} ma kształt piłki do rugby
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 trzema innymi atomami węgla - ma grubość jednej warstwy grafitu, czyli grubość jednego atomu węgla

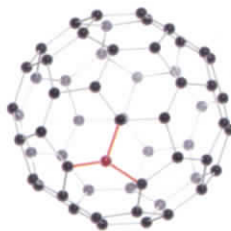
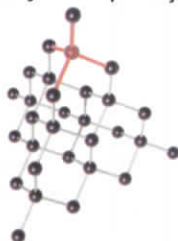
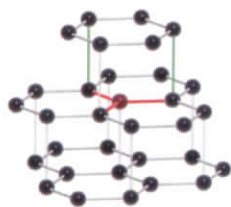
- Węgiel leczniczy** to szczególna postać węgla, nazywana też węglem aktywnym lub węglem aktywowanym. Ma on silne właściwości adsorpcyjne. Dzięki temu pochłania substancje szkodliwe, będące przyczyną zatrucia i dolegliwości żołądkowych. Takie właściwości wynikają z rozdrobnienia węgla, dzięki czemu jego cząstki mają bardzo dużą powierzchnię: 1 g węgla leczniczego może mieć powierzchnię 400–1500 m². Węgiel leczniczy nie wchłania się z przewodu pokarmowego, jest więc uznawany za substancję nieszkodliwą dla organizmu. Niestety adsorbuje też substancje niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu.

Węgiel występuje w przyrodzie w postaci dwóch stabilnych izotopów ^{12}C i ^{13}C . Liczba neutronów w jądrze pierwszego izotopu jest o 1 mniejsza niż liczba neutronów w jądrze drugiego izotopu. Zawartość procentowa izotopu ^{12}C wynosi 98,85%, zaś izotopu ^{13}C – 1,15%. **Oblicz liczby masowe A_1 i A_2 każdego z izotopów węgla, wiedząc, że średnia masa atomowa węgla wynosi 12,0115 u.**

Obliczenia:

Odpowiedź:

Węgiel występuje w postaci odmian alotropowych różniących się budową wewnętrzną. Poniżej przedstawiono modele trzech odmian alotropowych tego pierwiastka chemicznego. **Pod każdym modelem wpisz nazwę właściwej odmiany alotropowej węgla.**



Przyporządkuj właściwości (A-I) do odpowiednich odmian alotropowych węgla (1-3).

- A. Nie przewodzi prądu elektrycznego.
- B. Jest bardzo twardy.
- C. Służy do wyrobu elektrod.
- D. Jego kryształ ma budowę warstwową.
- E. Atomy węgla są w stanie hybrydyzacji sp .
- F. Atomy węgla są w stanie hybrydyzacji sp^2 .
- G. Atomy węgla są w stanie hybrydyzacji sp^3 .
- H. Wykazuje właściwości nadprzewodzące i półprzewodnikowe.
- I. W skład jednej cząsteczki wchodzi 60 atomów węgla.

1. 2. 3.

To było na maturze!

Egzamin maturalny z chemii
Poziom rozszerzony

Zadanie 15. (3 pkt)

Źródło: CKE 2005 (PP), zad. 15.

W czasie wykonywania czynności laboratoryjnych często należy substancję oczyścić lub wyodrębnić ją z mieszaniny za pomocą odpowiedniej metody.

Wpisz do tabeli nazwy metod A, B i C zdefiniowanych w poniżej przedstawionym tekście.

- **W metodzie A** wykorzystuje się różnicę rozpuszczalności substancji oczyszczanej i towarzyszących jej zanieczyszczeń, w różnych temperaturach, w odpowiednio dobranym rozpuszczalniku.
- **Metoda B** jest stosowana do oczyszczania ciał stałych, które przy ogrzewaniu przechodzą w stan pary, a pary te po oziębieniu wytwarzają kryształy ciała stałego.
- **Metoda C** polega na przeprowadzeniu cieczy w stan pary, a następnie skraplaniu wydzielonych par w celu ponownego przeprowadzenia ich w ciecz.

	Nazwa metody
Metoda A	
Metoda B	
Metoda C	

Zadanie 48. (2 pkt)

Źródło: CKE 2004 (PR), zad. 48.

Węgiel tworzy dwa tlenki: tlenek węgla(II) i tlenek węgla(IV).

Podaj dwie właściwości (jedną fizyczną, jedną chemiczną) tlenku węgla(II), które odróżniają go od tlenku węgla(IV).

.....

.....

.....

Zadanie 5. (1 pkt)

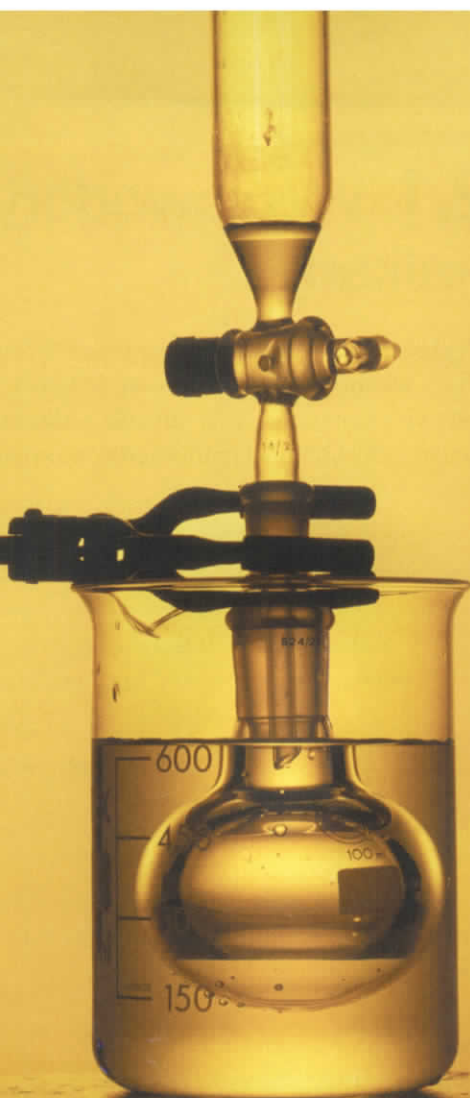
Źródło: CKE 2008 (PR), zad. 5.

Skaly wapienne, których głównym składnikiem jest CaCO_3 , ulegają erozji pod działaniem wody zawierającej rozpuszczony tlenek węgla(IV). W wyniku tego procesu woda staje się twarda.

Napisz w formie jonowej równanie reakcji głównego składnika skal wapiennych z wodą zawierającą tlenek węgla(IV).

.....

2



Węglowodory

- 2.1. Węglowodory nasycone – alkany
- 2.2. Węglowodory nienasycone – alkeny
- 2.3. Węglowodory nienasycone – alkiny
- 2.4. Węglowodory aromatyczne – areny.
Benzen

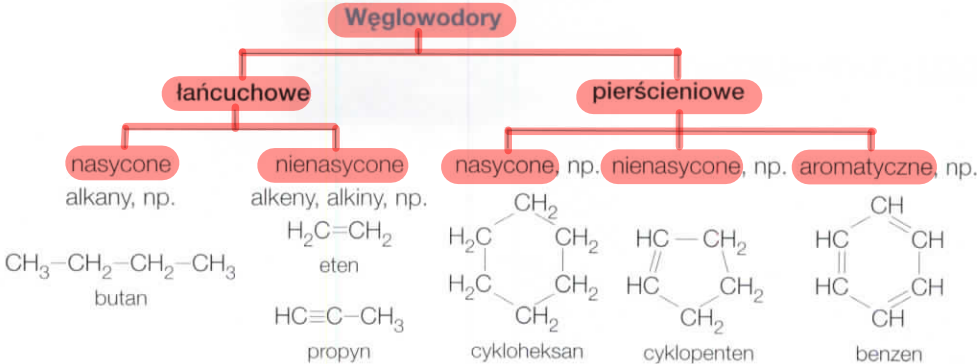
- 2.5. Metylobenzen – toluen
- 2.6. Areny wielopierścieniowe
- 2.7. Izomeria węglowodorów

To było w gimnazjum

- Stosowanie pojęć: węglowodory, alkany, alkeny, alkiny, szereg homologiczny węglowodorów.
- Opisywanie naturalnych źródeł węglowodorów.
- Określanie produktów spalania węglowodorów w zależności od ilości dostarczonego tlenu.
- Porównywanie reaktywności węglowodorów w oparciu o budowę cząsteczki.

2.1. Węglowodory nasycone – alkany

Węglowodory to związki chemiczne, których cząsteczki są zbudowane tylko z **atomów węgla** i **wodoru**. Można je klasyfikować ze względu na budowę cząsteczki, czyli **sposób połączenia atomów węgla**, lub ze względu na **rodzaj wiązań między atomami węgla**.



Budowa przestrzenna cząsteczek węglowodorów oraz występujące w nich rodzaje wiązań zależą od typu hybrydyzacji orbitali atomowych węgla (tabela 4.).

Tabela 4. Rodzaje hybrydyzacji atomu węgla

Szkielet łańcucha węglowego	Hybrydyzacja		Orbitale zhybrydizowane			
	typ	orbitale ulegające hybrydyzacji	liczba	orientacja przestrzenna	kształt	kąt
<chem>-C-C-</chem> wiązanie pojedyncze	sp^3	↑↓ ↑ ↑ ↑ ↑ 1 orbital s 3 orbitale p	4		tetraedryczny	109°28'
<chem>>C=C<</chem> wiązanie podwójne	sp^2	↑↓ ↑ ↑ ↑ ↑ 1 orbital s 2 orbitale p	3		trójkątny	120°
<chem>-C#C-</chem> wiązanie potrójne	sp	↑↓ ↑ ↑ ↑ ↑ 1 orbital s 1 orbital p	2		liniowy	180°

Cząsteczki alkanów są zbudowane z atomów węgla, których orbitale atomowe ulegają hybrydyzacji sp^3 . **Atomy węgla w alkanach są ze sobą połączone wyłącznie wiązaniami pojedynczymi typu σ .**

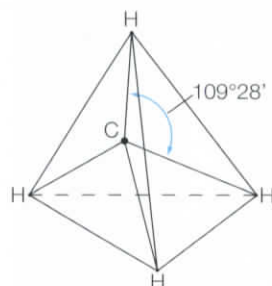
Długość wiązania pojedynczego wynosi 154 pm, a energia wiązania jest równa $338 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$.

Metan

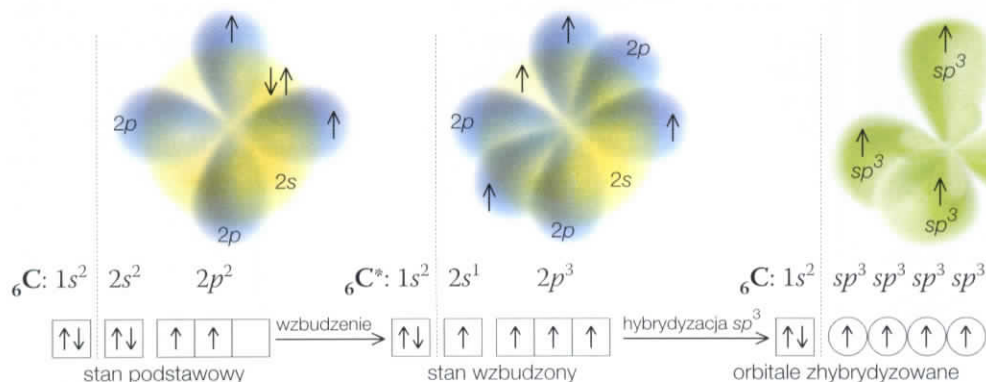
Cząsteczka najprostszego węglowodoru – metanu CH_4 – jest zbudowana z jednego atomu węgla i czterech atomów wodoru. Ma kształt czworościanu foremnego (tetraedru) z atomem węgla w centrum i czterema atomami wodoru w narożach tetraedru. Kąty między wiązaniami σ atomów węgla i wodoru wynoszą $109^\circ 28'$ (rys. 5.). Kształt cząsteczki metanu wyjaśnia hybrydyzacja sp^3 orbitali atomu węgla (rys. 6.).



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

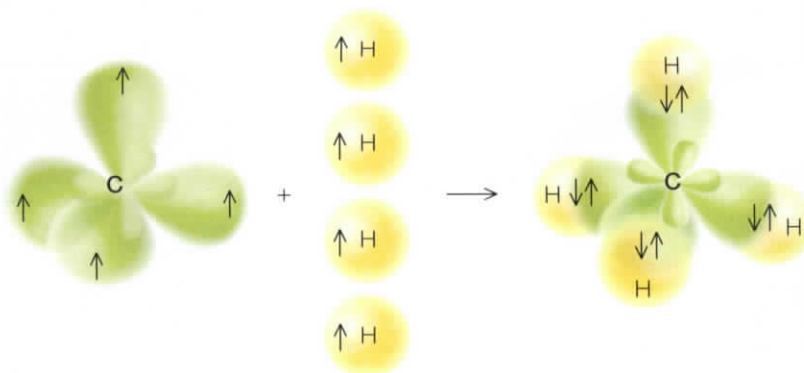


Rys. 5. Rozmieszczenie atomów w cząsteczce metanu.



Rys. 6. Hybrydyzacja orbitali atomu węgla.

Elektrony opisywane przez orbitale zhybrydowane atomu węgla wraz z elektronami orbitalu s pochodzącymi od czterech atomów wodoru uczestniczą w tworzeniu wiązań w cząsteczce CH_4 (rys. 7.).



Rys. 7. Powstawanie cząsteczki metanu.



Fot. 20. Palnik gazowy stosowany w laboratorium to tzw. palnik Bunsena.

Doświadczenie 4. CH₄

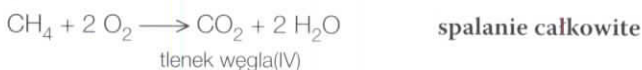
Spalanie gazu ziemnego

Jako źródła metanu można użyć gazu ziemnego z sieci gazowej, gdyż zarówno gaz świetlny (miejski), jak i gaz ziemny zawierają metan.

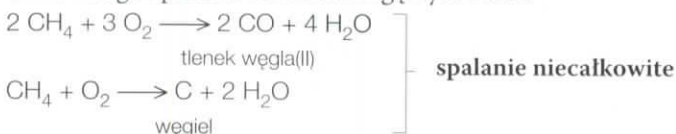
Zapal palnik gazowy. Obserwuj wygląd płomienia.

Co obserwujesz?

Przy nieograniczonym dopływie powietrza metan spala się niebieskim płomieniem (fot. 20.). Produktami tej reakcji chemicznej są tlenek węgla(IV) i woda:



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



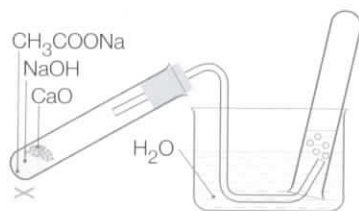
Doświadczenie 5. CH₄ NaOH, CaO

Otrzymywanie metanu

! Podczas wykonywania doświadczenia zachowaj szczególną ostrożność, gdyż mieszanina metanu z powietrzem (4,5–15% objętościowych metanu) ma właściwości wybuchowe.

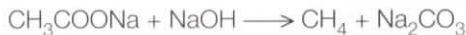
Do probówki wsyp ok. 5 g sproszkowanego etanianu sodu, 2,5 g stałego wodorotlenku sodu oraz 2 g tlenku wapnia. Całość wymieszaj. Probówkę zamknij korkiem z rurką odprowadzającą i ogrzewaj w płomieniu palnika. Wydzielający się gaz zbieraj pod wodą do probówek (schemat). Trzy napełnione gazem probówki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

Gaz zebrany w dwóch pozostałych probówkach wykorzystaj w doświadczeniu 6.

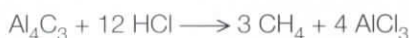


W wyniku ogrzewania mieszaniny etanianu sodu CH_3COONa i wodorotlenku sodu NaOH powstaje gaz bezbarwny, bezwonny, nierozpuszczalny w wodzie.

Gazem tym jest metan. Zachodzi reakcja chemiczna:



Metan można także otrzymać w reakcjach węgla glinu Al_4C_3 z wodą lub z kwasem chlorowodorowym. Substraty ogrzewa się w probówce, a wydzielający się w czasie reakcji chemicznej metan jest zbierany podobnie, jak w doświadczeniu 5. Zachodzą wówczas reakcje chemiczne zgodnie z równaniami:



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

Doświadczenie 6.

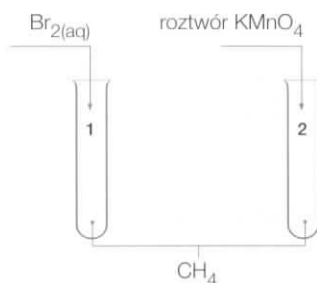


Badanie zachowania metanu wobec wody bromowej i roztworu manganianu(VII) potasu

! Podczas wykonywania doświadczenia zachowaj szczególną ostrożność.

Do wykonania doświadczenia użyj metanu otrzymanego w doświadczeniu 5. 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. Probówkę z wodą bromową umieść w ostrym świetle, np. żarówki grafoskopu. Naświetlaj zawartość probówki aż do zaobserwowania zmian.

Co obserwujesz?



Fot. 21. Zachowanie: a) wody bromowej, b) roztworu manganianu(VII) potasu pod wpływem metanu.



Fot. 22. Woda bromowa odbarwiła się pod wpływem metanu po dłuższym naświetlaniu.

Początkowo zawartość probówek z wodą bromową (fot. 21.a) i roztworem manganianu(VII) potasu (fot. 21.b) nie odbarwia się. Dopiero po dłuższym naświetlaniu zawartości probówki 1. następuje odbarwienie wody bromowej (fot. 22.).

Metan nie odbarwia wody bromowej ani roztworu manganianu(VII) potasu. Wynika z tego, że reakcja chemiczna nie zachodzi. Metan reaguje z bromem dopiero pod wpływem ostrego światła. Reakcja bromowania metanu przebiega etapami.

Jest to **reakcja łańcuchowa**, którą można przedstawić następująco:

bromometan



dibromometan



tribromometan



tetrabromometan



Reakcja substytucji

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

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

Rodnik

– atom lub grupa atomów posiadająca niesparowany elektron, np. rodnik bromu $\text{Br}\cdot$.

Reakcja bromowania metanu przebiega zgodnie z **mechanizmem rodnikowym**, czyli z udziałem **rodników**. Są to atomy lub grupy atomów zawierające **niesparowany elektron**, co powoduje ich **wzmoczoną reaktywność chemiczną**. Niesparowany elektron w rodniku oznacza się kropką, np. $\text{CH}_3\cdot$.

Mechanizm reakcji rodnikowej to **szczegółowy opis jej przebiegu z uwzględnieniem wszystkich kolejnych etapów i produktów pośrednich**. W każdej reakcji rodnikowej występują następujące etapy:

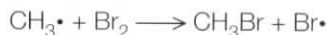
Etap I. Zapoczątkowanie reakcji łańcuchowej bromowania polega na utworzeniu atomów (rodników) bromu $\text{Br}\cdot$ z cząsteczki Br_2 pod wpływem światła. Po rozerwaniu wiązania każdy z dwóch atomów bromu uzyskuje jeden niesparowany elektron:

zapoczątkowanie
(inicjacja)



Etap II. Kontynuacja reakcji chemicznej następuje w kolejnych etapach, dzięki którym bromowanie jest reakcją łańcuchową. Rodnik bromu, czyli atom bromu z niesparowanym elektronem, atakuje cząsteczkę metanu i odrywa od niej atom wodoru (z jednym elektronem). Powstaje **rodnik metylowy** $\text{CH}_3\cdot$, który z kolei reaguje z cząsteczką bromu Br_2 , tworząc CH_3Br i rodnik bromu $\text{Br}\cdot$:

kontynuacja

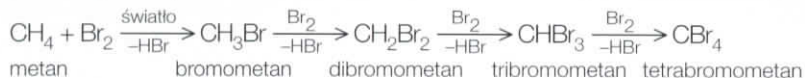


Etap III. Zakończenie, czyli przerwanie reakcji łańcuchowej (reakcja wygaszania rodników), następuje, gdy zabraknie rodników, np. wskutek reakcji między nimi:

zakończenie



Analiza produktów bromowania metanu wskazuje, że tworzą się one na kolejnych etapach bromowania, w tzw. **reakcjach następnych**. Są to następujące po sobie reakcje chemiczne, w których powstały produkt jest substratem w następnej reakcji chemicznej. Dla bromowania metanu przebieg reakcji chemicznej można przedstawić za pomocą schematu:



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

Metan należy do **węglowodorów nasyconych**, czyli **alkanów**. W cząsteczkach tych związków chemicznych atomy węgla tworzą łańcuchy proste (nierozgałęzione) lub rozgałęzione, a **wszystkie wiązania są wiązaniami pojedynczymi**.

Alkany tworzą **szereg homologiczny**. Jest to szereg węglowodorów, w którym każdy następny węglowodór ma o 1 atom węgla i 2 atomy wodoru (grupę $-\text{CH}_2-$) więcej od poprzedniego (tabela 5., s. 48–49). Cztery pierwsze alkanany w szeregu mają nazwy zwyczajowe. W następnych **rdzeń nazwy** pochodzi od nazw liczebników greckich lub łacińskich oznaczających liczbę atomów węgla w cząsteczce.

Szereg homologiczny

– szereg związków organicznych o podobnej budowie i właściwościach chemicznych, w którym każdy kolejny związek chemiczny ma o jedną grupę $-\text{CH}_2-$ więcej w cząsteczce.

To jest interesujące

Substancje krystaliczne złożone z zamrożonych cząsteczek wody i metanu są nazywane **klatratami metanu** (inne nazwy to: hydraty metanu, metanowy lód). Klatraty metanu to struktury, w których sieci krystalicznej, tworzonej przez cząsteczki H_2O w lodzie, znajdują się nieregularnie rozmieszczone cząsteczki metanu. Występują na dnie oceanów (fot. 23.) oraz w trwale zamrożonym gruncie. Klatrat metanu to biała, bezwonna substancja, z wyglądu przypominająca lód i ulegająca spalaniu, podobnie jak metan. Zgodnie z przyjętym (uśrednionym) składem chemicznym na 1 mol cząsteczek CH_4 przypada 5,75 mola cząsteczek wody. Z 1 dm^3 klatratów metanu można uzyskać ok. 170 dm^3 gazowego metanu, dlatego rozważa się wykorzystanie klatratów metanu jako potencjalnego źródła metanu.

Fot. 23. Pęcherzyki gazu obserwowane na bagnach to też metan. Powstaje on w wyniku rozkładu resztek roślinnych i innych przemian zachodzących z udziałem bakterii.

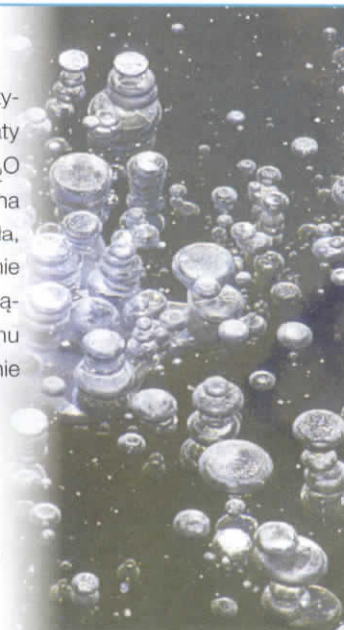
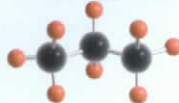
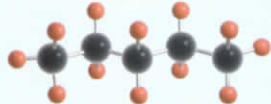
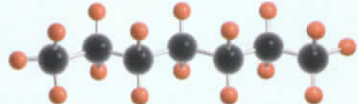
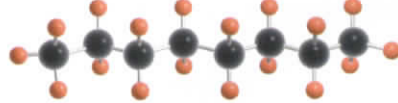
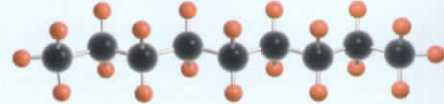
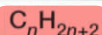


Tabela 5. Szereg homologiczny alkanów

[illegible]

półstrukturalny uproszczony	kreskowy	Model cząsteczki	
		pręcikowo-kulkowy	czaszowy
CH_4	brak		
$\text{CH}_3\text{--CH}_3$			
$\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_3$			
$\text{CH}_3\text{--}(\text{CH}_2)_2\text{--CH}_3$			
$\text{CH}_3\text{--}(\text{CH}_2)_3\text{--CH}_3$			
$\text{CH}_3\text{--}(\text{CH}_2)_4\text{--CH}_3$			
$\text{CH}_3\text{--}(\text{CH}_2)_5\text{--CH}_3$			
$\text{CH}_3\text{--}(\text{CH}_2)_6\text{--CH}_3$			
$\text{CH}_3\text{--}(\text{CH}_2)_7\text{--CH}_3$			
$\text{CH}_3\text{--}(\text{CH}_2)_8\text{--CH}_3$			

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



gdzie:

n – liczba atomów węgla w cząsteczce alkanu.

Alkany:
 $1 \leq n \leq 4$ gazy
 $5 \leq n \leq 16$ ciecze
 $n \geq 17$ substancje stałe

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 węglowodórów wraz ze zwiększaniem się liczby atomów węgla w cząsteczce (wydłużaniem się łańcucha węglowego) zmienia się stan skupienia alkanów.

Wiązania pojedyncze w alkanach trudno ulegają rozerwaniu, dlatego związki chemiczne tej grupy są bardzo mało reaktywne chemicznie.



Fot. 24. Spalanie benzyny.

spalanie niecałkowite C_4H_{10}

spalanie całkowite C_4H_{10}

spalanie całkowite C_8H_{18}

Doświadczenie 7.



C_4H_{10} , benzyna

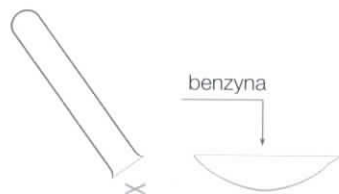


benzyna

Spalanie butanu i benzyny

Przytrzymaj probówkę dnem do góry nad płomieniem zapalniczki. Do probówki wlej kilka kropeł benzyny (schemat) i zapal ją.

Co obserwujesz?



Na ściankach probówki pojawia się para wodna oraz sadza. Zapalona benzyna płonie jasnożółtym płomieniem (fot. 24.).

Sadza na ściankach probówki jest produktem spalania niecałkowitego butanu, gdyż dostęp powietrza był ograniczony:



Przy nieograniczonym dostępie powietrza zachodzi spalanie całkowite butanu:



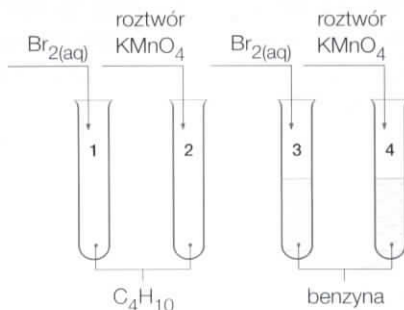
Benzyna jest mieszaniną alkanów zawierających od 5 do 12 atomów węgla w cząsteczce. Ulega ona reakcji spalania zgodnie z równaniem:



Doświadczenie 8. C_4H_{10} , benzyna $KMnO_4$ Br_2 benzyna $KMnO_4$, Br_2 , benzyna $KMnO_4$, benzyna

Badanie właściwości butanu i benzyny

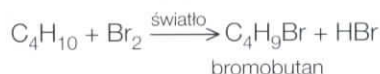
Probówki 1. i 2. napełnij butanem (np. gazem z zapalniczki). Następnie do probówki 1. dodaj ok. 2 cm^3 wody bromowej, a do probówki 2. – ok. 2 cm^3 roztworu manganianu(VII) potasu. Obie probówki zamknij korkami i wstrząsaj. Zawartość probówki 1. naświetlaj światłem (np. żarówką grafoskopu). Do probówek 3. i 4. nalej po ok. 2 cm^3 benzyny aptecznej (schemat) i postępuj podobnie jak z probówkami 1. i 2.



Co obserwujesz?

Początkowo w probówkach z wodą bromową i roztworem manganianu(VII) potasu nie widać zmian. Dopiero po naświetlaniu woda bromowa się odbarwia.

Butan C_4H_{10} i benzyna nie reagują ani z wodą bromową, ani z roztworem manganianu(VII) potasu. Do rozpoczęcia reakcji chemicznej jest konieczne dostarczenie energii, np. w postaci światła:



reakcja substytucji



reakcja substytucji

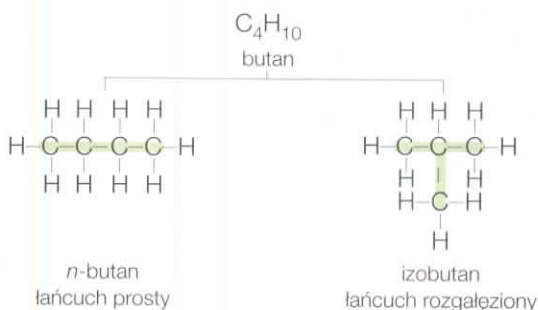
W przypadku bromowania butanu powstają w rzeczywistości dwa produkty reakcji substytucji:



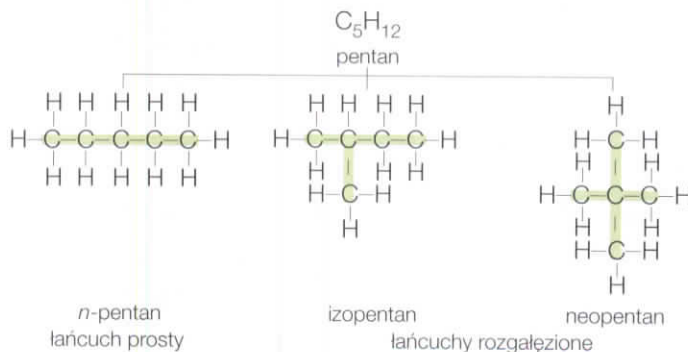
Oznacza to, że w tym samym czasie zachodzą obok siebie (przebiegają równolegle) dwie reakcje chemiczne. W każdej powstaje produkt o tym samym składzie, lecz o innej budowie cząsteczki. Takie równoległe (konkurencyjne, współbieżne) reakcje substytucji alkanów zachodzą, jeśli poddaje się im alkanany o większej niż dwa liczbie atomów węgla w cząsteczce.

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 $-0,55^{\circ}\text{C}$, a temperaturę topnienia $-138,3^{\circ}\text{C}$. Druga odmiana – **izobutan** – wrze w temperaturze $-11,7^{\circ}\text{C}$, a topi się w temperaturze $-159,4^{\circ}\text{C}$. 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**:



Podobną różnorodność wykazuje cząsteczka innego alkanu – pentanu. Jest ona zbudowana z pięciu atomów węgla, które mogą być połączone względem siebie w trzech kombinacjach:



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. 101). 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**.

Izomeria

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

Nazewnictwo alkanów

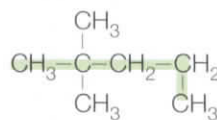
Olbrzymia liczba znanych związków organicznych spowodowała, że należało stworzyć spójny i zrozumiały system ich nazywania, który umożliwi określenie struktury danego związku chemicznego na podstawie jego nazwy. Taki system został wprowadzony przez Międzynarodową Unię Chemii Czystej i Stosowanej (rys. 8.) – IUPAC [od 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 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:

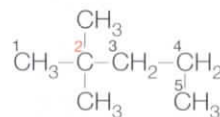
1. Należy ustalić **najdłuższy łańcuch węglowy**. Nazwę alkanu odpowiadającego temu łańcuchowi przyjąć jako podstawę tworzonej nazwy.
2. Atomy węgla w najdłuższym łańcuchu trzeba ponumerować, zaczynając od atomów skrajnych. Położenie **podstawników** określają numery atomów węgla, czyli tzw. **lokanty**. Kierunek numeracji powinien być taki, aby lokanty – liczby wskazujące położenie podstawników – były jak **najmniejsze**.
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 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**.



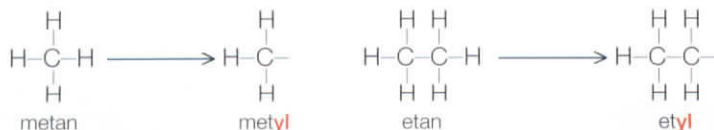
Rys. 8. Logo IUPAC.



Podstawniki to atomy lub grupy atomów związane z łańcuchem głównym.



Grupą alkilową może być: **grupa metylowa** –CH₃, **etylowa** –C₂H₅ itd.

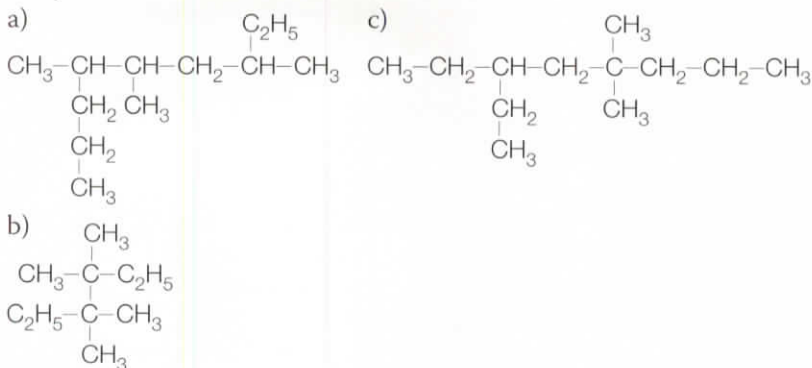


Ogólne oznaczenie **grupy alkilowej**: –R.

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

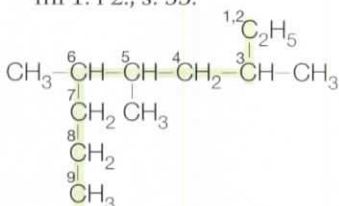
Przykład 1.**Tworzenie nazw systematycznych alkanów**

Napisz nazwy systematyczne alkanów o podanych wzorach półstrukturalnych.



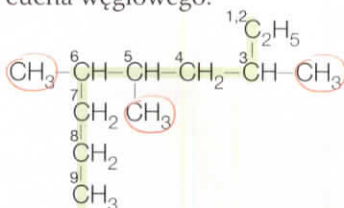
a) Wyznacza się **najdłuższy łańcuch** i numeruje atomy zgodnie z zasadami 1. i 2., s. 53:

Najdłuższy łańcuch
składa się z 9 atomów
węgla.



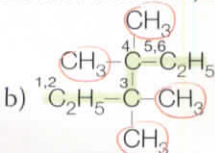
Zaznacza się **podstawniki**, czyli grupy atomów, które nie należą do łańcucha węglowego.

Cząsteczka zawiera
trzy podstawniki
– grupy metylowe.

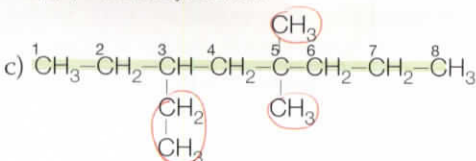


Nazwy podstawników tworzy się zgodnie z zasadami 3. i 4., s. 53:

Nazwa alkanu: **3,5,6-trimetylononan**.



3,3,4,4-tetrametyloheksan



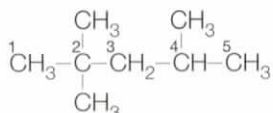
3-etylo-5,5-dimetylooktan

Przykład 2.**Zapisywanie wzorów półstrukturalnych alkanów o znanych nazwach**

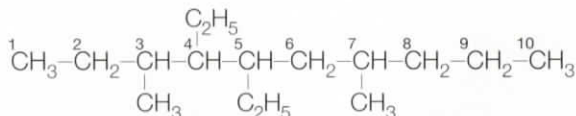
Napisz wzory półstrukturalne alkanów o podanych nazwach.

- a) 2,2,4-trimetylopentan
 b) 4,5-dietylo-3,7-dimetyloheksan
 c) 3,4-dietylo-2,2,3-trimetylo-4-propyloheksan

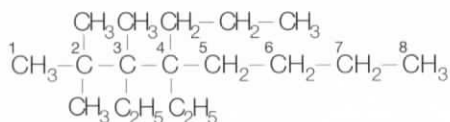
- a) 2,2,4-trimetylopentan



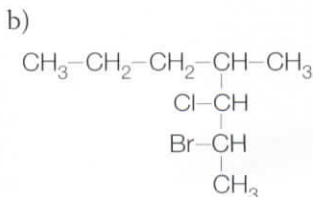
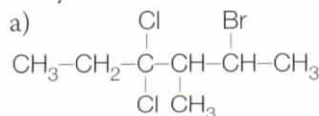
- b) 4,5-dietylo-3,7-dimetyloheksan



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

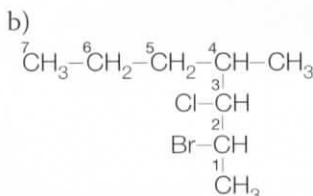
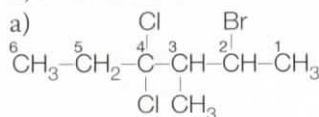
**Przykład 3.****Ustalanie nazw systematycznych alkanów zawierających atomy fluorowców w cząsteczkach**

Napisz nazwy systematyczne alkanów o podanych wzorach strukturalnych.



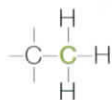
- a) 2-bromo-4,4-dichloro-3-metyloheksan

- b) 2-bromo-3-chloro-4-metyloheptan

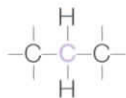


2-bromo-4,4-dichloro-3-metyloheksan

2-bromo-3-chloro-4-metyloheptan



I-rzędowy atom węgla



II-rzędowy atom węgla

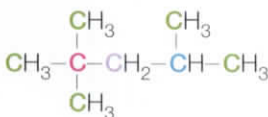


III-rzędowy atom węgla



IV-rzędowy atom 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 **rzędowością**. Na przykład w cząsteczce 2,2,4-trimetylopentanu:

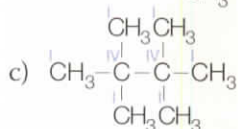
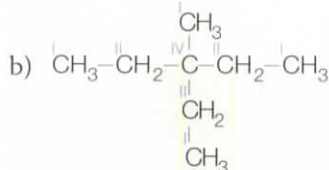
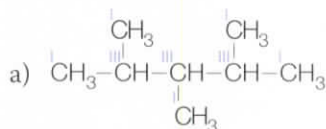


- I-rzędowy** atom węgla łączy się z jednym atomem węgla,
- II-rzędowy** atom węgla łączy się z dwoma atomami węgla,
- III-rzędowy** atom węgla łączy się z trzema atomami węgla,
- IV-rzędowy** atom węgla łączy się z czterema atomami węgla.

Przykład 4.

Określanie rzędowości atomów węgla

Zaznacz rzędowość wszystkich atomów węgla w cząsteczkach alkanów o podanych wzorach półstrukturalnych. Wpisz cyfry rzymskie nad symbolem atomu węgla.



To jest interesujące

Tytan – największy księżyc Saturna – przypomina Ziemię. Występują na nim stałe lądy z łańcuchami górskimi i wydmnami oraz rzeki i jeziora. Atmosfera Tytana składa się głównie z azotu z domieszkami metanu, etanu, acetyleny i argonu, a temperatura na powierzchni wynosi ok. -180°C . Dlatego w atmosferze Tytana zamiast obiegu wody zachodzi obieg węglowodorów, głównie metanu i etanu. Z chmur spadają deszcze metanu, tworząc rzeki i jeziora ciekłych węglowodorów (fot. 25.).

Fot. 25. Rekonstrukcja powierzchni Tytana wykonana na podstawie zdjęć sondy Cassini-Huygens.



Zastosowania i występowanie alkanów

Naturalnym źródłem węglowodorów nasyconych są: gaz ziemny, ropa naftowa i węgle kopalne. Złoża tych paliw powstawały przez setki milionów lat na skutek rozkładu szczątków roślinnych i zwierzęcych.

Źródła energii

Ropa naftowa, gaz ziemny i węgiel kamienny dostarczają ok. 85% energii. Uzyskuje się ją, spalając paliwa kopalne, będące źródłem łatwo palnych węglowodorów. **Metan** stosuje się w piecach, kuchenkach gazowych i pojazdach silnikowych z zapłonem iskrowym oraz samoczynnym (CNG).

Leki i kosmetyki

Parafina ma właściwości regenerujące i nawilżające, dlatego wykorzystuje się ją do pielęgnacji dłoni i stóp oraz do produkcji maści ochronnych i emulsji. **Propan** lub **butan** są stosowane jako gazy nośne w aerozolach. Powodują rozpylenie zawartości opakowań leków i kosmetyków.

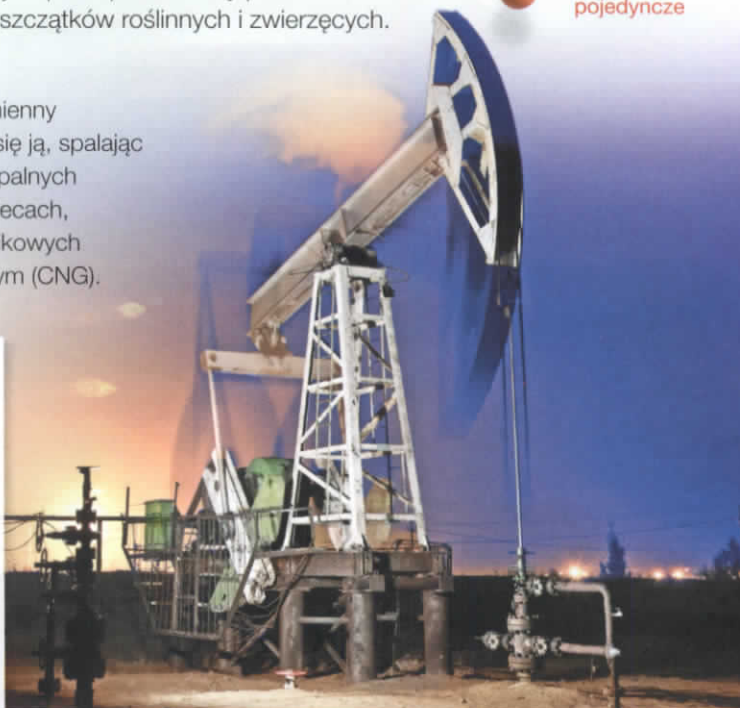


Przemysł

Mazut wykorzystuje się do produkcji smarów ciekłych (oleje smarowe) i stałych (wazelina, parafina). Do produkcji świec stosuje się **parafinę**, a **benzyny** używa się jako rozpuszczalnika farb (benzyna lakowa) i tłuszczów w laboratoriach (benzyna laboratoryjna).

Gdzie występują alkany?

Wosk pszczeły to mieszanina wielu związków chemicznych, m.in. węglowodorów o nieparzystej liczbie atomów węgla w cząsteczkach (od 25 do 31). 8–9% jego zawartości stanowi hentriakontan – alkan o wzorze $C_{31}H_{64}$. Głównym składnikiem **gazu ziemnego** jest metan, który może stanowić nawet 99% jego objętości. Metan pozyskuje się też z **węgla kamiennego** – w procesie suchej destylacji. **Ropa naftowa** to jednorodna mieszanina substancji, które rozdziela się metodą destylacji frakcjonowanej. W ten sposób otrzymuje się produkty będące mieszaninami węglowodorów.



Cykloalkany

Węglowodory nasycone o budowie pierścieniowej to **cykloalkany** (tabela 6.). W ich cząsteczkach, podobnie jak w cząsteczkach alkanów, występuje hybrydyzacja sp^3 .

Tabela 6. Szereg homologiczny cykloalkanów

Nazwa i wzór sumaryczny	Liczba atomów węgla w cząsteczce	Wzór półstrukturalny	Wzór szkieletowy
cyklopropan C_3H_6	3	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H}_2\text{C} - \text{CH}_2 \end{array}$	
cyklobutan C_4H_8	4	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} - \text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{H}_2\text{C} - \text{CH}_2 \end{array}$	
cyklopentan C_5H_{10}	5	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H}_2\text{C} \quad \text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{H}_2\text{C} - \text{CH}_2 \end{array}$	
cykloheksan C_6H_{12}	6	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H}_2\text{C} \quad \text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{H}_2\text{C} \quad \text{CH}_2 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{CH}_2 \end{array}$	

Wzór ogólny cykloalkanów ma postać:



gdzie:

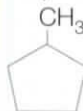
n – liczba atomów węgla w cząsteczce cykloalkanu.

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

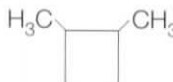
izomery C_6H_{12}



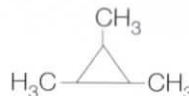
cykloheksan



metylcyklopentan

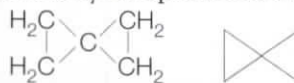


1,2-dimetylocyklobutan



1,2,3-trimetylocyklopropan

Istnieją również cykloalkany dwupierścieniowe, np. **spiropentan**:



spiropentan



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 sześciocłonowych i jednego pięciocłonowego.

Rozwiąż zadania

- W dwóch probówkach zamkniętych korkami znajdują się metan i tlenek węgla(IV). **Zaproponuj sposób, w jaki można je zidentyfikować. Uzasadnij odpowiedź i napisz odpowiednie równanie reakcji chemicznej.**
- Napisz równania reakcji spalania całkowitego i niecałkowitego:
 - propanu,
 - heptanu.
- Napisz równania reakcji spalania całkowitego i niecałkowitego alkanu C_nH_{2n+2} .
- Napisz wzory półstrukturalne związków chemicznych o podanych nazwach.
 - 3-chloropentan
 - 2-jodo-2-metylopropan
 - 2,2-dimetylopentan
 - 1,1,1,3-tetrachloropropan
 - 2,3,5-tribromo-3-etylo-2,4,4-trimetyloheptan
 - 1,5,6-trichloro-4-etylo-2,2-dimetylooktan
- Napisz nazwy systematyczne związków chemicznych o podanych wzorach półstrukturalnych. Określ rzędowość atomów węgla w każdym z nich.

a) $\begin{array}{c} \text{Br} \\ | \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{Br} \quad \text{CH}_3 \end{array}$

d) $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$

f) $\begin{array}{c} \text{Br} \\ | \\ \text{Br}-\text{C}-\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ | \quad | \quad | \\ \text{Br} \quad \text{Cl} \quad \text{Cl} \end{array}$

b) $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_3 \end{array}$

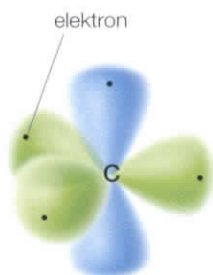
e) $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$

g) $\begin{array}{c} \text{Cl}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{Cl} \\ | \\ \text{Cl} \end{array}$

c) $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2 \\ | \quad | \\ \text{Br} \quad \text{CH}_3 \end{array}$
- Napisz wzory strukturalne wszystkich izomerów związków chemicznych o podanych wzorach sumarycznych.
 - C_5H_{12}
 - C_3H_7Br
 - C_4H_9Cl
- Przedstaw mechanizm reakcji chlorowania etanu, jeśli produktem tej reakcji chemicznej jest 1,1,2-trichloroetan.
- 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.
- Do spalania 1 objętości pewnego gazowego alkanu zużyto 5 objętości tlenu i otrzymano 3 objętości tlenku węgla(IV) oraz parę wodną. Pomiary wykonano w tych samych warunkach ciśnienia i temperatury. **Napisz wzór sumaryczny i nazwę systematyczną tego węglowodoru.**
- Oblicz, ile decymetrów sześciennych powietrza (warunki normalne) należy użyć do całkowitego spalania 1 dm³ metanu. Przyjmij, że tlen stanowi 20% objętościowych powietrza.
- Oblicz, ile decymetrów sześciennych tlenu należy użyć do całkowitego spalania 22,4 dm³ mieszaniny metanu i butanu, jeżeli gazy te zmieszano w stosunku objętościowym 1 : 2.
- Do całkowitego spalania równomolowej mieszaniny metanu i propanu zużyto 82 cm³ tlenu, odmierzonego w warunkach normalnych. **Oblicz objętość mieszaniny gazów, które spalono.**

2.2. Węglowodory nienasycone – alkeny

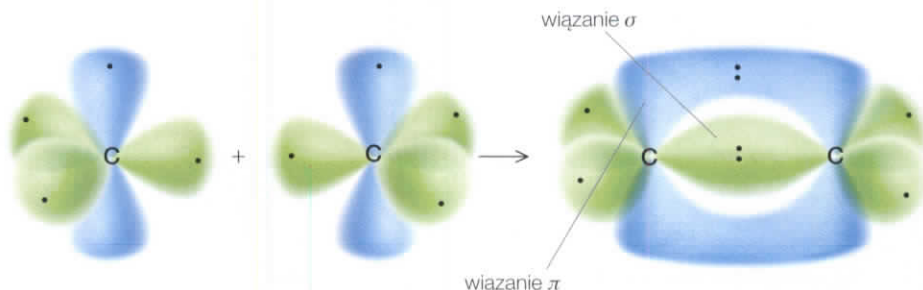
Alkeny to węglowodory, których cząsteczki zawierają – oprócz wiązań pojedynczych – **jedno wiązanie podwójne** między atomami węgla:



Rys. 9. Hybrydyzacja sp^2 orbitali atomu węgla.

Wiązanie podwójne w alkenach tworzy się, gdy orbitale atomowe atomu węgla ulegają hybrydyzacji **trygonalnej sp^2** . Polega ona na „wymieszaniu” orbitalu $2s$ i dwóch orbitali $2p$. W wyniku hybrydyzacji powstają trzy równocenne orbitale sp^2 , których osie są skierowane ku narożom trójkąta równobocznego. Dlatego kąty między wiązaniami wynoszą 120° . Trzeci orbital $2p$ nie ulega hybrydyzacji i przyjmuje kierunek prostopadły do płaszczyzny orbitali zhybrydyzowanych (rys. 9.).

Zbliżenie dwóch atomów o tak zhybrydyzowanych orbitalach (rys. 10.) powoduje czołowe przenikanie się dwóch orbitali sp^2 (powstanie orbitalu molekularnego σ i utworzenie wiązania σ) oraz boczne przenikanie niezhybrydyzowanych orbitali $2p$ (powstanie orbitalu molekularnego π i utworzenie wiązania π).



Rys. 10. Tworzenie wiązań σ i π między atomami węgla w cząsteczce alkeny.

■ Eten

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 .

Długość wiązania podwójnego wynosi 133 pm, a energia wiązania jest równa $602 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$. Oddziaływanie jąder atomów węgla na wiążącą je parę elektronową π jest słabsze niż na parę elektronową σ . Wiązanie π może więc pękać, co powoduje, że **alkeny są bardziej reaktywne chemicznie niż alkanany**.

Rodzaje wiązań w cząsteczce etenu



Doświadczenie 9. C₂H₄

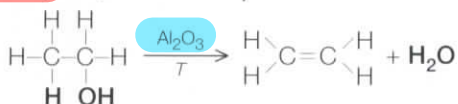
Otrzymywanie etenu (etylenu)

Probówkę z kawałkami folii polietylenowej, np. z worka na śmieci, zamknij korkiem z rurką odprowadzającą i ogrzewaj w płomieniu palnika. Wydzielający się gaz zbieraj do czterech probówek zanurzonych w wodzie (schemat). Probówki napelnione gazem szczelnie zamknij korkami. Sprawdź barwę i zapach gazu w jednej z nich. Gaz zebrany w pozostałych probówkach wykorzystaj w doświadczeniu 10.

Co obserwujesz?

W wyniku ogrzewania folii (fot. 26.) wydziela się bezbarwny, nierozpuszczalny w wodzie gaz o charakterystycznym zapachu.

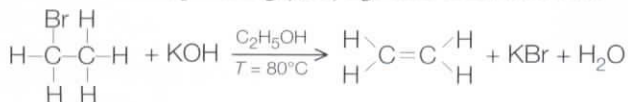
Gazem tym jest eten C₂H₄. Można go również otrzymać z etanolu w **reakcji eliminacji** cząsteczki wody:



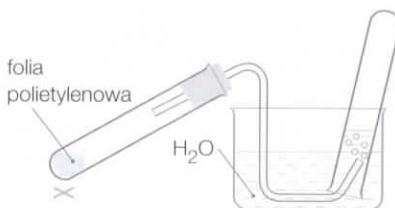
Podczas tej reakcji chemicznej ze związku nasyconego odrywa się prosta cząsteczka nieorganiczna i powstaje związek nienasycony.

W celu przeprowadzenia reakcji eliminacji wody z cząsteczki etanolu należy do probówki, zawierającej ok. 3 cm³ piasku zwilżonego etanolem, nasypać ok. 2 cm³ tlenku glinu Al₂O₃. Następnie probówkę należy lekko ogrzewać. Do tego doświadczenia chemicznego można wykorzystać szkło i sprzęt laboratoryjny z doświadczenia 9. oraz odbierać eten w taki sam sposób jak w tym doświadczeniu.

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



Ogrzewana folia polietylenowa się topi.



Fot. 26. Otrzymywanie etenu z folii polietylenowej.

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

reakcja eliminacji

To jest interesujące

Etylen jest hormonem roślinnym. Jego synteza zachodzi w węzłach łodyg, dojrzewających owocach i starzejących się tkankach roślin (fot. 27.). Etylen odgrywa główną 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 proces dojrzewania sąsiadujących owoców.

Fot. 27. Etylen powstaje m.in. w liściach.

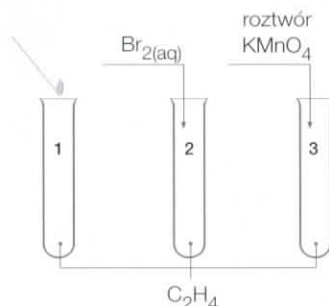


Doświadczenie 10.



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

Do wykonania doświadczenia użyj etenu otrzymanego w doświadczeniu 9. Do wylotu probówki 1. zbliż płonące łuczywo, zachowując szczególną ostrożność. Do probówki 2. nalej 2 cm^3 wody bromowej. Zamknij probówkę korkiem, zawiń w ciemny papier i wstrząsaj. Do probówki 3. nalej 2 cm^3 roztworu manganianu(VII) potasu (schemat), zamknij ją korkiem i wstrząsaj.



Co obserwujesz?

Gaz z probówki 1. spala się jasnym, świecącym płomieniem. Zawartość probówki 2. odbarwia się, a w probówce 3. powstaje brunatny osad.

Eten ulega reakcji spalania całkowitego:

spalanie całkowite C_2H_4



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

spalanie niecałkowite C_2H_4



Eten powoduje odbarwienie wody bromowej oraz roztworu manganianu(VII) potasu. Świadczy to o jego dużej reaktywności chemicznej. W przypadku manganianu(VII) potasu powstaje osad tlenku manganu(IV).

Bromowanie etenu przebiega w następujący sposób:

reakcja addycji Br_2



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

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

Wiązanie π w cząsteczce etenu jest słabsze od wiązania σ , pęka i powstaje związek nasycony.

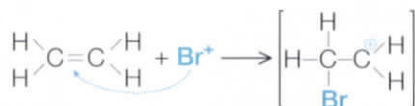
Zapisane równanie reakcji addycji przedstawia tylko substraty i końcowy produkt. Nie można z niego odczytać rzeczywistego przebiegu reakcji chemicznej. Reakcja addycji bromu do etenu **nie wymaga** działania światła ani temperatury.

Mechanizm reakcji addycji bromu do etenu składa się z następujących etapów:

Etap I. Rozpad wiązania kowalencyjnego w cząsteczce bromu pod wpływem wiązania podwójnego (duże zagęszczenie elektronów) w cząsteczce etenu i powstanie dwóch jonów bromu:



Etap II. Addycja (przyłączenie) jonu Br^+ do elektronów π w cząsteczce etenu:



karbokation (nietrwały produkt przejściowy)

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

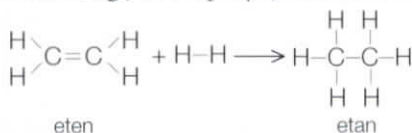


1,2-dibromoetan

Przyłączenie fluorowców do alkenów jest przykładem reakcji **addycji elektrofilowej**. W tej reakcji chemicznej kationy, np.: H^+ , NH_4^+ , Cl^+ , Br^+ , oraz związki chemiczne z luką elektronową, np. AlCl_3 , są akceptorami pary elektronowej, tzw. **elektrofilami**. W pierwszym etapie 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^-).

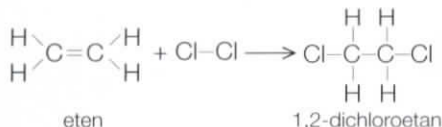
Cząsteczki alkenów mogą także przyłączać inne cząsteczki, m.in.:

a) wodór, np.



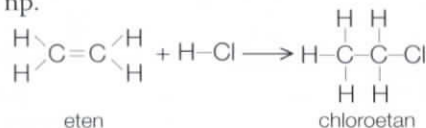
reakcja addycji H_2

b) chlor, np.



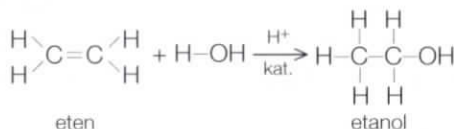
reakcja addycji Cl_2

c) chlorowodór, np.



reakcja addycji HCl

d) wodę, np.



reakcja addycji H_2O

Karbokation

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



Elektrofil

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

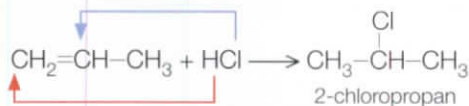
Nukleofil

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

symetryczna cząsteczka
alkenu $\text{CH}_2=\text{CH}_2$

niesymetryczna
cząsteczka alkenu
 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$

Produktami tych reakcji chemicznych są związki nasycone. W reakcjach addycji cząsteczek typu HX , gdzie X to np.: Cl , Br , I , OH , do niesymetrycznych cząsteczek alkenów, **atom wodoru cząsteczki HX przyłącza się do atomu węgla związanego z większą liczbą atomów wodoru**, np.:



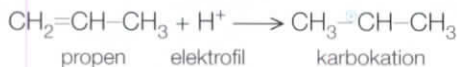
Jest to tzw. **reguła Markownikowa**.

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

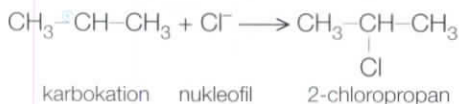
Etap I.



Etap II.



Etap III.

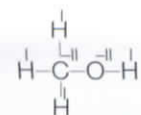
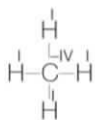


Reakcje utleniania-redukcji z udziałem związków organicznych

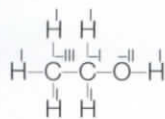
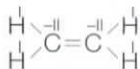
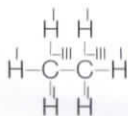
Reakcja etenu z manganianem(VII) potasu jest reakcją utleniania-redukcji. Dobieranie współczynników stechiometrycznych tej reakcji chemicznej przebiega podobnie jak w przypadku związków nieorganicznych.

Stopień utlenienia atomu węgla w związkach organicznych ustala się według następujących zasad:

1. Całkowity ładunek w cząsteczce związku organicznego wynosi 0. Wiązanie z atomem wodoru powoduje pojawienie się na atomie węgla jednostkowego ładunku ujemnego. Zatem atom węgla w metanie ma stopień utlenienia: $-IV$.
2. Wiązanie z innym atomem węgla nie wnosi dodatkowego ładunku do danego atomu, ponieważ w cząsteczkach związków organicznych stopnie utlenienia atomów węgla ustala się oddzielnie dla każdego z nich, np.



metanol CH_3OH



etanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

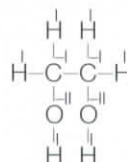
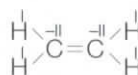
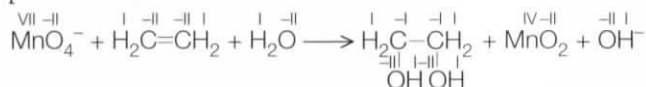
3. Pojedyncze wiązanie atomu węgla z niemetałem (fluorowcem, tlenem, azotem, siarką) powoduje powstanie na atomie węgla jednostkowego ładunku dodatniego. Dlatego np. w cząsteczce metanolu stopień utlenienia atomu węgla wynosi $-II$. W cząsteczce etanolu atom węgla w grupie metylowej $-\text{CH}_3$ ma stopień utlenienia: $-III$, zaś w grupie $-\text{CH}_2-\text{OH}$ stopień utlenienia atomu węgla wynosi: $-I$.

Przykład 1.**Ustalanie współczynników stechiometrycznych w równaniu reakcji utleniania-redukcji z udziałem związków organicznych**

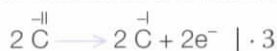
Ustal współczynniki stechiometryczne w równaniu reakcji etenu z manganianem(VII) potasu, rozpoczynając od ustalenia, które pierwiastki chemiczne zmieniły stopień utlenienia.

a) metoda bilansu elektronowego

1. Określenie stopnia utlenienia pierwiastków chemicznych w substratach i produktach:



2. Ustalenie liczby elektronów oddanych i przyjętych w reakcji redoks oraz wskazanie reduktora i utleniacza:

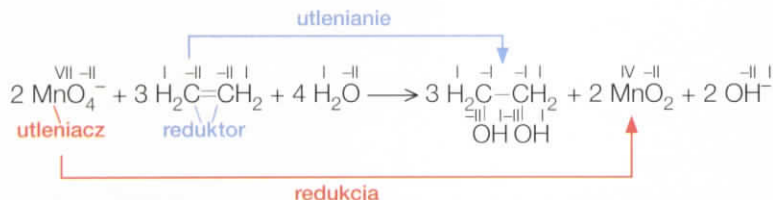


reduktor utlenia się

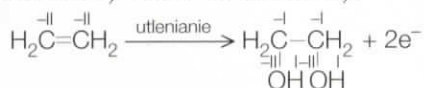


utleniacz redukuje się

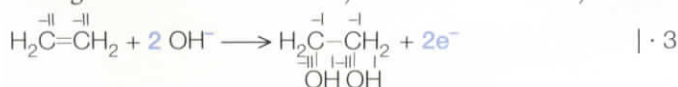
3. Zapisanie równania reakcji utleniania-redukcji z uwzględnieniem obliczonych współczynników stechiometrycznych i obliczenie liczby atomów pierwiastków chemicznych po obu stronach równania:

**b) metoda jonowo-elektronowa**

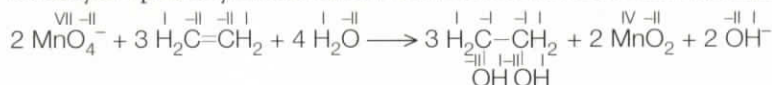
1. Zapisanie równań reakcji utleniania i redukcji:



2. Uzgodnienie równań reakcji utleniania i redukcji:

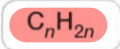


3. Zapisanie równania reakcji utleniania i redukcji, po wyrównaniu liczby oddanych i pobranych elektronów oraz zsumowaniu równań stronami:



■ Szereg homologiczny alkenów

Alkeny tworzą szereg homologiczny (tabela 7.) o wzorze ogólnym:



gdzie:

n – liczba atomów węgla w cząsteczce alkenu.

Alkeny:

$2 \leq n \leq 4$ gazy

$5 \leq n \leq 10$ ciecze

$n \geq 11$ substancje stałe

Stan skupienia alkenów, podobnie jak u alkanów, zmienia się w szeregu homologicznym. W warunkach normalnych pierwsze trzy alkeny, zawierające 2–4 atomów węgla w cząsteczce (n), są gazami. Alkeny od 5 do 10 atomach węgla w cząsteczce są cieczami, a zawierające w cząsteczce powyżej 11 atomów węgla – substancjami stałymi. W szeregu homologicznym alkenów wraz ze zwiększaniem się liczby atomów węgla w cząsteczce zwiększa się temperatura wrzenia, temperatura topnienia oraz gęstość. Alkeny są reaktywne chemicznie. Ulegają reakcji spalania oraz reakcjom addycji i polimeryzacji.

Izomeria konstytucyjna alkenów wynika nie tylko z różnej budowy łańcucha węglowodorowego (prosty, rozgałęziony) oraz innego rozmieszczenia podstawników, ale także z odmiennego usytuowania wiązania podwójnego. W cząsteczkach alkenów występuje izomeria *cis-trans*, która zostanie omówiona w dalszej części podręcznika (patrz 2.7., s. 101–105).

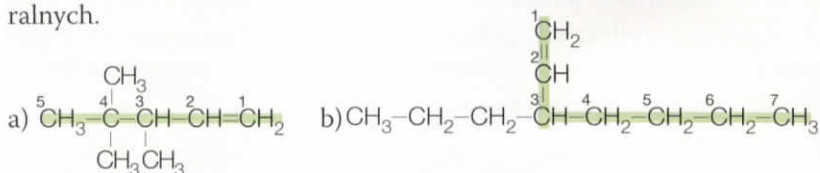
Nazwy alkenów tworzy się od nazw alkanów, zmieniając końcówkę **-an** na **-en**. **Zasady tworzenia nazw alkenów** są takie same jak u alkanów. Wyszukuje się najdłuższy łańcuch zawierający wiązanie podwójne. Następnie atomy węgla numeruje się tak, aby pierwszy atom biorący udział w wiązaniu podwójnym miał możliwie najmniejszy lokant.

Tabela 7. Szereg homologiczny alkenów

Nazwa i wzór sumaryczny	Liczba atomów węgla w cząsteczce	Wzory		
		strukturalny	półstrukturalny	szkieletowy
eten C ₂ H ₄	2		CH ₂ =CH ₂	
propen C ₃ H ₆	3		CH ₂ =CH-CH ₃	
but-1-en C ₄ H ₈	4		CH ₂ =CH-CH ₂ -CH ₃	
pent-1-en C ₅ H ₁₀	5		CH ₂ =CH-CH ₂ -CH ₂ -CH ₃	
heks-1-en C ₆ H ₁₂	6		CH ₂ =CH-CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃	

Przykład 2.**Tworzenie nazw systematycznych alkenów**

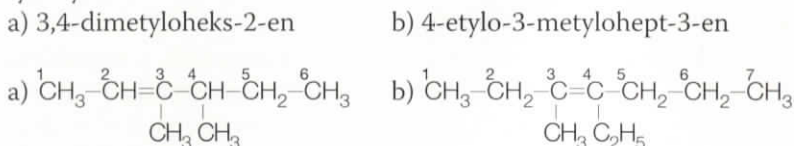
Napisz nazwy systematyczne alkenów o podanych wzorach półstrukturalnych.



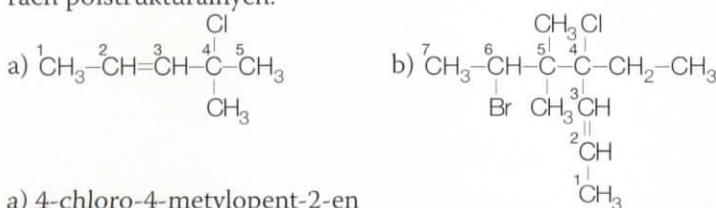
a) 3,4,4-trimetylopent-1-en b) 3-propylohept-1-en

Przykład 3.**Zapisywanie wzorów półstrukturalnych alkenów o znanych nazwach systematycznych**

Napisz wzory półstrukturalne alkenów o podanych nazwach systematycznych.

**Przykład 4.****Ustalanie nazw systematycznych alkenów zawierających atomy fluorowców w cząsteczkach**

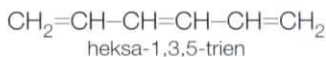
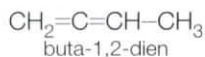
Napisz nazwy systematyczne związków chemicznych o podanych wzorach półstrukturalnych.



a) 4-chloro-4-metylopent-2-en

b) 6-bromo-4-chloro-4-etylo-5,5-dimetylohept-2-en

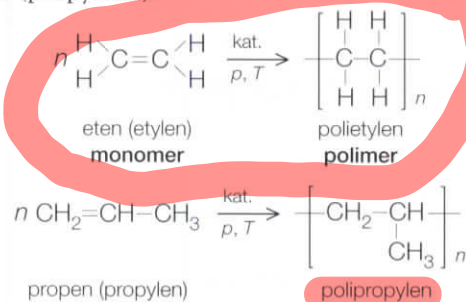
Oprócz węglowodorów nienasyconych, w których cząsteczkach występuje jedno wiązanie podwójne między atomami węgla, istnieją także związki chemiczne, w których cząsteczkach są **dwa wiązania podwójne** – **alkadieny** – lub trzy wiązania podwójne – **alkatrieny**, np.:



Polimeryzacja alkenów

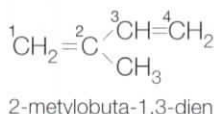
Reakcja polimeryzacji polega na wytworzeniu związku wielkocząsteczkowego – **polimeru** – ze związków **nienasyconych** – **monomerów**.

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



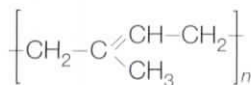
Polimery – polietylen i polipropylen – są odporne na działanie kwasów, zasad i większości rozpuszczalników organicznych, z wyjątkiem węglowodorów i ich fluorowcopochodnych. Wykazują znaczną wytrzymałość mechaniczną, są też łatwo palne. Wytwarza się z nich m.in. folie opakowaniowe, pojemniki na produkty spożywcze i wodę lub chemikalia. Ważnym polimerem naturalnym jest **kauczuk naturalny** o wzorze $(\text{C}_5\text{H}_8)_n$ 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:

monomer kauczuku



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 (fot. 28.). Współcześnie, ze względu na ogromne zapotrzebowanie na gumę, wytwarza się kauczuki syntetyczne. Monomerami do ich produkcji są:

- buta-1,3-dien $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2$,
- 2-chlorobuta-1,3-dien (chloropren) $\text{CH}_2 = \text{CCl} - \text{CH} = \text{CH}_2$.

Kauczuki syntetyczne mają lepsze właściwości użytkowe niż ich naturalne odpowiedniki.



Fot. 28. Pozyskiwanie soku z drzewa kauczukowego.

Zastosowania i występowanie alkenów

Pierwszy w szeregu homologicznym alkenów – eten jest wykorzystywany w ogrodnictwie i sadownictwie jako czynnik przyspieszający dojrzewanie owoców. Alkeny w przyrodzie występują w bardzo małych ilościach. Częściej spotyka się związki chemiczne zawierające więcej niż jedno wiązanie podwójne, np. β -karoten.



Farmacja i medycyna

β -karoten ($C_{40}H_{56}$) stosuje się jako suplement diety. Chroni on skórę przed szkodliwym działaniem promieni UV, spowalnia proces jej starzenia oraz reguluje adaptację wzroku do światła. β -karoten gromadzi się w skórze, nadając jej stopniowo delikatny, złotawy kolor. Działa jak niski filtr przeciwsłoneczny, zmniejszając ryzyko oparzenia.

Rolnictwo i ogrodnictwo

1-metylocyklopropen (C_4H_6)

– metylowa pochodna cyklopropanu, to syntetycznie otrzymywany hormon roślinny. Ze względu na brak zapachu i właściwości toksycznych jest stosowany do spowalniania dojrzewania owoców oraz utrzymywania świeżości kwiatów ciętych.



Przemysł chemiczny

Eten to ważny substrat do produkcji m.in. polietylenu czy etanolu. **Buteny** przerabia się, aby otrzymać składniki paliw płynnych, m.in. gazu płynnego LPG. **Buta-1,3-dien** stosuje się do otrzymywania polibutadienu. Polimer ten wykorzystuje się m.in. do produkcji opon samochodowych oraz kauczuku syntetycznego.

Gdzie występują alkeny?

Głównym składnikiem **żywicy sosnowej** jest alken – α -pinen ($C_{10}H_{16}$). W wielu roślinach, m.in. w **marchwi**, **pietrusce** oraz **szpinaku**, występuje żółtopomarańczowy barwnik β -karoten. Innym barwnikiem należącym do tej grupy jest likopen ($C_{40}H_{56}$). Nadaje on czerwoną barwę m.in.: **pomidorom**, **grejpfrutom** oraz **arbuzom**.





To jest interesujące

SpaceShipOne (fot. 29.) to nazwa pierwszego prywatnego statku kosmicznego, który odbył lot załogowy w przestrzeń kosmiczną. Jako paliwo zastosowano w nim **gumę** – kauczuk syntetyczny otrzymany w reakcji polimeryzacji buta-1,3-dienu. Funkcję utleniacza pełnił tlenek azotu(I). Taki napęd jest znacznie mniej niebezpieczny od ciekłego wodoru, najczęściej wykorzystywanego do silników raketowych. SpaceShipOne różni się od innych statków kosmicznych również tym, że nie startuje z wyrzutni. Do granicy stratosfery wynosi go samolot. Dopiero po odłączeniu się jest odpalany jego silnik raketowy.

Fot. 29. Statki kosmiczne budowane z zastosowaniem technologii użytej w SpaceShipOne planuje się wykorzystywać w turystyce kosmicznej. W kabinie takiego pojazdu mieszczą się pilot i dwóch pasażerów, a liczne okrągłe wizjery, umieszczone w kadłubie, umożliwiają obserwację kosmosu.

Rozwiąż zadania

1. Napisz równania reakcji spalania całkowitego i niecałkowitego alkenów, których cząsteczki są przedstawione za pomocą modeli.



Modele: atomu węgla atomu wodoru

2. Napisz równania reakcji chemicznych propenu z:

a) wodorem, b) chlorem, c) chlorowodorem.

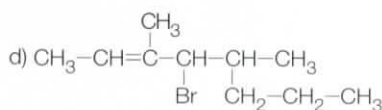
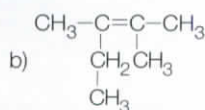
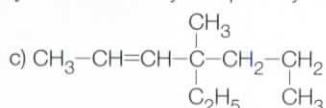
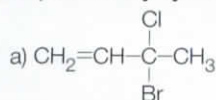
Określ rodzaj każdej z tych reakcji chemicznych.

3. Przedstaw mechanizmy reakcji chemicznych z zadań 2b i 2c.

4. 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

5. Napisz nazwy systematyczne związków chemicznych o podanych wzorach.

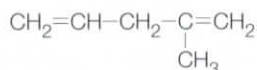


6. Napisz wzory półstrukturalne związków chemicznych o podanych nazwach.

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

7. Określ liczbę wszystkich wiązań σ i π w cząsteczce związku chemicznego

o wzorze półstrukturalnym:



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

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

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

10. Oblicz, ile cząsteczek etylenu poddano polimeryzacji, jeżeli masa cząsteczkowa polietylenu wynosi 20 000 u.

11. Alkan, w którym stosunek masowy C : H wynosi 4 : 1, poddano katalitycznemu odwodornieniu i otrzymano alken o takiej samej liczbie atomów węgla w cząsteczce. Następnie do powstałego alkenu przyłączono bromowodór. Napisz równanie reakcji addycji i nazwę otrzymanego produktu.

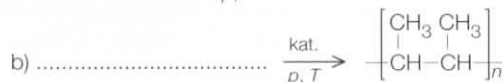
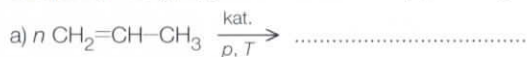
12. Zaprojektuj doświadczenie chemiczne, pozwalające odróżnić etan od etenu.

- a) Wybierz odpowiedni odczynnik.
- b) Narysuj schemat.
- c) Zapisz obserwacje.
- d) Określ typ reakcji chemicznej, która jest podstawą tego doświadczenia chemicznego, posługując się podziałem reakcji charakterystycznym dla chemii organicznej.

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

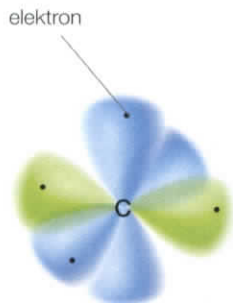
- a) but-1-en
- b) 3,3-dimetylobut-1-en

14. Uzupełnij następujące równania reakcji polimeryzacji oraz podaj nazwy substratów i produktów:



15. 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.

2.3. Węglowodory nienasycone – alkiiny



Rys. 11. Hybrydyzacja sp orbitali atomu węgla.

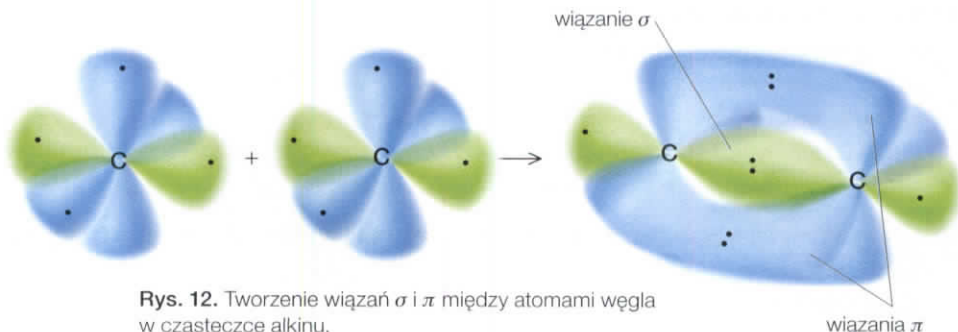
Alkiiny to węglowodory, których cząsteczki zawierają – oprócz wiązań pojedynczych – **jedno wiązanie potrójne między atomami węgla**:



Wiązanie potrójne powstaje, gdy orbitale atomu węgla ulegają hybrydyzacji **dygonalnej sp** . Polega ona na „wymieszaniu” orbitalu $2s$ i orbitalu $2p$.

W wyniku hybrydyzacji powstają dwa równocenne orbitale sp (rys. 11.), których osie są położone na linii prostej. Dlatego kąty między wiązaniami wynoszą 180° . Dwa orbitale $2p$ nie ulegają hybrydyzacji i przyjmują kierunki prostopadłe do siebie (jeden orbital $2p$ jest położony w płaszczyźnie orbitali zhybrydizowanych, a drugi – prostopadłe do tej płaszczyzny).

Zbliżenie dwóch atomów o tak zhybrydizowanych orbitalach (rys. 12.) powoduje czołowe przenikanie orbitali sp (powstanie orbitalu molekularnego σ i utworzenie wiązania σ) oraz boczne przenikanie niezhybrydizowanych orbitali $2p$ (powstanie dwóch orbitali molekularnych π i utworzenie dwóch wiązań π).



Rys. 12. Tworzenie wiązań σ i π między atomami węgla w cząsteczce alkinu.

■ Etyn

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



Długość wiązania potrójnego wynosi 120 pm, a energia wiązania jest równa $830 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$. Podobnie jak w cząsteczce etenu, wiązania π są słabsze niż wiązanie σ i mogą pękać. Powoduje to, że alkiiny, w których występują dwa wiązania π , są **bardziej reaktywne chemicznie niż alkeny**, mające jedno wiązanie π , oraz alkanany, w których wiązania π nie występują.

Doświadczenie 11. CH_4 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, C_2H_2

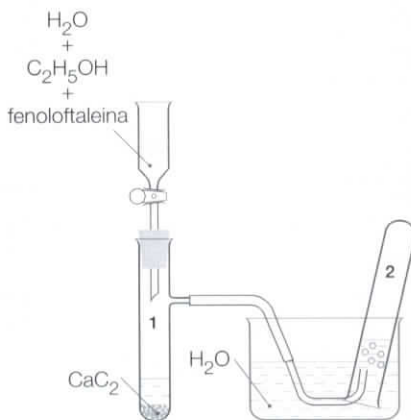
Otrzymywanie etynu (acetylenu)

! 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.**

Do probówki zawierającej małą ilość karbidu (węglika wapnia) wkraplać 3 cm^3 roztworu wody i etanolu (zmieszanych w stosunku objętościowym 1 : 1) oraz z kroplą roztworu fenoloftaleiny. Do przeprowadzenia tego doświadczenia używa się mieszaniny wody z etanolem. Dodanie etanolu powoduje zmniejszenie szybkości reakcji chemicznej. Etanol pełni więc funkcję inhibitora tej reakcji chemicznej. Wydzielający się gaz zbier do czterech probówek. Sprawdź barwę i zapach gazu w jednej z probówek. Pozostałe probówki napełnione gazem szczelnie zamknij korkami.

Co obserwujesz?

Zebrany gaz wykorzystaj w doświadczeniu 12.



Fot. 30. Otrzymywanie etynu.

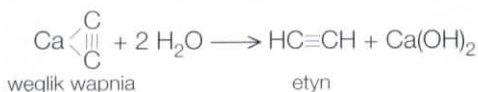
Z probówki 1. wydziela się bezbarwny, bezwonny i nierozpuszczalny w wodzie gaz. Zawartość probówki 1. barwi się na malinowo.

Zabarwienie fenoloftaleiny świadczy o tym, że w probówce 1. powstał produkt o odczynie zasadowym (fot. 30.).

Karbid (węglik wapnia) reaguje z wodą zgodnie z równaniem:



otrzymywanie C_2H_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):



piroliza CH_4

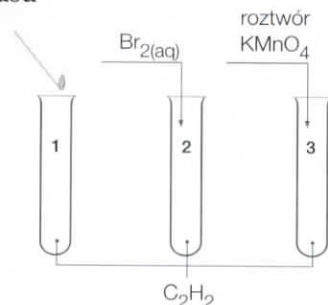
Doświadczenie 12.



Spalanie etynu oraz badanie jego zachowania wobec wody bromowej i manganianu(VII) potasu

Do wykonania doświadczenia użyj etynu otrzymanego w doświadczeniu 11. Do wylotu probówki 1. zbliż zapalone łuczywo. Do probówki 2. nalej 2 cm^3 wody bromowej, a do probówki 3. – 2 cm^3 roztworu manganianu(VII) potasu (schemat). Probówki 2. i 3. zamknij korkami i wstrząśnij.

Co obserwujesz?



Etyń (acetylen) spala się jaskrawym, kopcącym płomieniem. Woda bromowa w probówce 2. odbarwia się. W probówce 3. powstaje brunatny osad.

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

spalanie niecałkowite C_2H_2



Spalanie całkowite etynu następuje przy zwiększonym dopływie tlenu, m.in. w płomieniu palnika acetylenowo-tlenowego (fot. 31.):

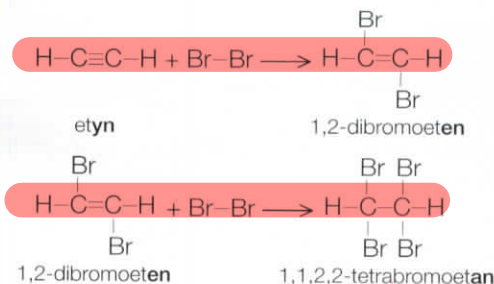
spalanie całkowite C_2H_2



Etyń, podobnie jak eten, powoduje odbarwienie wody bromowej i roztworu manganianu(VII) potasu oraz 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. Mechanizm tej reakcji chemicznej jest taki sam jak w przypadku bromowania etenu:



Fot. 31. Temperatura płomienia palnika acetylenowo-tlenowego wynosi ok. 3000°C .



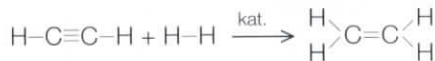
Reakcje przyłączania z udziałem alkinów przebiegają na ogół dwu-etapowo:

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:

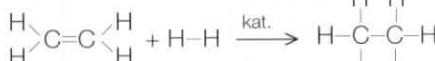
a) wodoru, np.:



etyn

eten

reakcja addycji H_2



eten

etan

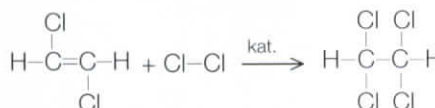
b) chloru, np.:



etyn

1,2-dichloroeten

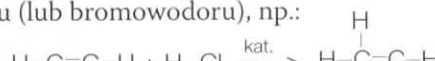
reakcja addycji Cl_2



1,2-dichloroeten

1,1,2,2-tetrachloroetan

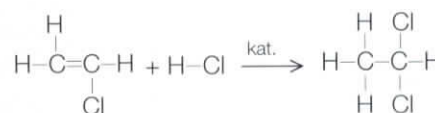
c) chlorowodoru (lub bromowodoru), np.:



etyn

chloroeten (chlorek winylu)

reakcja addycji HCl

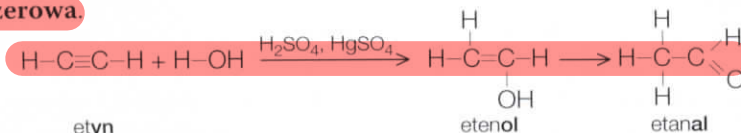


chloroeten

1,1-dichloroetan

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 alkohol nienasycony – **etenol**. Jest on nietrwały i przekształca się w izomeryczny aldehyd – **etanal** (aldehyd octowy). Reakcja przyłączania wody do etynu nosi nazwę **reakcji Kuczerowa**.



etyn

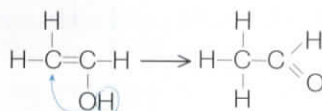
etenol

etanal

reakcja addycji H_2O
reakcja Kuczerowa

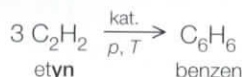
Przemiana etenolu w etanal to tzw. **przegrupowanie wewnątrzcząsteczkowe**, które polega na przemieszczeniu się atomu wodoru z grupy $-\text{OH}$ wewnątrz cząsteczki i przyłączeniu go do atomu węgla.

Jest to możliwe, ponieważ atom wodoru z grupy $-OH$ jest najłatwiej złączony w cząsteczce:



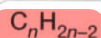
W wyniku polimeryzacji trzech cząsteczek etynu powstaje **benzen**.

otrzymywanie C_6H_6



■ Szereg homologiczny alkinów

Alkiny tworzą szereg homologiczny (tabela 8.) o wzorze ogólnym:



gdzie:

n – liczba atomów węgla w cząsteczce alkinu.

Tabela 8. Szereg homologiczny alkinów

Nazwa i wzór sumaryczny	Liczba atomów węgla w cząsteczce	Wzory		
		strukturalny	półstrukturalny	szkieletowy
etyn C_2H_2	2	$\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$	$\text{CH}\equiv\text{CH}$	
propyn C_3H_4	3	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$	
but-1-yn C_4H_6	4	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	

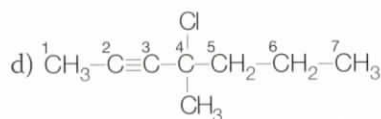
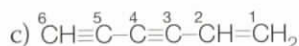
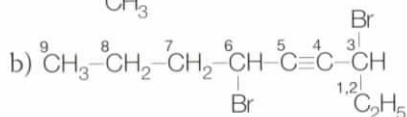
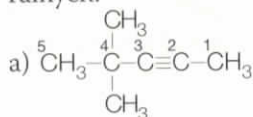
Trzy pierwsze związki chemiczne szeregu homologicznego alkinów są gazami. Wraz ze zwiększaniem się liczby atomów węgla w cząsteczce, zwiększa się temperatura wrzenia, temperatura topnienia i gęstość alkinów. Wszystkie alkiны mają gęstość mniejszą od gęstości wody. Są też bardzo reaktywne chemicznie –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

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

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

Przykład 1.**Tworzenie nazw systematycznych alkinów**

Napisz nazwy systematyczne alkinów o podanych wzorach półstrukturalnych.

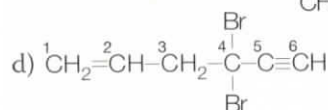
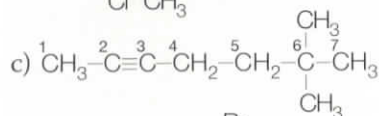
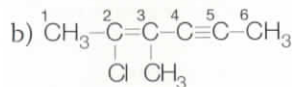
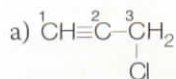


- a) 4,4-dimetylopent-2-yn
b) 3,6-dibromonon-4-yn
c) heks-1-en-3,5-diyń
d) 4-chloro-4-metylohept-2-yn

Przykład 2.**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



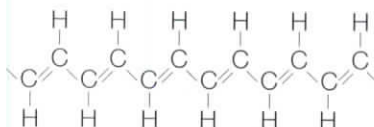
Polimeryzacja alkinów

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



etyn (acetylen)
monomer

poliacetylen
polimer



fragment łańcucha poliacetyleny

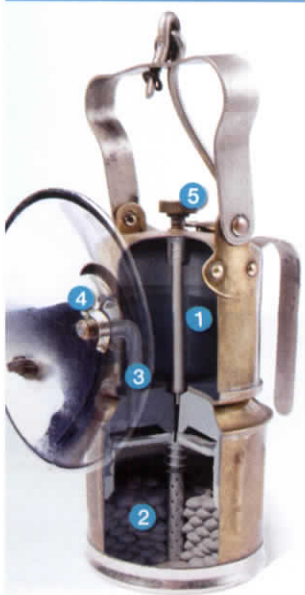


Fot. 32. Diody OLED wykorzystuje się m.in. do produkcji lekkich komputerów przenośnych.

Cząsteczki etynu łączą się, wykorzystując elektrony jednego z dwóch wiązań π . Pozostałe elektrony π mogą swobodnie poruszać się wzdłuż długiego łańcucha poliacetyleny. Umożliwia to przepływ prądu elektrycznego przez cząsteczki tego polimeru. Polimery przewodzące prąd elektryczny wykorzystuje się m.in. w organicznych diodach elektroluminescencyjnych OLED [ang. *Organic Light-Emitting Diode*]. Są to diody LED wytwarzane ze związków organicznych. Stosuje się je m.in. w płaskich i giętkich ekranach telefonów komórkowych oraz w laptopach (fot. 32.).

To jest interesujące

Prosta konstrukcja, trwałość i niski koszt eksploatacji to cechy, dzięki którym lampę karbidową (fot. 33.) – wynalezioną w końcu XIX w. – wykorzystuje się do dzisiaj. Zestaw stosowany w alpinizmie jaskiniowym składa się z wytwornicy acetyleny połączonej wężykiem z palnikiem umieszczonym na kasku. Wytwarzane tym sposobem światło lepiej rozprasza się w porównaniu ze światłem elektrycznym i jest łagodniejsze dla oczu. Karbidówki składają się z dwóch komór. Górna **1** jest wypełniona wodą, która kapie do komory dolnej **2**, wypełnionej karbidem, czyli węglikiem wapnia CaC_2 . Jednym z produktów zachodzącej reakcji chemicznej jest etyn C_2H_2 , odprowadzany rurką **3** do palnika **4**. Grotolaz może zmienić wysokość płomienia zaworem **5**, który reguluje przepływ wody.



Fot. 33. W XIX w. karbidówkę powszechnie stosowano m.in. do oświetlania wagonów kolejowych i statków. W czasie II wojny światowej była również wykorzystywana do oświetlania mieszkań.

Zastosowania i występowanie alkinów

Alkiny występują w środowisku przyrodniczym bardzo rzadko. Najczęściej spotyka się węglowodory nienasycone z kilkoma wiązaniami potrójnymi, tzw. **poliiny**. Alkiny, dzięki dużej reaktywności chemicznej, wykorzystuje się w wielu syntezach organicznych.



Spawanie i cięcie metali

Propyn można bezpiecznie sprężać, m.in. dlatego stosuje się go w mieszaninach gazów (propan, butan, propyn i propadien), wykorzystywanych w palnikach gazowo-tlenowych. Takich palników używa się np. do spawania podwodnego. **Etyn** tworzy z tlenem mieszaninę, którą wykorzystuje się w palnikach acetylenowo-tlenowych, stosowanych do spawania i cięcia metali.

Synteza organiczna

Etyn jest substratem syntez wielu związków organicznych, m.in.:

- chloroetenu, z którego w wyniku reakcji polimeryzacji otrzymuje się PVC,
- etanal – ważnego surowca w syntezie kwasu etanowego, butadienu (synteza kauczuku),
- etanolu – często stosowanego jako rozpuszczalnik.

Źródła energii

Etyn był paliwem w lampach gazowych – karbidówkach. Otrzymywano go w reakcji węgla wapnia (karbidu) z wodą. Płomień etynu stosowano także jako oświetlenie m.in. rowerowe, motocyklowe i samochodowe. Do produkcji etynu na skalę przemysłową coraz rzadziej stosuje się reakcję karbidu (CaC_2) z parą wodną, gdyż ten sposób wymaga zużycia dużej ilości energii elektrycznej.



Gdzie występują alkiny?

Minerały tworzące **meteoryty** zawierają poliiny. W łańcuchach tych związków chemicznych węgle są połączone naprzemiennie wiązaniami pojedynczymi i potrójnymi. Poliiny wyizolowano również z korzenia północnoamerykańskiej rośliny o nazwie **jeżówka**. Te węglowodory nienasycone mają właściwości wirusostatyczne – hamują rozwój wirusów i działają podobnie jak antybiotyki. Z kolei w **szafranie** występuje węglowodór nienasycony o nazwie trideka-1,3,11-trien-5,7,9-tryn.



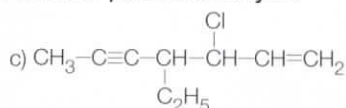
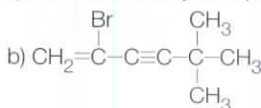
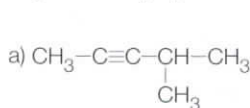
Rozwiąż zadania

1. Napisz równania reakcji propynu z:

- a) chlorem, b) chlorowodorem.

Podaj nazwy powstałych związków chemicznych oraz określ rodzaj zachodzącej reakcji chemicznej.

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



3. Napisz wzory półstrukturalne związków chemicznych o podanych nazwach systematycznych.

a) 3-bromobut-1-yn

b) 3,3-dichloroheks-1-en-4-yn

c) 3,3-dimetylopent-1,4-diyń

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

5. Napisz wzory półstrukturalne czterech izomerów alkinu, który zawiera 6 atomów węgla w cząsteczce.

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

7. Oblicz, ile gramów węgla wapnia potrzeba do otrzymania $11,2 \text{ dm}^3$ etynu w warunkach normalnych.

8. Karbid techniczny zawiera 80% (procent masowy) węgla wapnia. Oblicz, ile kilogramów etynu można otrzymać z 1 t tego karbidu technicznego.

9. Napisz równanie reakcji chemicznej etynu z manganianem(VII) potasu, wiedząc, że produktami tej reakcji chemicznej są: tlenek manganu(IV), wodorotlenek potasu, szczawian potasu $(\text{COOK})_2$ i woda. Ustal współczynniki stechiometryczne tej reakcji chemicznej. Wskaż procesy utlenienia i redukcji oraz utleniacz i reduktor.

10. W wyniku spalania całkowitego 1 dm^3 pewnego gazowego alkinu otrzymano 3 dm^3 tlenku węgla(IV) w warunkach normalnych. Określ wzór sumaryczny oraz strukturalny tego alkinu i podaj jego nazwę.

11. Uzupełnij tabelę dotyczącą atomów węgla (o różnej hybrydyzacji) w cząsteczce węglowodoru.

Rodzaj hybrydyzacji	sp^3	sp^2	sp
Nazwa	tetragonalna		
Liczba wiązań			4
Liczba wiązań σ		3	
Liczba wiązań π	0		
Kąty między wiązaniami		120°	



węglik wapnia

12. Mieszanina gazów stosowana w butlach acetylenowo-tlenowych zawiera zazwyczaj $0,7 \text{ m}^3$ acetylenu na każdy 1 m^3 tlenu. Oblicz, czy objętość gazów w butlach wystarczy do przeprowadzenia reakcji spalania całkowitego acetylenu, czy też jeden z nich występuje w butli w nadmiarze.

2.4. Węglowodory aromatyczne – areny. Benzen

Do węglodorów aromatycznych (arenów) zalicza się: **benzen i jego homologi – metylobenzen (toluen), etylobenzen, propylobenzen, oraz ich izomery, a także wielopierścieniowe związki aromatyczne, np. naftalen i antracen.**

Wiele tych związków chemicznych wyodrębniano z olejków żywicznych o przyjemnym aromacie, stąd pochodzi ich nazwa. Jednak nie wszystkie związki aromatyczne pachną przyjemnie – wiele z nich nie ma żadnego zapachu. Mimo to, nazwa **węglowodory aromatyczne** dla tej grupy związków chemicznych nadal obowiązuje.

■ Benzen

Najważniejszym przedstawicielem arenów jest **benzen** C_6H_6 . Liczba atomów wodoru w jego cząsteczce jest znacznie mniejsza od liczby atomów wodoru w cząsteczce alkanu, który zawiera taką samą liczbę atomów węgla w cząsteczce.

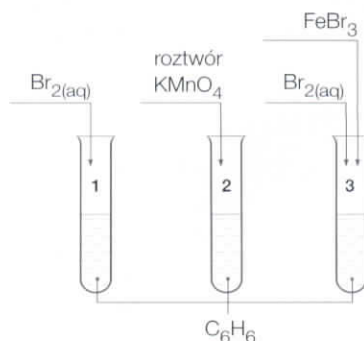
Doświadczenie 13.  C_6H_6  $KMnO_4$, Br_2

Badanie właściwości benzenu

! Benzen jest truciźną i ma właściwości rakotwórcze. Z tego powodu nie należy badać doświadczalnie właściwości benzenu na lekcjach chemii, lecz omówić je z wykorzystaniem np. pomocy multimedialnych.

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 wody bromowej, do probówki 2. – 1 cm^3 roztworu manganianu(VII) potasu, a do probówki 3. – 1 cm^3 wody bromowej 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.

Co można zaobserwować?



Fot. 34. Pod wpływem powietrza benzen spala się. Produktami są węgiel i woda.



Fot. 35. Zachowanie benzenu wobec: a) wody bromowej, b) roztworu KMnO_4 , c) wody bromowej z FeBr_3 .

spalanie całkowite C_6H_6

spalanie niecałkowite C_6H_6

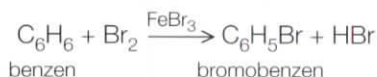
Benzen na szklanej bagietce spala się kopcącym płomieniem (fot. 34., s. 81). Woda bromowa w probówce 1. oraz roztwór manganianu(VII) potasu w probówce 2. nie odbarwiły się (fot. 35.a, 35.b). W probówce 3. woda bromowa odbarwiła się (fot. 35.c), a zwilżony wodą uniwersalny papierek wskaźnikowy zabarwił się na czerwono. We wszystkich probówkach widać dwie warstwy cieczy.

Benzen jest bezbarwną cieczą o charakterystycznym zapachu. W probówkach (fot. 35.) 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 węgla w tym związku chemicznym. Reakcje spalania benzenu można przedstawić za pomocą równań:



Brom lepiej rozpuszcza się w benzenie niż w wodzie. Świadczy o tym pomarańczowe zabarwienie przez brom warstwy benzenu w probówce 1. (fot. 35.a). Benzen reaguje z bromem, jednak nie pod wpływem światła jak alkany. Reakcja chemiczna zachodzi w obecności katalizatora – bromku żelaza(III) FeBr_3 . Produktami są **bromobenzen** $\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$ oraz bromowodor HBr . Zachodzi więc reakcja substytucji, którą można przedstawić za pomocą równania:

reakcja substytucji



Benzen nie wykazuje charakteru nienasyconego, gdyż **nie zachodzi reakcja addycji bromu**.

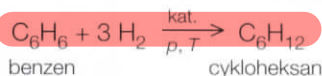
Jeśli mieszanina bromu i benzenu będzie poddawana promieniowaniu nadfioletowemu, zajdzie **stopniowa addycja** bromu do benzenu. Jej końcowy produkt stanowi **heksabromocykloheksan**:

reakcja addycji Br_2



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

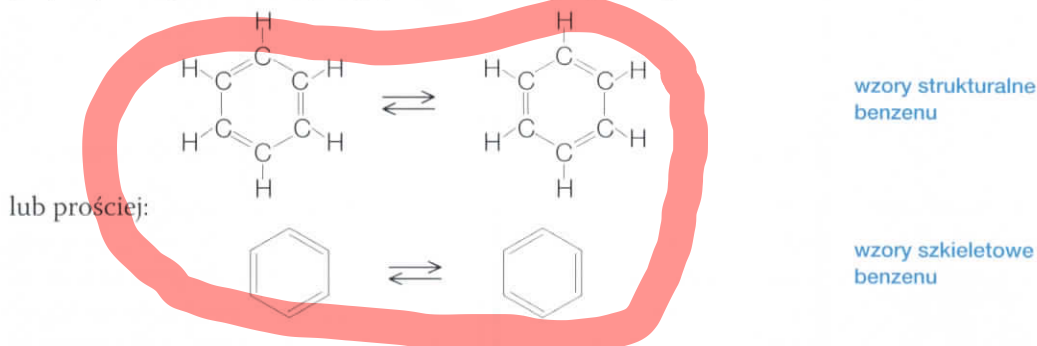
reakcja addycji H_2



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

Struktura cząsteczki 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 von Stradonitz**. 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:



Wzoru Kekulégo nie można uznać za poprawny, ponieważ nie jest on zgodny z właściwościami benzenu. Gdyby ten węglowodór miał budowę sugerowaną przez Kekulégo, powinien łatwo ulegać reakcjom addycji. **W rzeczywistości addycja zachodzi trudno, a najbardziej typowe dla benzenu są reakcje substytucji.**

Na podstawie badań i pomiarów stwierdzono, że cząsteczka benzenu jest płaska, a tworzące ją atomy węgla leżą w narożach sześciokąta foremnego. Każdy z atomów węgla jest połączony z jednym atomem wodoru. Wszystkie wiązania między atomami węgla w cząsteczce benzenu mają jednakową długość 139 pm. Są więc krótsze od wiązań pojedynczych, ale nieco dłuższe od wiązań podwójnych (rys. 13., s. 84). Wszystkie kąty między wiązaniami C–C i C–H wynoszą po 120°.

długość wiązania pojedynczego: 154 pm

długość wiązania podwójnego: 133 pm

To jest interesujące

Zaproponowana przez Kekulégo w 1866 r. koncepcja wzoru benzenu nie została zaakceptowana. Wzór ten nie odzwierciedlał aromatycznych właściwości węglowodoru. W kolejnych latach pojawiały się propozycje innych chemików. Ostatecznie w 1872 r. zaakceptowano wzór Kekulégo.



wzór benzenu
według Clausa,
1867 r.



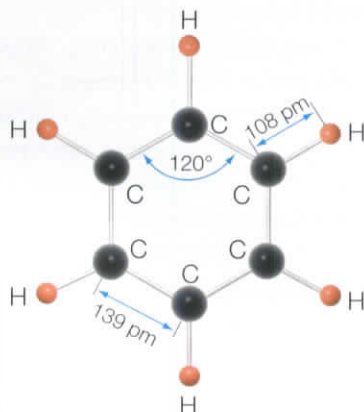
wzór benzenu
według Dewara,
1867 r.



wzór benzenu
według Ladenburga,
1869 r.

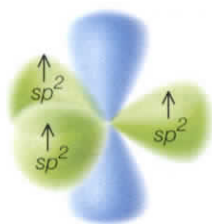


wzór benzenu
według Kekulégo,
1872 r.



Rys. 13. Model budowy cząsteczki benzenu z zaznaczonymi długościami wiązań.

zhybrydyzowane orbitale
 sp^2 :



Atomy wchodzące w skład cząsteczki benzenu zawierają 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 można wyjaśnić w następujący sposób. Orbitale atomowe węgla w cząsteczce benzenu ulegają hybrydyzacji sp^2 . Każdy atom węgla wykorzystuje dwa orbitale zhybrydyzowane sp^2 do utworzenia wiązań σ między atomami węgla. Trzeci orbital tworzy wiązanie σ łączące atom węgla z atomem wodoru.

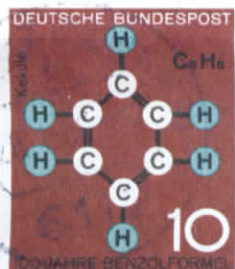
Hybrydyzacja sp^2 wyjaśnia płaską budowę pierścienia benzenowego.

Orbitale atomowe p , które nie biorą udziału w hybrydyzacji, są prostopadłe do płaszczyzny pierścienia i ulegają bocznemu nakładaniu się, tak jak przy tworzeniu wiązania π (rys. 14., s. 85). W ten sposób tworzy się kołowy **molekularny obszar orbitalny π** , zajmowany przez 6 elektronów pochodzących od 6 atomów węgla cząsteczki benzenu. Powstaje wiązanie obejmujące wszystkie atomy węgla pierścienia benzenowego.

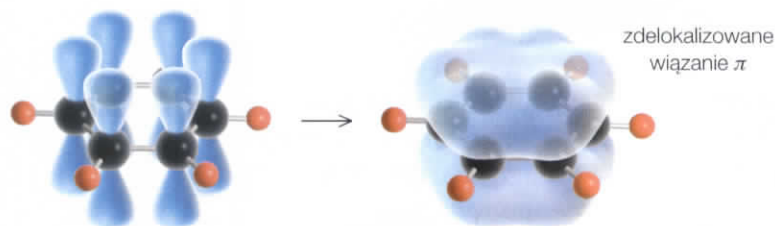
To jest interesujące

Friedrich August Kekulé von Stradonitz, proponując pierścieniową budowę cząsteczki benzenu (fot. 36.), zapoczątkował chemię związków aromatycznych. Nie był to jednak 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. W młodości Kekulé, który miał talent plastyczny, planował pójść na studia architektoniczne. Na zmianę jego decyzji wpłynął inny wielki chemik – Justus von Liebig. Dzięki niemu Kekulé rozpoczął studia na wydziale chemii uniwersytetu w Giessen (Gießen).

Fot. 36. Znaczek pocztowy wydany w 100. rocznicę przedstawienia propozycji struktury benzenu przez Kekulégo.



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



Rys. 14. Model tworzenia zdelokalizowanych orbitali π (zdelokalizowane wiązanie π).

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

Delokalizację elektronów przedstawia się graficznie za pomocą okręgu wpisanego w pierścień benzenowy. **Okrąg symbolizuje 6 elektronów równomiernie rozłożonych w całej cząsteczce.**

Boki sześciokąta foremego przedstawiają wiązania między atomami węgla. Jednak zgodnie z zaleceniami IUPAC przedstawienie elektronów zdelokalizowanych za pomocą okręgu w sześciokącie nie powinno być stosowane. W praktyce stosuje się więc wzór Kekulégo, pamiętając o jego **umownym charakterze**.

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

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

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

Cząsteczka **jest aromatyczna**:



Cząsteczka **nie jest aromatyczna**:



wzór uproszczony benzenu:



wzory Kekulégo:



lub



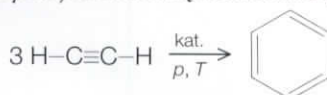
Reguła Hückela

– związki aromatyczne charakteryzują się obecnością $4n + 2$ elektronów zdelokalizowanych.

Otrzymywanie i właściwości chemiczne benzenu

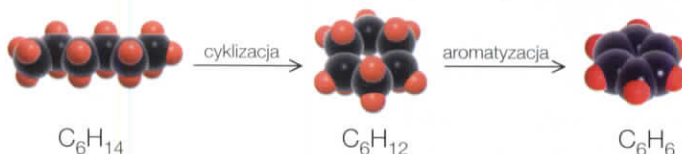
Benzen jest produktem destylacji smoły węglowej (fot. 37.). Powstaje również w reakcji polimeryzacji trzech cząsteczek acetylenu (trimeryzacji):

trimeryzacja acetylenu



Fot. 37. Smoła węglowa, otrzymana w procesie destylacji ropy naftowej, jest mieszaniną kilkuset związków organicznych.

Można go także otrzymać z ropy naftowej w procesie **reformingu**. Węglowodory nasycone o prostych łańcuchach węglowych przekształcają się wówczas w węglowodory aromatyczne (rys. 15.).



Rys. 15. Uproszczony schemat powstawania benzenu w procesie reformingu.

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

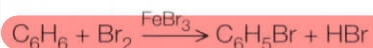
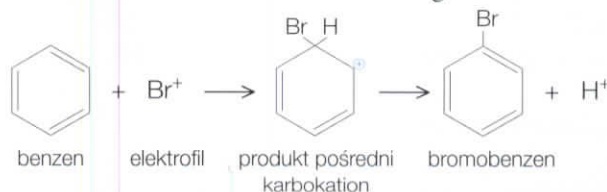
Charakterystycznymi reakcjami węglowodorów aromatycznych są reakcje substytucji elektrofilowej. Przykładem takiej reakcji chemicznej jest **bromowanie benzenu**. Podczas bromowania alkenów brom przyłącza się do wiązania podwójnego. Natomiast z benzenem reaguje jedynie w obecności katalizatora, którym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

Katalizator ułatwia powstanie elektrofilu, którym w reakcji bromowania jest jon Br^+ :



Reakcja bromowania benzenu zachodzi według równania:

reakcja bromowania benzenu



Podczas tworzenia produktu pośredniego zanika delokalizacja elektronów w pierścieniu benzenowym. Układ aromatyczny odtwarza się przez odłączenie kationu wodoru od produktu pośredniego. Produktem ubocznym jest bromowodór HBr . Odtwarza się również cząsteczka katalizatora FeBr_3 :



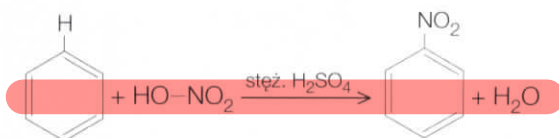
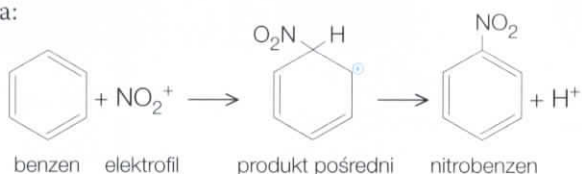
Innym przykładem substytucji elektrofilowej jest **reakcja nitrowania benzenu** (fot. 38.). Przeprowadza się ją przy użyciu **mieszaniny nitrującej**. Jest to mieszanina stężonego roztworu kwasu azotowego(V) i stężonego roztworu kwasu siarkowego(VI). W reakcji nitrowania stężony roztwór kwasu siarkowego(VI) odgrywa podwójną rolę:

- powoduje wytworzenie ze stężonego roztworu HNO_3 **kationu nitroniowego** NO_2^+ w wyniku specyficznej reakcji dysocjacji:

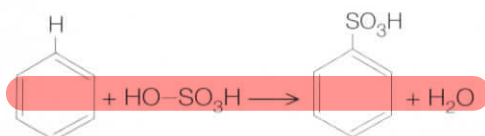


- jako związek higroskopijny wiąże wodę powstałą w reakcji nitrowania.

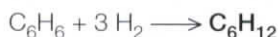
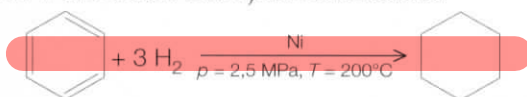
Elektrofil, którym jest kation nitroniowy NO_2^+ , reaguje z elektronami π pierścienia benzenowego. Powoduje to oderwanie kationu wodoru od pierścienia:



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** $-\text{SO}_3\text{H}$:



Przykładem **reakcji addycji** do cząsteczki benzenu jest reakcja uwodornienia benzenu. Zachodzi ona w temperaturze 200°C , pod ciśnieniem $2,5 \text{ MPa}$ i w obecności niklu jako katalizatora:



Fot. 38. Nitrowanie jest reakcją egzoenergetyczną. Zazwyczaj przeprowadza się je w temperaturze ok. $60\text{--}70^\circ\text{C}$. Dlatego kolbę reakcyjną trzeba ochładzać, zanurzając ją w zimnej wodzie.

nitrobenzen

kwas benzenosulfonowy

cykloheksan

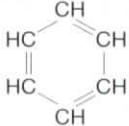
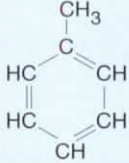
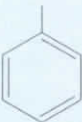
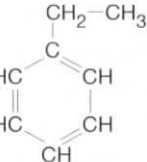
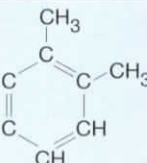
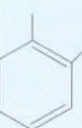
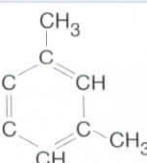
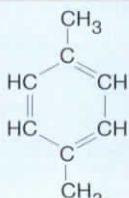
■ Szereg homologiczny benzenu

Benzen jest podstawowym węglowodorem aromatycznym. Wzór ogólny związków szeregu homologicznego benzenu (tabela 9.) ma postać:

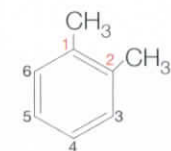
$$C_nH_{2n-6}$$

gdzie:
 n – liczba atomów węgla w cząsteczce węglowodoru aromatycznego.

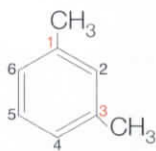
Tabela 9. Szereg homologiczny benzenu

Nazwa węglowodoru aromatycznego	Liczba atomów węgla w cząsteczce	Wzór sumaryczny	Wzór półstrukturalny	Wzór szkieletowy
benzen	6	C_6H_6		
metylobenzen (toluen)	7	C_7H_8 $C_6H_5-CH_3$		
etylobenzen	8	C_8H_{10} $C_6H_5-C_2H_5$		
1,2-dimetylobenzen ortoksylen o-ksylen	8	C_8H_{10} $C_6H_4-(CH_3)_2$		
1,3-dimetylobenzen metaksylen m-ksylen	8	C_8H_{10} $C_6H_4-(CH_3)_2$		
1,4-dimetylobenzen paraksylen p-ksylen	8	C_8H_{10} $C_6H_4-(CH_3)_2$		

Homologiem benzenu jest **ksylen**, w którym dwa atomy wodoru zostały zastąpione przez grupy metylowe. Położenie tych dwóch grup może być różne. Dlatego w celu odróżnienia izomerów ksyleny stosuje się izomerię *orto-meta-para*:



1,2-dimetylobenzen
ortoksylen
o-ksylen



1,3-dimetylobenzen
metaksylen
m-ksylen

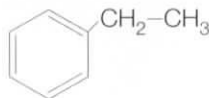


1,4-dimetylobenzen
paraksylen
p-ksylen

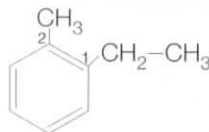
Do tworzenia nazw węglowodorów aromatycznych nie zawsze stosuje się reguły przyjęte dla innych węglowodorów. Na przykład dla benzenu nie używa się nazwy cykloheks-1,3,5-trien, gdyż cząsteczka benzenu nie zawiera wiązań podwójnych, a wiązanie zdelokalizowane π .



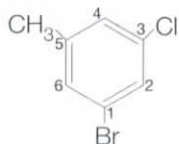
metylobenzen



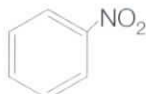
etylobenzen



1-etylo-2-metylobenzen



1-bromo-3-chloro-5-metylobenzen



nitrobenzen

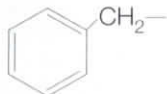


chlorobenzen

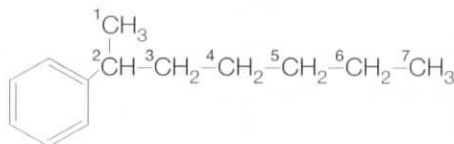
Benzen nie zawsze stanowi człon główny cząsteczki związku aromatycznego. Jeśli podstawnik zawiera sześć lub mniej atomów węgla, nazwę związku chemicznego tworzy się podobnie, jak w przypadku podstawionych pochodnych benzenu. Jeśli jednak grupa alkilowa zawiera więcej niż sześć atomów węgla, pierścień aromatyczny traktuje się jako podstawnik, np. **fenyl** lub **benzyl**:



grupa fenylowa
(fenyl)



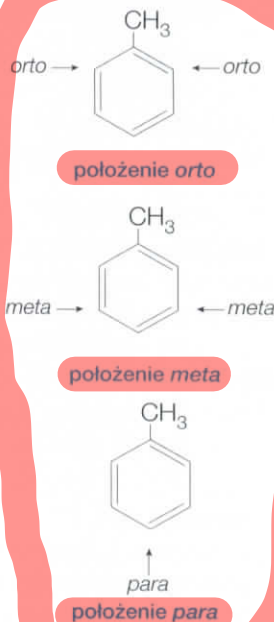
grupa benzylowa
(benzyl)



2-fenylheptan

grupa fenylowa
 C_6H_5-

grupa benzylowa
 $C_6H_5CH_2-$



Zastosowania i występowanie benzenu

Właściwości benzenu, powszechnie stosowanego jako rozpuszczalnik, m.in. wosków, tłuszczów, farb i lakierów, spowodowały, że obecnie zastępuje się go innymi związkami chemicznymi. **Benzen jest bowiem toksyczny i rakotwórczy.** Może powodować wiele chorób.



Przemysł chemiczny

Nitrobenzen stosuje się m.in. do produkcji materiałów wybuchowych, np. trinitrobenzenu (TNB). Jest to związek chemiczny o dużej sile wybuchu stosowany m.in. w minach przeciwpiechotnych. Z kolei **benzenu** używa się do produkcji preparatów przeciw molom oraz heksachlorobenzenu, który jest wykorzystywany jako środek grzybobójczy.

Barwniki i leki

W wyniku reakcji sulfonowania benzenu powstaje **kwas benzenosulfonowy**.

Stosuje się go do produkcji barwników, m.in. oranżu metylowego, i leków, np. zwiotczających mięśnie szkieletowe w czasie zabiegów chirurgicznych.

Nitrobenzen, otrzymywany w reakcji nitrowania benzenu, również jest substratem do produkcji barwników.



Tworzywa sztuczne

Z **benzenu** można otrzymać wiele tworzyw sztucznych, np. poliamidy. Powstają one w wyniku przemian cykloheksanu, wytwarzanego w reakcji uwodornienia benzenu. Produktem alkilowania benzenu jest **etylobenzen** – substrat w procesie otrzymywania polistyrenu.



Gdzie występuje benzen?

Benzen powstaje m.in. podczas **wybuchów wulkanów** oraz **pożarów lasów**. Benzen jest też składnikiem **dymu papierosowego**. Dopuszczalne stężenie tego związku chemicznego w atmosferze (na terenie Polski) wynosi $5 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$. Duże stężenie benzenu występuje w pobliżu **dróg szybkiego ruchu, autostrad, stacji benzynowych i zakładów rafineryjnych**. Zwiększa się ono w sezonie grzewczym, na skutek **spalania paliw kopalnych** (głównie węgla) i **śmieci** (np. odpadów z tworzyw sztucznych).

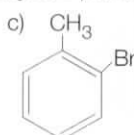
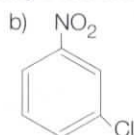
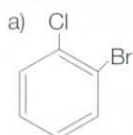


Rozwiąż zadania

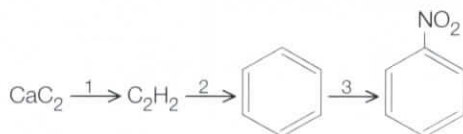
1. Napisz wzory półstrukturalne związków chemicznych o podanych nazwach systematycznych.

- 1,3-dinitrobenzen
- 1,2,5-trimetylobenzen
- o*-dibromobenzen
- 1-chloro-2,3-dimetylobenzen

2. Napisz nazwy systematyczne związków chemicznych o podanych wzorach szkieletowych:



3. Napisz równania reakcji chemicznych (1–3) przedstawionych na schemacie.



4. Ułóż równania reakcji chemicznych, za których pomocą można dokonać poniższych przemian. Zastosuj wzory półstrukturalne.

- benzen $\longrightarrow$ bromobenzen $\longrightarrow$ *o*-dibromobenzen
- benzen $\longrightarrow$ nitrobenzen $\longrightarrow$ *m*-dinitrobenzen

5. Oblicz stężenie molowe roztworu, który powstał przez rozpuszczenie 12,3 g nitrobenzenu w 400 cm³ roztworu benzenowego.

6. 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 C₆H₅COOH. Dobierz współczynniki stechiometryczne metodą bilansu elektronowego. Wskaż utleniacz, reduktor, procesy utleniania i redukcji.

7. Oblicz, ile gramów benzenu przereagowało w reakcji sulfonowania, jeżeli otrzymano 31,6 g kwasu benzenosulfonowego. Wydajność reakcji chemicznej wynosiła 80%.

8. Oblicz stężenie procentowe roztworu otrzymanego przez rozpuszczenie 24,6 g nitrobenzenu w 400 cm³ benzenu o gęstości $d = 0,88 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

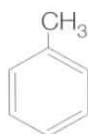
9. Na podstawie fotografii porównaj gęstość benzenu i wody.



lód w benzenie

zamrożony benzen w wodzie

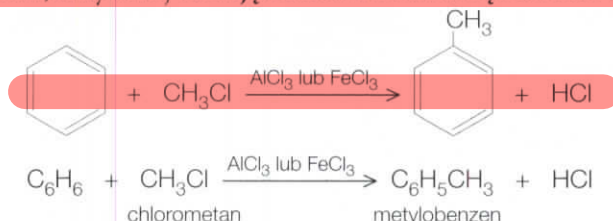
2.5. Metylobenzen – toluen



toluen

Alkilowanie metodą Friedela-Craftsa

– reakcja benzenu z fluorowcopochodnymi węglowodorów (np. CH_3Cl , $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$).



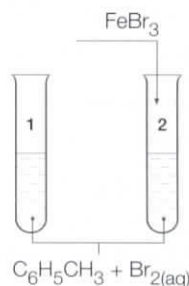
Właściwości metylobenzenu (toluenu)

Doświadczenie 14. $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ Br_2

Badanie właściwości metylobenzenu (toluenu)

! Metylobenzen jest truczną. Wszystkie doświadczenia chemiczne z metylobenzenem wykonuj ściśle według instrukcji i z zachowaniem dużej ostrożności.

Szklaną bagietkę zanurz w toluenie i zbliż do płomienia palnika. Do dwóch probówek wlej po 2 cm^3 toluenu i 1 cm^3 wody bromowej. Probówkę 1. naświetlaj. Do probówki 2. dodaj kilka kryształków bromku żelaza(III) (schemat) i wymieszaj jej zawartość. U wylotu probówek umieść uniwersalne papierki wskaźnikowe. Co obserwujesz?



Po dodaniu wody bromowej do probówki 1. warstwa toluenu zabarwia się na czerwono (fot. 39.a). Po naświetlaniu w probówce 1. powoli znika barwa bromu i wydziela się gaz powodujący zmianę barwy uniwersalnego papierka wskaźnikowego z żółtej na czerwoną. W probówce 2. szybko następuje odbarwienie cieczy, a uniwersalny papierek wskaźnikowy barwi się na czerwono (fot. 39.b).

Toluen jest bezbarwną, podobną do benzenu cieczą o charakterystycznym zapachu. Ma mniejszą gęstość od gęstości wody i nie rozpuszcza się w niej. Spala się kopczącym płomieniem, podobnie jak benzen:



Przy większym niż w powietrzu dostępie tlenu może nastąpić spalanie całkowite do tlenku węgla(IV):

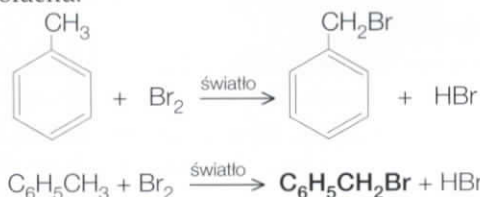


Fot. 39. Barwa uniwersalnego papierka wskaźnikowego po dodaniu wody bromowej do: a) toluenu, b) toluenu z bromkiem żelaza(III).

spalanie niecałkowite toluenu

spalanie całkowite toluenu

Zmiana barwy uniwersalnego papierka wskaźnikowego na czerwoną (w próbówce 1.) świadczy o wydzielaniu się substancji o odczynie kwasowym. W tym przypadku jest to bromowodór HBr – produkt uboczny bromowania toluenu:



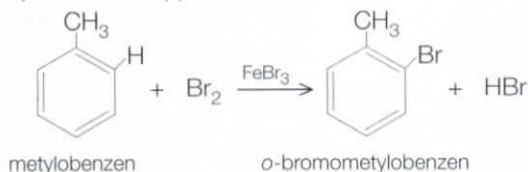
bromofenylometan
(bromek benzylu)

Zaszła reakcja **substytucji atomu wodoru atomem bromu w grupie metylowej** ($-\text{CH}_3$).

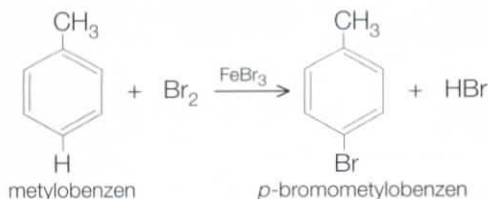
Nazwa produktu – **bromofenylometan** – wynika z obecności w jego cząsteczce dwóch podstawników: bromu i grupy fenylowej, a podstawą w nazwie tego związku chemicznego jest metan. Grupa fenylowa ($-\text{C}_6\text{H}_5$) stanowi przykład grupy aryłowej, czyli jednowartościowej grupy utworzonej formalnie przez oderwanie atomu wodoru od cząsteczki związku aromatycznego. Ogólnie oznacza się ją jako: $-\text{Ar}$.

Bromofenylometan $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Br}$ jest nazywany również **bromkiem benzylu**, gdyż grupa $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2-$ nosi nazwę **grupy benzylowej** (benzylu).

W próbówce 2. szybkie odbarwienie wody bromowej i zmiana zabarwienia uniwersalnego papierka wskaźnikowego na czerwono 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:



1-bromo-2-metylobenzen



1-bromo-4-metylobenzen

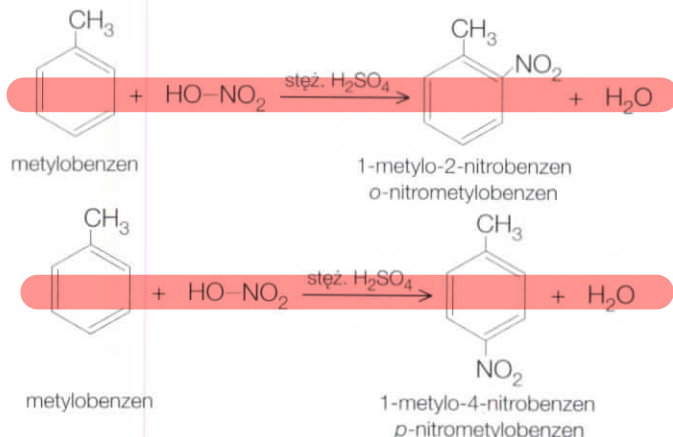
W wyniku reakcji bromowania metylobenzenu powstaje mieszanina związków organicznych: o-bromometylobenzenu i p-bromometylobenzenu, ale nie powstaje m-bromometylobenzen. Można to wytłumaczyć w sposób następujący: obecna w pierścieniu **grupa metylowa** $-\text{CH}_3$ **kieruje podstawnik** $-\text{Br}$ **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.

Toluen, podobnie jak benzen i inne węglowodory aromatyczne, **ulega reakcji nitrowania**. Ze względu na obecność w pierścieniu grupy metylowej ($-\text{CH}_3$), grupa nitrowa ($-\text{NO}_2$) jest kierowana w położenie *orto* lub *para*:



Wpływ kierujący podstawników

Podstawniki (X), ze względu na wpływ przebiegu reakcji substytucji do pierścienia, można podzielić następująco:

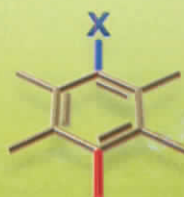
- podstawniki I rodzaju kierują inne grupy, zastępujące atomy wodoru, w pozycję *orto* i *para*,
- podstawniki II rodzaju kierują inne grupy, zastępujące atomy wodoru, w pozycję *meta*.



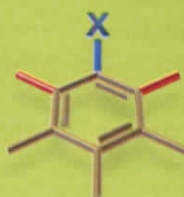
Izomeria strukturalna wpływa na toksyczność związku chemicznego. Związki chemiczne o ugrupowaniu **para** są przeważnie toksyczne.

Podstawniki I rodzaju kierujące w pozycję *orto* i *para*

Wzór/symbol chemiczny	Nazwa	Wpływ na reaktywność chemiczną związku aromatycznego
$-\text{NH}_2$	grupa aminowa	zwiększają reaktywność chemiczną związku aromatycznego
$-\text{OH}$	grupa hydroksylowa	
$-\text{R}$ (np.: $-\text{CH}_3$, $-\text{C}_2\text{H}_5$)	grupa alkilowa (np.: metylowa, etylowa)	
$-\text{Ar}$ (np. )	grupa arylowa	zmniejszają reaktywność chemiczną związku aromatycznego
$-\text{Cl}$, $-\text{Br}$, $-\text{I}$, $-\text{F}$	fluorowce	

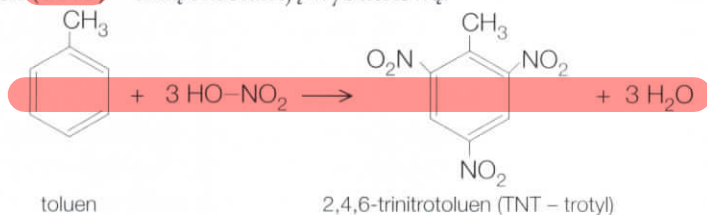


◀ Pozycja **para** to położenie podstawników naprzeciwko siebie w pierścieniu benzenowym.

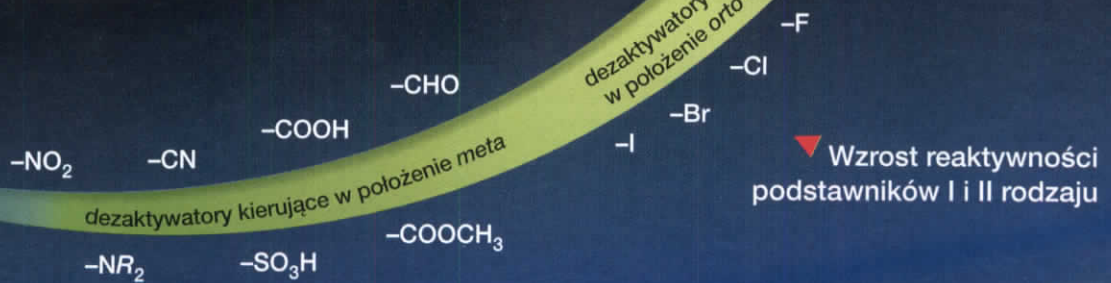
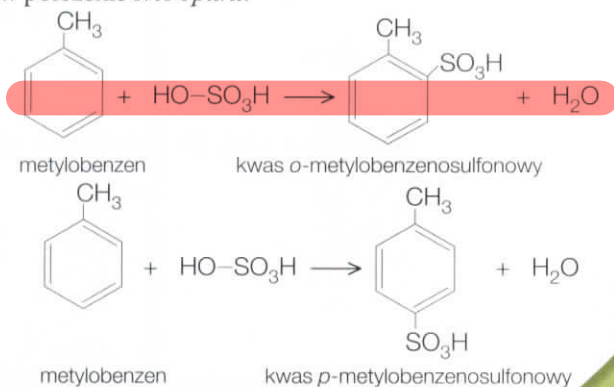


◀ Pozycja **orto** to położenie podstawników obok siebie, przy dwóch kolejnych atomach węgla w pierścieniu benzenowym.

Toluen, poddany nitrowaniu mieszaniną nitrującą, tworzy 2,4,6-trinitrotoluen (**TNT**) – silną substancję wybuchową:



Podobnie **w reakcji sulfonowania toluenu**, grupa sulfonowa ($-\text{SO}_3\text{H}$) jest kierowana przez obecną w pierścieniu benzenowym grupę metylową ($-\text{CH}_3$) w położenie *orto* i *para*:



Wzrost reaktywności podstawników I i II rodzaju

Oznaczenia *orto*, *meta* i *para*, określają wzajemne położenie dwóch podstawników względem siebie.

W pozycji **meta** między dwoma podstawnikami występuje jeden niepodstawiony atom węgla w pierścieniu benzenowym.

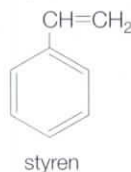


Podstawniki II rodzaju kierujące w pozycję *meta*

Wzór/symbol chemiczny	Nazwa	Wpływ na reaktywność chemiczną związku aromatycznego
$-\text{NO}_2$	grupa nitrowa	zmniejszają reaktywność chemiczną związku aromatycznego
$-\text{SO}_3\text{H}$	grupa sulfonowa	
$-\text{CHO}$	grupa aldehydowa	
$-\text{COOH}$	grupa karboksylowa	
$-\text{CN}$	grupa cyjanowa	

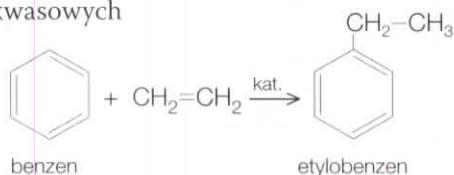
Polistyren

Z pierścieniem benzenowym łączy się nie tylko grupa alkilowa, np. $-\text{CH}_3$ (jak w metylobenzenie) czy $-\text{C}_2\text{H}_5$ (w etylobenzenie). Mogą się z nim również łączyć grupy z wiązaniem podwójnym lub potrójnym. Najważniejszym związkiem chemicznym, który zawiera podstawnik z wiązaniem podwójnym, jest **fenyloeten**, nazywany też **winylobenzenem** lub **styrenem**. Nazwa systematyczna grupy $-\text{CH}=\text{CH}_2$ to **etenyl**, a zwyczajowa – **winył**, dlatego styren nazywa się też etenylobenzenem:

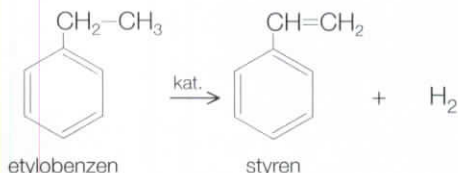


Reakcja otrzymywania styrenu zachodzi w dwóch etapach:

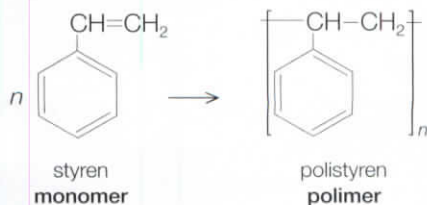
Etap I. Zachodzi proces alkilowania benzenu z etenem w obecności katalizatorów kwasowych



Etap II. Następuje katalityczne odwodornienie otrzymanego etylobenzenu



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:



Fot. 40. Polistyren stosuje się m.in. do produkcji sztucznej biżuterii.

Polistyren jest odporny na działanie związków nieorganicznych i służy do wyrobu wielu przedmiotów codziennego użytku (fot. 40.). Spieniona forma polistyrenu to **styropian** – popularny materiał izolacyjny.

To jest interesujące

Na jedną płytę izolacyjną (fot. 41.) wyprodukowaną ze styropianu 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 swoje właściwości izolacyjne.



Fot. 41. Płyty styropianowe stosuje się głównie do ocieplania budynków.

Rozwiąż zadania

1. Napisz wzory szkieletowe związków chemicznych o podanych nazwach systematycznych.

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| a) <i>o</i> -dibromobenzen | e) 1,2-dimetylo-3-propylobenzen |
| b) 1-chloro-2,3-dimetylobenzen | f) <i>m</i> -chlorotoluen |
| c) <i>p</i> -chlorotoluen | g) 1,2,4-trimetylobenzen |
| d) 1,3,5-tribromobenzen | h) 2,4,6-trinitrofenyloeten |

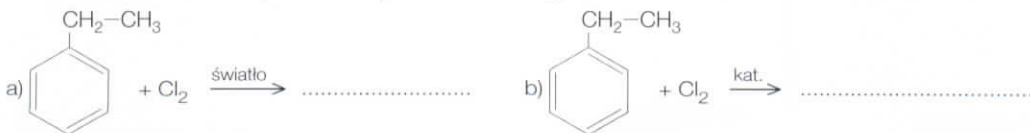
2. Przeprowadzono bromowanie i nitrowanie benzenu dwoma sposobami:

- I – najpierw przeprowadzono bromowanie benzenu, a następnie nitrowanie powstałego produktu,
 II – najpierw przeprowadzono nitrowanie, a następnie bromowanie powstałego produktu.

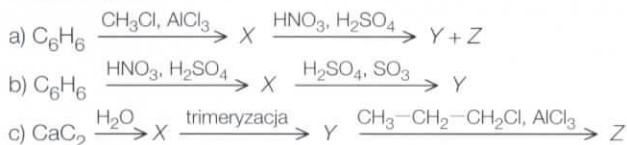
Napisz równania reakcji chemicznych przeprowadzonych każdym ze sposobów. Podaj nazwy powstałych produktów.

3. Oblicz, ile decymetrów sześciennych tlenu (odmierzonego w warunkach normalnych) potrzeba do spalenia całkowitego 18,4 g metylobenzenu. Oblicz, jaka to objętość powietrza w warunkach normalnych.

4. Dokończ równania reakcji chemicznych i określ ich typ.



5. Podaj wzory i nazwy substancji oznaczonych literami X, Y, Z. Napisz odpowiednie równania reakcji chemicznych.



6. 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 benzoowy $\text{C}_6\text{H}_5\text{CHO}$.

Wykaż, że jest to reakcja redoks. Wskaż procesy utleniania i redukcji oraz utleniacz i reduktor.

2.6. Areny wielopierścieniowe



Fot. 42. Naftalen stosuje się m.in. do produkcji fajerwerków.

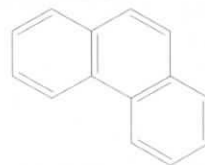
Węglowodory aromatyczne o **pierścieniach skondensowanych** są nazywane arenami wielopierścieniowymi. To związki chemiczne, w których sąsiadujące ze sobą pierścienie benzenowe są połączone dwoma atomami węgla (mają jeden „bok” wspólny). Przykładami tych związków chemicznych są: **naftalen** (fot. 42.), **antracen** i **fenantren**.



naftalen



antracen

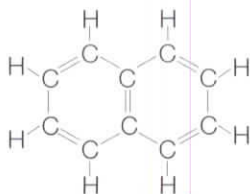


fenantren

Naftalen

Cząsteczka **naftalenu** składa się z 10 atomów węgla oraz 8 atomów wodoru i ma wzór sumaryczny $C_{10}H_8$.

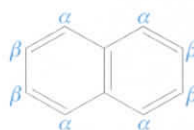
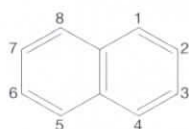
Atomy węgla tworzą dwa pierścienie benzenowe, przy czym dwa z tych atomów są wspólne dla obu pierścieni:



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):



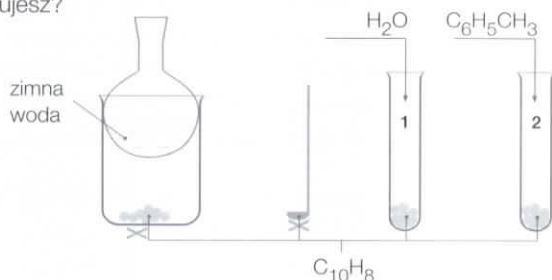
Doświadczenie 15.



Badanie właściwości naftalenu

! Naftalen jest związkiem trującym. Podczas wykonywania doświadczenia zachowaj ostrożność.

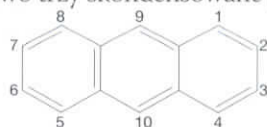
Na dno zlewki wysyp nieco naftalenu. Zlewkę przykryj kolbą kulistą okrągłodenną z zimną wodą i lekko ogrzewaj. Po zakończeniu ogrzewania zdejmij kolbę. Łyżkę do spalań z niewielką ilością naftalenu umieść w płomieniu palnika. Do probówki 1. wysyp naftalen i dodaj wody. Do probówki 2. wysyp nieco naftalenu i dodaj ok. 2 cm³ toluenu (schemat). Probówki zamknij korkami i wstrząśnij. Co obserwujesz?



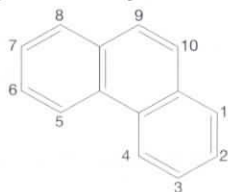
Naftalen jest substancją stałą o białej barwie i charakterystycznym zapachu. Krystalizuje w postaci łusek (fot. 43.). Łatwo sublimuje. W wodzie jest nierozpuszczalny (fot. 44.a), zaś w rozpuszczalnikach organicznych, np. w toluenie (fot. 44.b), rozpuszcza się dobrze.

Naftalen, podobnie jak benzen, ulega reakcjom substytucji charakterystycznym dla związków aromatycznych – **nitrowaniu i sulfonowaniu**. Powstają wówczas jego pochodne, w których grupa nitrowa $-\text{NO}_2$ lub grupa sulfonowa $-\text{SO}_3\text{H}$ są podstawiane w cząsteczce naftalenu w miejsce atomu wodoru w położeniu 1 (α) lub 2 (β). Naftalen ulega też reakcji bromowania w obecności katalizatora.

Antracen $\text{C}_{14}\text{H}_{10}$ jest węglowodorem aromatycznym, którego cząsteczka zawiera ułożone liniowo trzy skondensowane pierścienie benzenowe:



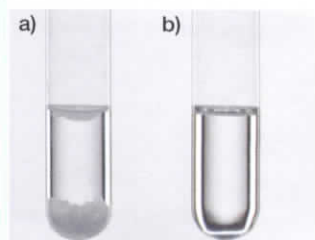
W **fenantrenie** $\text{C}_{14}\text{H}_{10}$ – odmianie izomerycznej antracenu – skondensowane pierścienie są ułożone kątowo na płaszczyźnie:



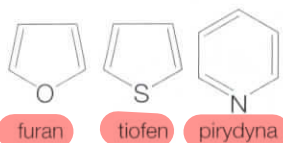
Antracen i fenantren, podobnie jak inne węglowodory aromatyczne, łatwo się spalają i ulegają reakcjom nitrowania oraz sulfonowania.



Fot. 43. Sublimacja naftalenu.



Fot. 44. Rozpuszczanie naftalenu w wodzie (a) i w toluenie (b).



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.



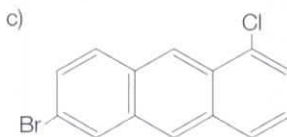
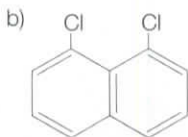
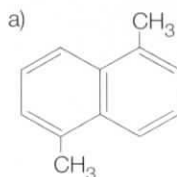
To jest interesujące

Węglowodory aromatyczne są na ogół bardziej trujące niż alkanany i alkeny. Dlatego zaleca się ograniczenie ich używania, nawet w laboratoriach. Dzięki nowoczesnym metodom analitycznym ustalono, że rakotwórcze węglowodory wielopierścieniowe występują w środowisku przyrodniczym. Powstają podczas spalania substancji organicznych. Występują więc zarówno w dymie papierosowym, jak i w smażonym mięsie (fot. 45.) czy też w powietrzu po pożarze lasu. Już w XVIII w. zauważono, że kominarze i robotnicy zatrudnieni przy przeróbce smoły węglowej często chorowali na raka skóry. Obecnie wiadomo, że sadza kominowa i smoła węglowa zawierają rakotwórcze węglowodory.

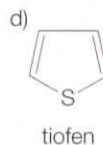
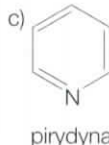
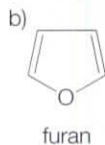
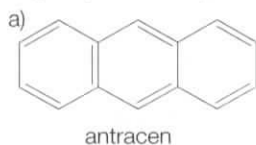
Fot. 45. Zbyt mocno przysmażone mięso zawiera substancje rakotwórcze z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych.

Rozwiąż zadania

1. Napisz nazwy systematyczne związków chemicznych o podanych wzorach.



2. Napisz pełne wzory strukturalne podanych związków chemicznych.



3. Napisz równania podanych reakcji chemicznych, jeśli ich produktami są odpowiednie pochodne α i β .
Podaj nazwy powstałych produktów.

a) nitrowanie naftalenu

b) sulfonowanie naftalenu

4. Napisz równania reakcji spalania całkowitego i niecałkowitego:

a) naftalenu,

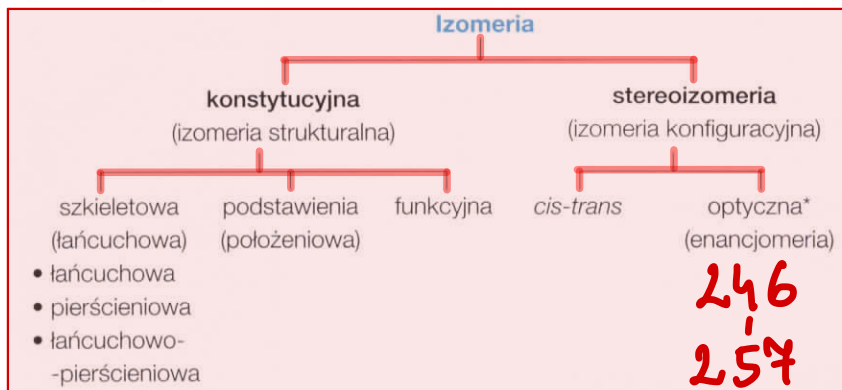
b) antracenu.

5. 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%.

6. Podaj mechanizm reakcji bromowania naftalenu w obecności bromku żelaza(III) jako katalizatora, wiedząc, że jest to reakcja substytucji elektrofilowej.

2.7. Izomeria węglowodorów

Izomeria to zjawisko występowania związków chemicznych o takim samym składzie chemicznym (wzorze sumarycznym), lecz różnej budowie cząsteczek (różnych wzorach strukturalnych). Wyróżnia się dwa główne typy izomerii: **konstytucyjną** i **stereoizomerię**:



* Izomeria optyczna zostanie omówiona w dalszej części podręcznika (patrz 4.1., s. 246–257).

Izomery konstytucyjne (strukturalne)

– różnią się kolejnością i sposobem powiązania atomów w cząsteczkach.

Stereoizomery

– mają tę samą strukturę, lecz różnią się rozmieszczeniem atomów w przestrzeni.

Izomeria szkieletowa

Izomeria alkanów jest możliwa dzięki temu, że łańcuchy węglowe mogą być proste (nierozgałęzione) lub rozgałęzione (patrz 2.1, s. 52). Wraz ze zwiększaniem się liczby atomów węgla w cząsteczkach związków organicznych gwałtownie zwiększa się liczba ich izomerów (tabela 10.).

Tabela 10. Zależność między liczbą atomów węgla w cząsteczkach alkanów a liczbą teoretycznie możliwych izomerów

Liczba atomów węgla w cząsteczce alkanu	Liczba możliwych izomerów	Liczba atomów węgla w cząsteczce alkanu	Liczba możliwych izomerów
1	–	8	18
2	–	9	35
3	–	10	75
4	2	15	4347
5	3	20	366 319
6	5	25	36 797 588
7	9	30	4 111 846 763

Izomeria szkieletowa

– cząsteczki związku chemicznego mają ten sam wzór sumaryczny, lecz różnią się wzorem strukturalnym.

+ Przykłady

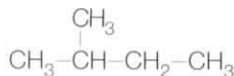
Wyróżnia się trzy typy izomerii szkieletowej:

• **izomeria łańcuchowa**, np.:

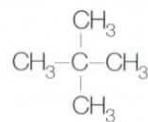
izomery C_5H_{12}



n-pentan



2-metylobutan



2,2-dimetylopropan

• **izomeria pierścieniowa**, np.:

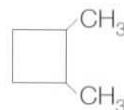
izomery C_6H_{12}



cykloheksan



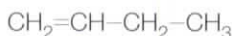
metylocyklopentan



1,2-dimetylocyklobutan

• **izomeria łańcuchowo-pierścieniowa**, np.:

izomery C_4H_8



but-1-en



cyklobutan

Izomeria podstawienia

– cząsteczki związku chemicznego różnią się położeniem podstawnika lub wiązania wielokrotnego.

izomery $C_5H_{10}Br_2$



1,2-dibromopentan

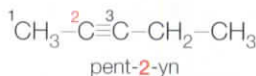


2,4-dibromopentan

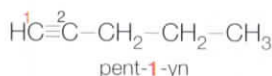
■ **Izomeria podstawienia**

Ten rodzaj izomerii uwzględnia różne miejsca połączenia podstawników ze szkieletem węglowym w związkach chemicznych, np.:

izomery C_5H_8



pent-2-yn



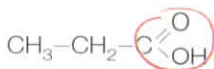
pent-1-yn

Izomeria położenia wiązania wielokrotnego uwzględnia różne miejsca położenia tego wiązania w cząsteczce związku chemicznego, np.:

Izomeria funkcyjna

– cząsteczki związków chemicznych o takim samym składzie mają różne grupy funkcyjne.

izomery $C_3H_6O_2$



kwas propanowy



etanian metylu

■ **Izomeria funkcyjna**

W cząsteczkach związków organicznych, które mają ten sam wzór sumaryczny, może występować różny sposób połączenia atomów. Skutkiem jest występowanie różnych grup funkcyjnych:

Izomeria cis-trans

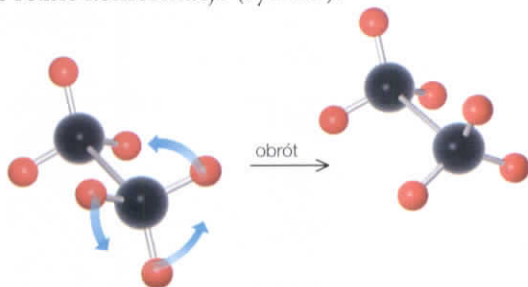
– cząsteczki nienasyconego lub cyklicznego związku chemicznego różnią się położeniem podstawników w przestrzeni.

■ **Izomeria cis-trans**

Typ izomerii zaliczany do **stereoizomerii**, czyli rodzaju izomerii związanej z trójwymiarową strukturą cząsteczek związków chemicznych. Izomeria geometryczna, według ustaleń IUPAC, to wychodzący z użycia synonim **izomerii cis-trans**.

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. 16.).



Rys. 16. Konformacje etanu.

Gdy obroty są utrudnione, poszczególne konformacje mogą istnieć przez dłuższy czas, a więc są przestrzennymi izomerami 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: *cis* i *trans*.

W izomerach *cis* podstawniki leżą po tej samej stronie płaszczyzny wiązania podwójnego lub pierścienia, a w izomerach *trans* – po przeciwnych stronach (tabela 11., s. 104). W przypadku węglowodorów cyklicznych w celu określenia izomerów *cis* i *trans* uwzględnia się płaszczyznę pierścienia:



Tabela 11. Izomery *cis* i *trans* but-2-enu

Nazwa izomeru	Wzór półstrukturalny	Modele	
		pręcikowo-kulkowy	czaszowy
<i>cis</i> -but-2-en	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_3 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$		
<i>trans</i> -but-2-en	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{CH}_3 \quad \text{H} \end{array}$		

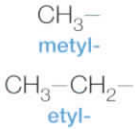
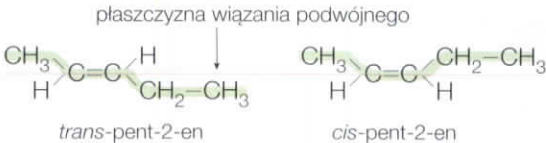
Aby określić nazwy izomerów *cis* i *trans* węglowodorów nienasyconych o kilku atomach węgla w cząsteczce, należy:

- wybrać najdłuższy łańcuch węglowy z wiązaniem podwójnym, np.

pent-2-en



- dobrać przedrostek na podstawie położenia podstawników decydujących o rodzaju izomeru:



W przypadku pent-2-enu podstawnikami położonymi nad płaszczyzną wiązania podwójnego lub pod nią są grupy alkilowe $-\text{CH}_3$ i $-\text{CH}_2-\text{CH}_3$.

Izomery *cis* i *trans* różnią się właściwościami, gdyż odległości między podstawnikami w ich cząsteczkach są różne. Podstawniki w położeniu *cis* leżą bliżej siebie niż w położeniu *trans*. Dlatego np. izomery but-2-enu różnią się temperaturą wrzenia, temperaturą topnienia i gęstością (tabela 12.).

Tabela 12. Właściwości izomerów *cis* i *trans* but-2-enu

Nazwa izomeru	Temperatura topnienia, °C	Temperatura wrzenia, °C	Gęstość, $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
<i>cis</i> -but-2-en	-138,9	3,73	0,6165
<i>trans</i> -but-2-en	-105,6	0,88	0,5991

* Gęstość mierzona w temperaturze 20°C pod zwiększonym ciśnieniem.

To jest interesujące

Związek chemiczny o wzorze $\text{PtCl}_2(\text{NH}_3)_2$ (rys. 17.) jest jednym z leków przeciwnowotworowych. Jego cząsteczka ma płaską, kwadratową budowę. W środku kwadratu znajduje się atom platyny. Izomery tego związku chemicznego różnią się położeniem podstawników. Izomer o mniejszych odległościach między identycznymi podstawnikami, zwany potocznie *cis*-platyną, ma właściwości lecznicze. Drugi izomer nie ma tych właściwości.

Rys. 17. Model cząsteczki *cis*-platyny.



Modele:

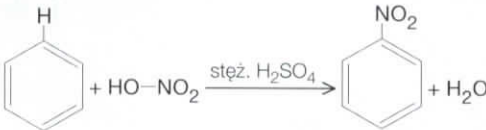
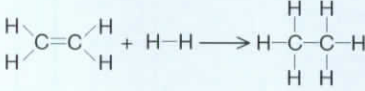
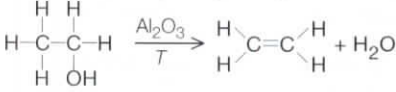
- atomu wodoru
- atomu chloru
- atomu azotu
- atomu platyny

Rozwiąż zadania

- Przedstaw zjawisko izomerii szkieletowej na wybranym przykładzie związku chemicznego z grupy:
 - alkanów,
 - cykloalkanów.
- Buten i cyklobutan są izomerami. Napisz ich wzory sumaryczne, półstrukturalne i kreskowe.
- Napisz wzory strukturalne alkenu i cykloalkanu o takim samym wzorze sumarycznym – C_5H_{10} . Podaj nazwy systematyczne tych związków chemicznych oraz określ rodzaj izomerii.
- Wskaż wzór związku chemicznego, który jest izomerem benzeny.
 - C_6H_{12}
 - $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$
 - $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$
 - $\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}\equiv\text{CH}$
- Przedstaw zjawisko izomerii podstawienia na wybranym przykładzie związku chemicznego z grupy:
 - fluorowcopochodnych alkanów,
 - fluorowcopochodnych arenów,
 - alkinów.
- W reakcji chemicznej 2-chlorobutanu z alkoholowym roztworem KOH otrzymano mieszaninę izomerów. Napisz ich wzory strukturalne oraz określ typ izomerii.
- Napisz wzory strukturalne izomerów o podanych nazwach.
 - trans*-heks-3-en
 - cis*-heks-3-en
 - cis*-3-metyloheks-2-en
 - trans*-3-metyloheks-2-en
- Napisz wzory półstrukturalne izomerów *cis* i *trans* związku chemicznego o nazwie systematycznej 1,4-dibromobut-2-en.

Zamiast repetytorium

- Typy reakcji w chemii organicznej

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 nitrowania benzenu: 
reakcja addycji (przyłączania) A	Reakcja polega na przyłączaniu cząsteczek do atomów węgla połączonych wiązaniami wielokrotnymi. W wyniku tej reakcji chemicznej następuje rozpad wiązania wielokrotnego, a w jego miejsce powstają wiązania pojedyncze.	reakcja addycji wodoru do cząsteczki etenu: 
reakcja eliminacji E	Reakcja polega na oderwaniu od cząsteczki dwóch atomów lub grup atomów bez zastąpienia ich innymi podstawnikami, w czego wyniku rośnie krotność wiązania lub powstaje związek cykliczny.	reakcja eliminacji wody z cząsteczki alkoholu 

- Charakterystyka węglowodorów

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 	wiązanie zdelokalizowane
Typ hybrydyzacji	sp^3	sp^2	sp	sp^2
Charakterystyczny typ reakcji chemicznej	substytucja rodnikowa	addycja, polimeryzacja	addycja, polimeryzacja	substytucja elektrofilowa

- 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

- Dla **węglowodorów nienasyconych** charakterystyczne są reakcje addycji do wiązania wielokrotnego.

Substancja	Schemat reakcji chemicznej	Nazwa produktu
H ₂ w obecności katalizatora	$C_nH_{2n} + H_2 \longrightarrow C_nH_{2n+2}$	alkan
Br ₂ (aq)	$C_nH_{2n} + Br_2 \longrightarrow C_nH_{2n}Br_2$	dibromoalkan
HBr	$C_nH_{2n} + HBr \longrightarrow C_nH_{2n+1}Br$	bromoalkan

Alkiny ulegają reakcjom addycji, tak jak alkeny.

- Reakcją charakterystyczną dla **węglowodorów aromatycznych** jest reakcja substytucji. W niektórych przypadkach węglowodory aromatyczne ulegają **reakcji addycji**.

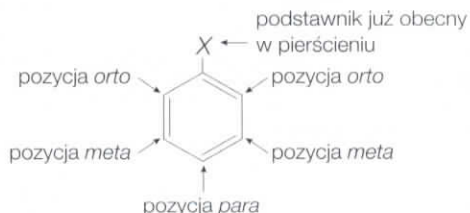
Nazwa reakcji chemicznej	Odczynnik	Schemat reakcji chemicznej	Nazwa produktu
nitrowanie	mieszanina nitrująca – stężone roztwory HNO ₃ i H ₂ SO ₄	$C_6H_6 \longrightarrow C_6H_5NO_2$	nitrobenzen
chlorowanie lub bromowanie	Cl ₂ w obecności katalizatora FeCl ₃	$C_6H_6 \longrightarrow C_6H_5Cl$	chlorobenzen
	Cl ₂ w obecności światła	$C_6H_6 \longrightarrow C_6H_6Cl_6$	heksachlorocykloheksan
sulfonowanie	stężony roztwór H ₂ SO ₄	$C_6H_6 \longrightarrow C_6H_5SO_3H$	kwas benzenosulfonowy

- Wpływ kierujący podstawników

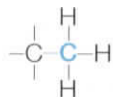
Podstawniki I rodzaju – obecne w pierścieniu aromatycznym – kierują nowy podstawnik w położenie *orto* lub *para* oraz (z wyjątkiem fluorowców) zwiększają reaktywność chemiczną związku aromatycznego.

Podstawniki II rodzaju – obecne w pierścieniu aromatycznym – kierują nowy podstawnik w położenie *meta* oraz zmniejszają reaktywność chemiczną związku aromatycznego.

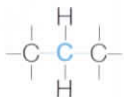
Podstawniki (X)	
I rodzaju	–NH ₂ , –OH, –R, –Ar, atomy fluorowców
II rodzaju	–NO ₂ , –SO ₃ H, –COOH, –CHO, –CN



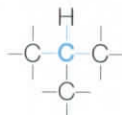
- Rzędowość atomu węgla** to liczba wiązań chemicznych, które tworzy on z innymi atomami węgla w związku organicznym:



I-rzędowy atom węgla



II-rzędowy atom węgla



III-rzędowy atom węgla



IV-rzędowy atom węgla

- 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.	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \text{2-metylobutan} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \\ \text{2,2-dimetylopropan} \end{array}$
podstawienia	Cząsteczki związku chemicznego różnią się położeniem podstawnika lub wiązania wielokrotnego.	$\begin{array}{c} \text{Br} \\ \\ \text{Br}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \text{1,2-dibromopentan} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{Br} \qquad \text{Br} \\ \qquad \quad \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \text{2,4-dibromopentan} \end{array}$
funkcyjna	Cząsteczki związków chemicznych o takim samym składzie mają różne grupy funkcyjne.	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$ kwas propanowy $\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{O}-\text{CH}_3 \\ \text{etanian metylu} \end{array}$
cis-trans	Cząsteczki nienasyconego lub cyklicznego związku chemicznego różnią się położeniem podstawników w przestrzeni.	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_3 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{H} \\ \text{cis-but-2-en} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{CH}_3 \quad \text{H} \\ \text{trans-but-2-en} \end{array}$

Z zakresu podstawowego

Źródła energii (paliwa kopalne)

węgle kopalne

produkty pirolizy

- gaz koksowniczy
- woda pogazowa
- smoła węglowa
- koks

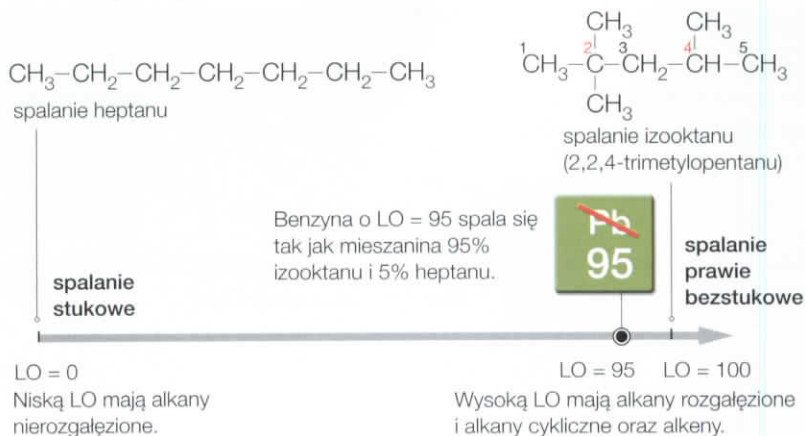
gaz ziemny

ropa naftowa

produkty destylacji frakcyjnej

- gaz rafineryjny
- benzyny
- nafty
- oleje napędowe
- mazut

Liczba oktanowa (LO) określa odporność benzyny na spalanie stukowe. Im większa liczba oktanowa, tym większa odporność na spalanie stukowe.



Właściwości ropy naftowej

Ropa naftowa

właściwości fizyczne	właściwości chemiczne
• oleista ciecz • różne barwy – od żółtej do czarnej • nierozpuszczalna w wodzie • gęstość $d = 0,82\text{--}0,95 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	• charakterystyczny zapach • palna; płomień żółtej barwy, kopzący

Kraking to reakcja rozkładu alkanów o dużych cząsteczkach (długich łańcuchach węglowych). W jego wyniku powstaje mieszanina alkanów i alkenów o mniejszych cząsteczkach (krótszych łańcuchach węglowych).

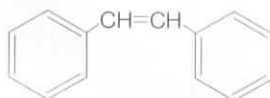
Reforming, czyli **izomeryzacja**, to reakcja przekształcenia węglowodorów o łańcuchach prostych w węglowodory o łańcuchach rozgałęzionych lub pierścieniowych (cyklicznych).

Zadania maturalne



Informacja do zadań 1.–5.

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. **Zaznacz właściwy rodzaj hybrydyzacji atomów węgla w stylbenie.**

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.

--	--

Jest to izomeria

Zadanie 4.

W tabeli przedstawiono właściwości chemiczne stylbenu. **Oceń prawdziwość poniższych informacji (P/F).**

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.	

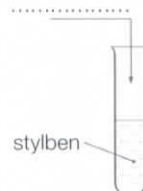
więcej zadań
w MATURALNYCH KARTACH PRACY

Zadanie 5.

Zaprojektuj doświadczenie chemiczne, za którego pomocą można wykazać nienasycony charakter stylobenu.

a) Uzupełnij schemat doświadczenia, wpisując nazwę użytego odczynnika. Wybierz go spośród wymienionych związków chemicznych.

1. świeżo strącony wodorotlenek miedzi(II)
2. woda bromowa
3. roztwór chlorku żelaza(III),
4. wodny roztwór azotanu(V) srebra(I) z dodatkiem wodnego roztworu amoniaku



b) Napisz obserwacje potwierdzające obecność wiązania podwójnego w cząsteczce stylbenu.

.....

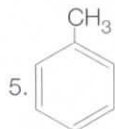
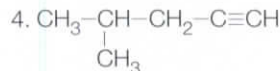
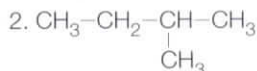
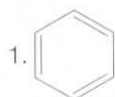
c) Napisz równanie zachodzącej reakcji chemicznej, stosując wzór półstrukturalny stylbenu.

.....



Informacja do zadań 6. i 7.

Poniżej przedstawiono wzory półstrukturalne lub uproszczone różnych węglowodorów.



Zadanie 6.

Podaj nazwy systematyczne węglowodorów oznaczonych cyframi 3, 4, 5 i 7.

3. 5.

4. 7.

Zadanie 7.

Uzupełnij zdania (A–E), wpisując numer węglowodoru (1–8), tak aby powstała informacja prawdziwa.

- A. Węglowódor należy do szeregu homologicznego węglowodorów o wzorze ogólnym $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$.
- B. Węglowódor należy do szeregu homologicznego alkinów.
- C. Węglowódor jest homologiem węglowodoru oznaczonego numerem 1.
- D. Węglowódor jest izomerem związku chemicznego oznaczonego numerem 3.
- E. Węglowódor może występować w postaci izomerów *cis-trans*.

Mieszaninę etenu i etynu o objętości 80 cm³ (odmierzoną w warunkach normalnych) poddano chlorowaniu. W wyniku tego procesu otrzymano produkty, które nie odbarwiają wody bromowej.

Odpowiedź:

W trzech ponumerowanych probówkach znajdują się: benzen, cykloheksan i heksen. Stwierdzono, że związek chemiczny z próbówki 1. odbarwia wodę bromową, a związek chemiczny z próbówki 3. po dodaniu stężonych roztworów kwasów HNO_3 i H_2SO_4 tworzy produkt o żółtej barwie i zapachu gorzkich migdałów. Ustal, w których probówkach znajdowały się związki chemiczne o wymienionych nazwach. **Wskaż poprawną odpowiedź.**

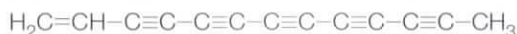
Odpowiedź	Probówka 1.	Probówka 2.	Probówka 3.
A.	benzen	cykloheksan	heksen
B.	heksen	benzen	cykloheksan
C.	heksen	cykloheksan	benzen
D.	cykloheksan	heksen	benzen

więcej zadań
w **MATURALNYCH KARTACH PRACY**



Informacja do zadań 10.–12.

Stoncznik zawiera węglowodór o wzorze sumarycznym $C_{13}H_6$ i uproszczonym wzorze strukturalnym:



Zadanie 10.

Podaj liczbę wiązań σ oraz liczbę wiązań π w cząsteczce węglowodoru występującego w słoneczniku.

Liczba wiązań σ : , liczba wiązań π :

Zadanie 11.

Węglowodór występujący w słoneczniku poddano reakcji bromowania, aż do uzyskania produktu nasyconego. **Napisz równanie opisanej reakcji chemicznej.**

Zadanie 12.

Oblicz, jak zmieni się zawartość procentowa wodoru (w procentach masowych) w produkcie reakcji bromowania węglowodoru występującego w słoneczniku w stosunku do zawartości procentowej wodoru w substracie.

Obliczenia:

Odpowiedź:

To było na maturze!

Egzamin maturalny z chemii
Poziom rozszerzony

Zadanie 21. (1 pkt)

Źródło: CKE (PR) 2010

Narysuj wzór strukturalny lub półstrukturalny (grupowy) węglowodoru, w którego cząsteczce występuje osiem wiązań σ i jedno wiązanie π .

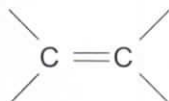
Zadanie 24. (1 pkt)

Źródło: CKE (PR) 2010

Uzupełnij poniższy schemat, tak aby otrzymać wzór izomeru geometrycznego *cis* węglowodoru o wzorze grupowym



Izomer *cis*:



Zadanie 30. (3 pkt)

Źródło: CKE (PR) 2012

Pewien alkan o rozgałęzionym łańcuchu węglowym poddano chlorowaniu, otrzymując dwie izomeryczne monochloropochodne o masie molowej $M = 92,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

a) Napisz wzór sumaryczny alkanu poddanego chlorowaniu.

b) Napisz wzory półstrukturalne (grupowe) obu otrzymanych monochloropochodnych tego alkanu oraz podaj ich nazwy systematyczne.

Wzór 1:	Wzór 2:
Nazwa 1:	Nazwa 2:



3

Jednofunkcyjne pochodne węglowodorów

- | | |
|--|---|
| 3.1. Fluorowcopochodne węglowodorów | 3.7. Kwasy karboksylowe |
| 3.2. Alkohole monohydroksylowe | 3.8. Wyższe kwasy karboksylowe |
| 3.3. Alkohole polihydroksylowe | 3.9. Estry |
| 3.4. Fenole | 3.10. Tłuszcze |
| 3.5. Karbonylowe związki organiczne – aldehydy | 3.11. Związki organiczne zawierające azot |
| 3.6. Karbonylowe związki organiczne – ketony | – aminy i amidy |

To było w gimnazjum

- Stosowanie pojęć: grupa funkcyjna, grupa hydroksylowa, grupa karboksylowa, grupa estrowa, grupa aminowa.
- Opisywanie procesów: hydrolizy soli, fermentacji, estryfikacji, zmydlenia.

3.1. Fluorowcopochodne węglowodorów

Związki organiczne to w większości **pochodne węglowodorów**. W ich cząsteczkach atom (lub atomy) wodoru został zastąpiony atomem (lub grupą atomów) innego pierwiastka chemicznego (pierwiastków chemicznych).

Cząsteczki pochodnych węglowodorów tworzą:

Grupa funkcyjna

– atom lub grupa atomów, które nadają związkom organicznym specyficzne właściwości.

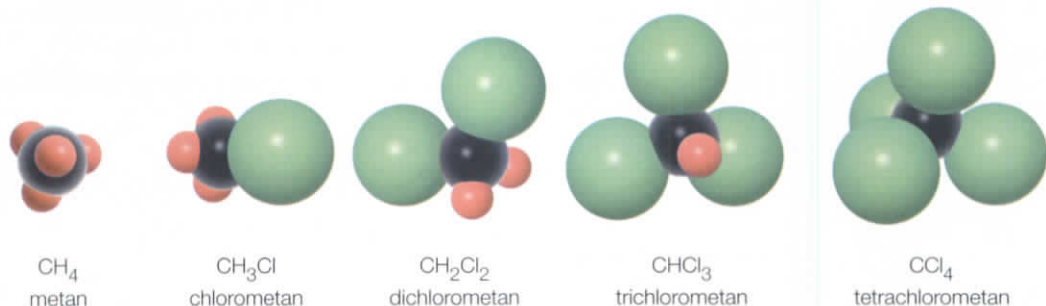
- **grupa węglowodorowa** (alkilowa lub arylowa),
- **grupa funkcyjna** – atom lub grupa atomów (tabela 13.), które w połączeniu z grupą węglowodorową składają się na cząsteczkę pochodnej węglowodoru.

Tabela 13. Wzory i nazwy grup funkcyjnych oraz nazwy pochodnych węglowodorów

Grupa funkcyjna		Nazwa pochodnych węglowodorów
wzór	nazwa	
$-\text{Cl}, -\text{Br}, -\text{F}, -\text{I}$	fluorowce	fluorowcopochodne węglowodorów
$-\text{OH}$ (połączona z grupą alkilową)	hydroksylowa	alkohole
$-\text{OH}$ (połączona z grupą arylową)	hydroksylowa	fenole
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C} \\ \mid \\ \text{H} \end{array}$	aldehydowa	aldehydy
$\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{O} \\ \diagdown \end{array}$	karbonylowa*	ketony
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C} \\ \mid \\ \text{OH} \end{array}$	karboksylowa	kwasy karboksylowe
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C} \\ \mid \\ \text{O}- \end{array}$	estrowa	estry
$-\text{NH}_2$	aminowa	aminy
$-\text{NO}_2$	nitrowa	związki nitrowe
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C} \\ \mid \\ \text{NH}_2 \end{array}$	amidowa	amidy kwasowe

* Grupa karbonylowa wchodzi w skład innych grup funkcyjnych, np.: aldehydowej, amidowej, karboksylowej.

Najprostszymi grupami funkcyjnymi są atomy fluorowców: $-\text{F}$, $-\text{Cl}$, $-\text{Br}$ i $-\text{I}$. Wchodzą one w skład cząsteczek **fluorowcopochodnych węglowodorów**, w których zamiast jednego lub kilku atomów wodoru znajdują się jednowartościowe atomy fluorowców (rys. 18., s. 117). Fluorowcopochodne węglowodorów są też nazywane **halogenkami**.



Rys. 18. Modele i wzory czasteczki metanu oraz jej chloropochodnych.

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). Wśród fluorowcopochodnych węglowodorów najczęściej spotykane są związki chemiczne, które zawierają w cząsteczce atomy chloru i bromu (patrz 2.1., s. 45–47, 51; 2.2., s. 62–64; 2.3., s. 74–75).

Nazewnictwo fluorowcopochodnych węglowodorów

Nazwy systematyczne fluorowcopochodnych węglowodorów tworzy się zgodnie z zasadami nazewnictwa węglowodorów, a także:

- **zaznacza się obecność fluorowca**, używając odpowiedniego przedrostka, np. **fluoro-**, **chloro-** oraz lokantu wskazującego na jego położenie w cząsteczce,
- jeśli występuje więcej niż jeden podstawnik, **wymienia się je w kolejności alfabetycznej**.

Halogenki alkilowe to fluorowcopochodne węglowodorów alifatycznych, np.:

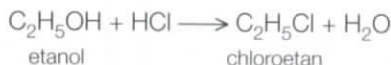
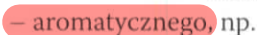


Halogenki aryłowe to fluorowcopochodne węglowodorów aromatycznych, np.:



Fluorowcopochodne węglowodorów otrzymuje się w reakcjach:

– nasyconeo, np.



U bakterii oraz organizmów roślinnych i zwierzęcych stwierdzono obecność różnorodnych fluorowcopochodnych węglowodorów, m.in. chlorometanu. Wiele prostych organizmów wykorzystuje te związki chemiczne do obrony przed drapieżnikami. Na przykład koralowce (fot. 46.) wydzielają związki fluorowcopochodne o zapachu, który odstrasza m.in. ryby. Ze źródeł naturalnych uwalnianych jest ok. 5 mln t CH_3Cl rocznie, podczas gdy roczna emisja CH_3Cl ze źródeł przemysłowych wynosi tylko ok. 26 tysięcy t.

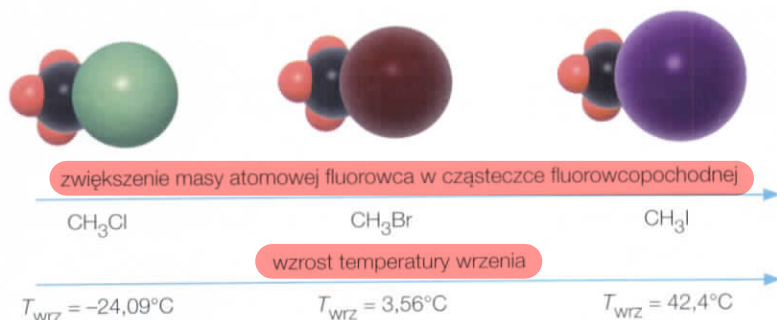
Fot. 46. Korallowce morskie wydzielają związki chemiczne, które odstrasza-
ją żywiące się nimi rozgwiezdy.

Właściwości fizyczne fluorowc pochodnych węglowodorów

Zwiększenie masy atomowej fluorowca w cząsteczkach fluorowc pochodnych węglowodorów powoduje podwyższenie ich temperatury wrzenia (tabela 14.) w porównaniu z węglowodorem, którego są pochodną (rys. 19.).

Tabela 14. Temperatury wrzenia fluorowc pochodnych etanu

Wzór sumaryczny związku chemicznego	Temperatura wrzenia, °C
C_2H_6	-89
C_2H_5F	-38
C_2H_5Cl	12
C_2H_5Br	38
C_2H_5I	72



Rys. 19. Zmiana temperatur wrzenia chlorometanu, bromometanu i jodometanu.

Wzrost temperatury wrzenia zależy także od długości łańcucha węglowodorowego w cząsteczkach fluorowc pochodnych węglowodorów (rys. 20.).



Rys. 20. Zmiana temperatur wrzenia chloroalkanów.

14 C węgler 12,011	15 N azot 14,007	16 O tlen 15,999	17 F fluor 18,998	18 Ne neon 20,180
30 Si krzem 28,085	31 P fosfor 30,974	32 S siarka 32,065	35 Cl chlor 35,453	36 Ar argon 39,948
72 Ge german 72,630	73 As arsen 74,922	76 Se selen 78,96	79 Br brom 79,904	81 Kr krypton 83,798
121 Sn ołów 118,710	122 Sb antymon 121,760	127 Te tellur 127,60	127 I jod 126,904	131 Xe ksenon 131,293
208 Pb ołówek 207,2	209 Bi bismut 208,980	209 Po polon 209	210 At astat 210	222 Rn radon 222

Modele:

- atomu węgla
- atomu wodoru
- atomu chloru
- atomu bromu
- atomu jodu

Modele:

- atomu węgla
- atomu wodoru
- atomu chloru

fluorometan CH_3F chlorometan CH_3Cl bromometan CH_3Br fluoroetan $\text{C}_2\text{H}_5\text{F}$ chloroetan $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$

Fluorowcopochodne węglowodorów to najczęściej niepalne ciecze nierozpuszczalne w wodzie. Wyjątkami są: fluorometan, chlorometan, bromometan, fluoroetan i chloroetan, 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.

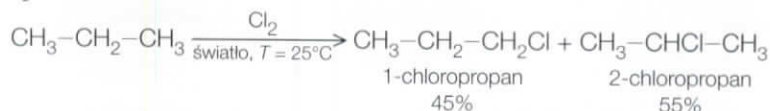
Właściwości chemiczne fluorowcopochodnych węglowodorów

Fluorowcopochodne węglowodorów reagują z wieloma substancjami. Głównie są to reakcje:

- **substytucji** atomu fluorowca,
- **eliminacji** cząsteczki fluorowcowodoru.

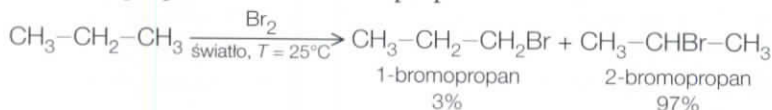
Jedną z metod otrzymywania fluorowcoalkanów jest bezpośrednie wprowadzenie atomu fluorowca do cząsteczki alkanu w reakcji substytucji rodnikowej (patrz s. 46). Ważną rolę w przebiegu reakcji chemicznej z chlorem lub bromem odgrywa rzędowość atomu węgla, przy którym zachodzi podstawienie. Im wyższą rzędowość ma atom węgla, tym łatwiej zachodzi reakcja chemiczna. W reakcji chlorowania propanu w obecności światła powstaje ok. 45% 1-chloropropanu i 55% 2-chloropropanu:

schemat reakcji
chlorowania C_3H_8



W reakcji chemicznej, w której chlor zastąpiono bromem, powstaje 3% 1-bromopropanu i 97% 2-bromopropanu:

schemat reakcji
bromowania C_3H_8



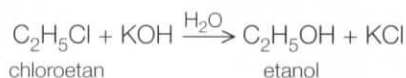
Wpływ rzędowości atomu węgla, przy którym następuje podstawienie, na przebieg reakcji chemicznej jest najbardziej widoczny w przypadku bromowania.

Chlor i brom reagują z alkanami łatwo, fluor – wybuchowo, a jod wykazuje prawie zupełną bierność chemiczną. Jest to związane z różną aktywnością chemiczną fluorowców.

Z powodu dużej elektroujemności atomów fluorowców wiązania między atomami węgla a atomami fluorowców są na ogół spolaryzowane. Oznacza to, że wspólna para elektronowa tworząca wiązanie jest przesunięta w kierunku atomu fluorowca. To z kolei powoduje, że cząsteczki fluorowcopochodnych węglowodorów są polarne i na ogół wykazują momenty dipolowe różne od zera. Wpływa to na ich zwiększoną reaktywność chemiczną.

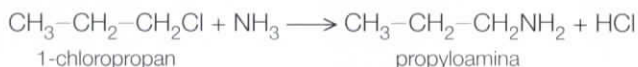
			18		
			He	1	
14	15	16	17		
C 2,5	N 3,0	O 3,5	F 4,0	Ne	2
Si 1,8	P 2,1	S 2,5	Cl 3,0	Ar	3
Ge 1,8	As 2,0	Se 2,4	Br 2,8	Kr	4
Sn 1,8	Sb 1,9	Te 2,1	I 2,5	Xe	5
Pb 1,8	Bi 1,9	Po 2,0	At 2,2	Rn	6

Fluorowcopochodne węglowodorów mogą wymieniać atomy fluorowców na inne grupy funkcyjne, czyli mogą ulegać **reakcji substytucji**. W reakcji chemicznej fluorowcopochodnej z mocną zasadą w środowisku wodnym powstają alkohole, np.

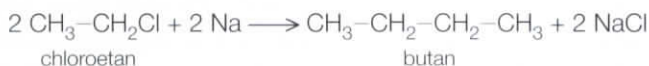
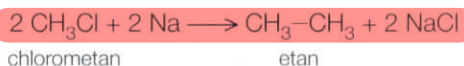


reakcja substytucji

Produktami reakcji fluorowcopochodnych z amoniakiem są aminy. Grupa $-\text{NH}_2$ zastępuje atom fluorowca:



Fluorowcopochodne węglowodorów reagują z sodem. Produktem tej reakcji chemicznej są alkan. Jest to **reakcja Würtza**, np.:



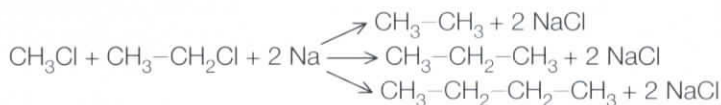
Reakcja Würtza

– reakcja

fluorowcopochodnych

węglowodorów z sodem.

W przypadku reakcji chemicznej dwóch fluorowcopochodnych o różnych grupach alkilowych otrzymuje się różne alkan, np.



etan

propan

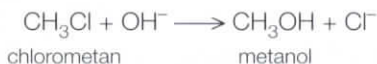
butan

Reakcje chemiczne zachodzące z wymianą atomów chloru, bromu lub jodu na inne podstawniki to przykłady **reakcji podstawienia nukleofilowego**. **Odczynnikami nukleofilowymi** (nukleofilami) w tych reakcjach chemicznych są cząsteczki związków chemicznych lub aniony, np.: H_2O , NH_3 , OH^- , CN^- , Br^- , Cl^- . Mogą to być także związki chemiczne, w których cząsteczkach znajdują się atomy z wolną parą elektronową. To właśnie ona uczestniczy w powstawaniu wiązania węgiel–nukleofil.

Odczynniki nukleofilowe:

 H_2O , NH_3 , OH^- , CN^- ,
 Br^- , Cl^- .

Reakcja podstawienia nukleofilowego przebiega łatwo, gdy atom fluorowca jest połączony z atomem węgla o hybrydyzacji sp^3 . Przykładem reakcji podstawienia nukleofilowego jest reakcja chlorometanu z anionem wodorotlenkowym:

reakcja podstawienia
nukleofilowego

Reakcja eliminacji polega na oderwaniu od cząsteczki substratu dwóch atomów pierwiastków chemicznych (np. wodoru) lub grup atomów. Na skutek reakcji eliminacji zwiększa się krotność wiązania między odpowiednimi atomami węgla. Oznacza to, że z wiązania pojedynczego powstaje wiązanie podwójne lub potrójne.

Reakcja eliminacji

– polega na odszczepieniu
atomów lub grup atomów
od cząsteczek związków
organicznych.

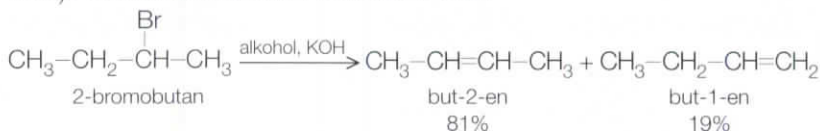
Reakcja eliminacji jest jedną z metod otrzymywania związków nienasyconych. Polega ona na odłączeniu podstawników przy sąsiednich atomach węgla w cząsteczce związku nasyconego. Substratami w tej reakcji chemicznej są halogenoalkany, np. chloroetan:

otrzymywanie alkenów w reakcji eliminacji

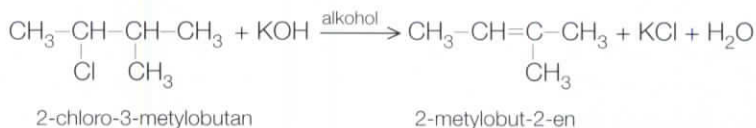


W przypadku halogenoalkanów o dłuższym łańcuchu węglowym reakcja eliminacji zachodzi podobnie, ale mogą powstawać mieszaniny alkenów, które różnią się położeniem wiązań podwójnych w cząsteczce. Na przykład w reakcji eliminacji bromowodoru z 2-bromobutanu powstaje ok. 81% but-2-enu i 19% but-1-enu:

schemat reakcji
eliminacji

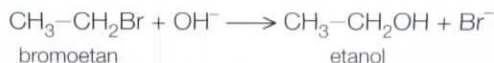


Reaktywność halogenoalkanów w reakcji eliminacji zależy od rzędowości atomu węgla połączonego z fluorowcem. Głównym produktem reakcji eliminacji cząsteczki (H_2O lub chlorowodoru, np. HCl) ze związku organicznego jest produkt, w którym atom wodoru odłącza się od atomu węgla połączonego z mniejszą liczbą atomów wodoru. Atom węgla, przy którym zachodzi eliminacja, jest **atomem o wyższej rzędowości**. Głównym produktem reakcji eliminacji z udziałem 2-chloro-3-metylobutanu jest 2-metylobut-2-en:



Reakcja fluorowcopochodnych alkanów, np. bromoetanu, z anionami wodorotlenkowymi OH^- może przebiegać albo w kierunku podstawienia nukleofilowego albo reakcji eliminacji. **Końcowy produkt reakcji chemicznej zależy od mocy zasady**, którą jest reagujący nukleofil. Jeżeli jon OH^- zbliży się do atomu węgla związanego z bromem, to następuje podstawienie jonu OH^- do atomu węgla:

powstawanie
 $\text{CH}_3-\text{CH}_2\text{OH}$



Natomiast jeśli jon OH^- **zderzy się z atomem wodoru z cząsteczki bromoetanu**, wówczas pełni funkcję zasady i wiąże kation H^+ w cząsteczkę wody:

powstawanie
 $\text{CH}_2^--\text{CH}_2\text{Br}$



Po odszczepieniu kationu wodoru od cząsteczki bromoetanu powstaje produkt pośredni **karboanion**. W następnym etapie reakcji chemicznej odszczepia się od niego jon Br^- . Wówczas tworzy się wiązanie podwójne. Produktem końcowym reakcji eliminacji jest eten:



Eliminacja związków chemicznych 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:



gdzie:

- R – alifatyczna lub aromatyczna grupa węglowodorowa,
- X – atom fluorowca.

Przykłady związków magnezoorganicznych:



bromek metylomagnezu



chlorek fenylomagnezu

Substratami w reakcji otrzymywania związków magnezoorganicznych są fluorowcopochodne węglowodorów alifatycznych lub aromatycznych, np.



chlorek etylomagnezu

W reakcji otrzymywania związków magnezoorganicznych stosuje się rozpuszczalnik bezwodny (np. eter dietylowy), ponieważ woda powoduje natychmiastowy rozkład produktów:



chlorek wodorotlenek magnezu

W reakcji analizy związków magnezoorganicznych 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. Reagując z licznymi związkami nieorganicznymi, np. H_2O , CO_2 , tworzą związki organiczne.

Fluorowce w reakcji substytucji **kierują nowy podstawnik** w pierścieniu benzenowym w pozycje *orto* i *para*.

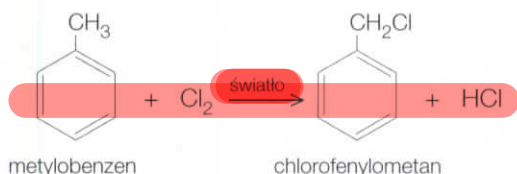
Fluorowcopochodne węglowodorów aromatycznych

Fluorowcopochodne węglowodorów aromatycznych są mniej reaktywne chemicznie niż ich alkilowe odpowiedniki.

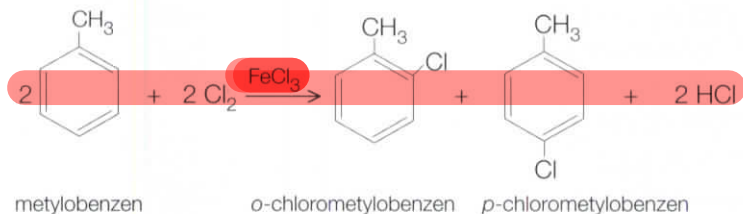
Obecność atomu fluorowca w pierścieniu aromatycznym powoduje, że podstawienie drugiego podstawnika do pierścienia zachodzi w położeniach *orto* i *para*.

W zależności od warunków prowadzenia reakcji chemicznej **substytucja atomu fluorowca** (najczęściej chloru lub bromu) w metylobenzenie (toluenie) zachodzi:

- w grupie metylowej (łańcuchu bocznym) pod wpływem światła, np.



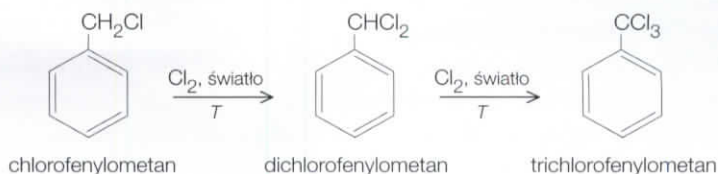
- w pierścieniu aromatycznym, w obecności katalizatora FeCl_3 lub AlCl_3 , np.



Reakcja podstawienia atomu chloru **w grupie metylowej** metylobenzenu zachodzi według mechanizmu rodnikowego (patrz 2.1., s. 46). Przebiega w obecności światła, które inicjuje powstawanie rodników $\text{Cl}^\bullet$:



Powstający chlorofenylometan może dalej reagować z rodnikami $\text{Cl}^\bullet$, obecnymi w środowisku reakcji chemicznej. Następuje wtedy podstawienie kolejnych atomów wodoru w łańcuchu bocznym cząsteczki metylobenzenu:



Substytucja atomów fluorowca w **pierścieniu aromatycznym** toluenu, podobnie jak w przypadku benzenu (patrz 2.4., s. 86), 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.:



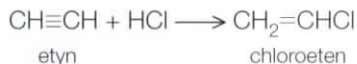
W cząsteczce naftalenu reakcja substytucji przebiega łatwiej w kierunku powstania pochodnej α , choć fluorowiec może znajdować się w obu położeniach. Fluorowcowanie naftalenu, podobnie jak innych węglowodorów aromatycznych, zachodzi w obecności katalizatora:



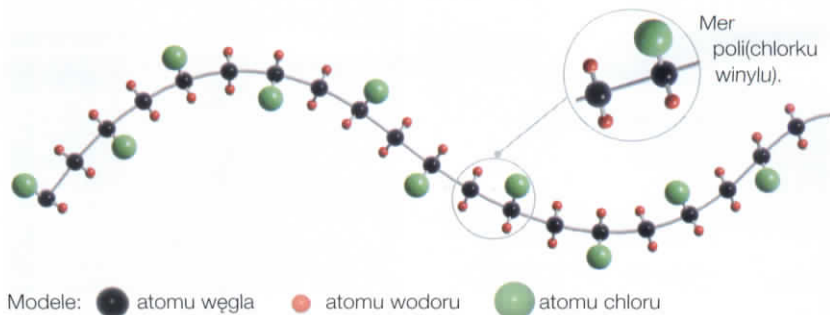
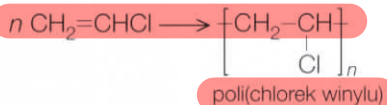
Polimeryzacja fluorowcopochodnych węglowodorów

Największe znaczenie w przemyśle mają produkty polimeryzacji chloroetenu i tetrafluoroetenu.

Chloroeten $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$, nazywany **chlorkiem winylu** ze względu na obecność w cząsteczce **grupy winylowej** $\text{CH}_2=\text{CH}-$, jest produktem reakcji addycji chloru do cząsteczek etynu:



Chlorek winylu jest surowcem do otrzymywania poli(chlorku winylu) (rys. 21.):



Rys. 21. Model fragmentu łańcucha poli(chlorku winylu).

grupa winylowa
 $\text{CH}_2=\text{CH}-$

otrzymywanie
chloroetenu

Poli(chlorek winylu) to tworzywo syntetyczne oznaczane skrótem **PVC**. Często spotykany skrót **PCV**, którym określa się poli(chlorek winylu), jest niepoprawny. 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 do produkcji rur, materiałów izolacyjnych i budowlanych oraz opakowań.

! Podczas spalania odpadów z PVC wydziela się toksyczny chlorowodór oraz bardzo toksyczne fluorowcopochodne nazywane dioksynami.

Innym substratem do produkcji tworzyw sztucznych jest **tetrafluoroeten** $\text{CF}_2=\text{CF}_2$. W wyniku jego polimeryzacji otrzymuje się **politetrafluoroeten**, nazywany także **teflonem**:

politetrafluoroeten
(teflon)



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 (fot. 47.), materiałów uszczelniających oraz powłok ochronnych, np. naczyń kuchennych.



Fot. 47. Elewacja hotelu Burj Al Arab w Dubaju została wykonana z włókna szklanego pokrytego teflonem: a) w ciągu dnia teflonowa powłoka chroni wnętrze budynku przed promieniowaniem słonecznym, b) w nocy powłoka służy jako ekran projekcyjny barwnego pokazu światel.

Zastosowania i występowanie fluorowcopochodnych węglowodorów

Naturalne fluorowcopochodne węglowodorów występują w niewielkich ilościach, głównie w morskich organizmach roślinnych i zwierzęcych. Najwięcej zastosowań ma chlorometan, który jest ważnym półproduktem.



Przemysł chemiczny

Heksachloroetan (C_2Cl_6) stosuje się do produkcji granatów dymnych.

Chlorobenzen (C_6H_5Cl) jest stosowany w procesie produkcji barwników organicznych, używanych np. do barwienia tworzyw sztucznych. **Tribromometan** ($CHBr_3$, bromoform) i **tetrabromoetan** ($C_2H_2Br_4$) są używane jako tzw. ciecze ciężkie do rozdzielania minerałów różniących się gęstością.

Medycyna

Chloroetan (C_2H_5Cl) stosuje się jako łagodny środek znieczulający miejscowo. Po rozpyleniu na skórę, wskutek szybkiego parowania, daje efekt chłodzący. Do dezynfekcji ran stosuje się **trijodometan** (CHI_3 , tzw. jodoform), który uwalnia jod o silnych właściwościach antyseptycznych. **Tribromometan** ($CHBr_3$) jest stosowany w leczeniu astmy – jego wstrzyknięcie łagodzi nagły atak.

Rolnictwo

1,4-dichlorobenzen ($C_6H_4Cl_2$) jest składnikiem preparatów chroniących uprawy przed pleśnią oraz preparatów przeznaczonych do zwalczania moli. Natomiast **1-chloronaftalen** ($C_{10}H_7Cl$) jest składnikiem środków owadobójczych i grzybobójczych. Obecnie są one wycofywane z użycia ze względu na ich toksyczność.



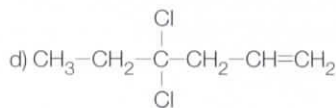
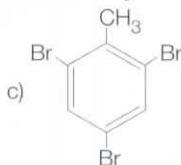
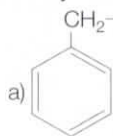
Gdzie występują fluorowcopochodne węglowodorów?

Makroalgi morskie, m.in. brunatnice, wytwarzają trichloroetan i 1,2-dibromoetan. Te fluorowcopochodne węglowodorów trafiają też do atmosfery w wyniku **wybuchów wulkanów** i **pożarów lasów**.



Rozwiąż zadania

1. Podaj nazwy systematyczne podanych związków chemicznych.



2. Napisz wzory półstrukturalne związków chemicznych o podanych nazwach systematycznych.

a) 1-chloroprop-1-en

c) 2-bromo-3-chloropent-1-en

b) 2,3-dibromobut-1-en

d) 1,2-dichlorocyklopentan

3. Napisz wzory strukturalne związków chemicznych o wzorze sumarycznym $\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl}$.

4. Wskaż poprawne dokończenie zdania.

W reakcji chlorowania etenu

a) węgiel się utlenia, a chlor redukuje.

b) chlor się utlenia, a węgiel redukuje.

c) wodór się utlenia, a węgiel redukuje.

d) żaden z pierwiastków chemicznych nie zmienia swojego stopnia utlenienia, ponieważ nie jest to reakcja utleniania-redukcji.

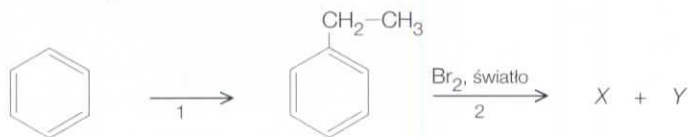
5. Ustal wzór sumaryczny związku chemicznego, wiedząc, że zawiera on 24,24% węgla, 4,04% wodoru i 71,72% chloru (procenty masowe).

6. Ustal wzór rzeczywisty chloropochodnej węglowodoru, wiedząc, że jej masa cząsteczkowa wynosi 237 u i zawiera 89,9% chloru oraz 10,1% węgla.

7. Napisz równania reakcji chemicznych (1–3) przedstawionych na schemacie. Zastosuj wzory półstrukturalne.



8. Napisz równania reakcji chemicznych (1–2) przedstawionych na schemacie oraz wzory substancji oznaczonych literami X i Y.



9. Napisz wzory strukturalne wszystkich związków chemicznych o wzorze sumarycznym $\text{C}_4\text{H}_8\text{Cl}_2$.

Podaj ich nazwy systematyczne.

10. Napisz wzór półstrukturalny fluorowcopochodnej, z której można otrzymać but-1-en. Napisz równanie zachodzącej reakcji chemicznej.

11. Określ, czy reakcja chlorowania metanu jest reakcją redoks. Jeśli tak, wskaż utleniacz.

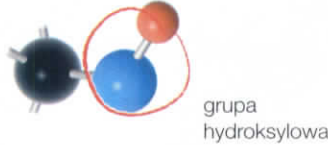


12. Toluenu poddano chlorowaniu w obecności światła. Powstało 11 g chlorofenylometanu. Oblicz, ile gramów toluenu uległo chlorowaniu, jeżeli wydajność tej reakcji chemicznej wynosiła 90%.

3.2. Alkohole monohydroksylowe

Pochodne węglowodorów, w których atom (lub atomy) wodoru został zastąpiony grupą funkcyjną $-\text{OH}$, to **alkohole**.

Cząsteczki alkoholi są zbudowane z **grup węglowodorowych** (alkilowych) i grupy funkcyjnej $-\text{OH}$ nazywanej **grupą hydroksylową**:



Wzór ogólny alkoholi:



gdzie:

$-R$ – grupa węglowodorowa (alkil),

$-\text{OH}$ – grupa hydroksylowa.

Alkohole

– związki chemiczne zawierające grupę funkcyjną $-\text{OH}$ (grupę hydroksylową).

Modele:

- atomu tlenu
- atomu wodoru
- atomu węgla

Podział alkoholi ze względu na:

liczbę grup $-\text{OH}$ w cząsteczce

monohydroksylowe
(jednowodorotlenowe),
np. metanol CH_3OH

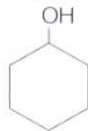
polihydroksylowe
(wielowodorotlenowe),
np. etano-1,2-diol

$$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{OH} \\ | \\ \text{CH}_2-\text{OH} \end{array}$$

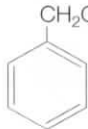
rodzaj grupy węglowodorowej

alifatyczne,
np. etanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

cykliczne,
np. cykloheksanol



aromatyczne,
np. fenylometanol



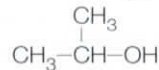
rzędowość atomu węgla związanego z grupą $-\text{OH}$

I-rzędowe

grupa $-\text{OH}$ jest związana z pierwszorzędowym atomem węgla, np. etanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

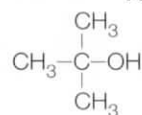
II-rzędowe

grupa $-\text{OH}$ jest związana z drugorzędowym atomem węgla, np. propan-2-ol



III-rzędowe

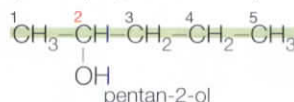
grupa $-\text{OH}$ jest związana z trzeciorzędowym atomem węgla, np. 2-metylopropan-2-ol



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 dodanie lokantu. Lokant umieszcza się przed końcówką **-ol** i oddziela od niej oraz nazwy rdzenia kreskami. Atomy węgla w łańcuchu numeruje się tak, aby lokant, przy którym znajduje się grupa hydroksylowa, miał jak najmniejszą wartość, np.

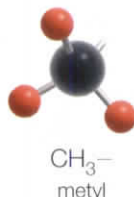


Atomy węgla
w łańcuchu alkoholu
numeruje się tak,
aby lokant, przy którym
znajduje się grupa **-OH**,
miał jak **najmniejszą**
wartość.

Można spotkać też nazwy, w których lokant określający położenie grupy funkcyjnej jest umieszczony przed nazwą alkoholu, np. 1-propanol, 2-propanol. Zgodnie z zaleceniami IUPAC należy stosować nazwy: propan-1-ol i propan-2-ol.

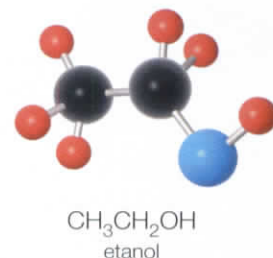
U alkoholi – oprócz nazw systematycznych – stosuje się też nazwy zwyczajowe. Składają się one ze słowa **alkohol** oraz przymiotnika pochodzącego od nazwy grupy alkilowej.

Najprostszym alkoholem monohydroksylowym jest **metanol**, nazywany też **alkoholem metylowym**. To pochodna metanu, w którym jeden atom wodoru został zastąpiony grupą hydroksylową **-OH**:



! Metanol CH_3OH jest bardzo silną trucizną. Wdychanie lub spożycie niewielkiej ilości tego alkoholu poraża układ nerwowy, powoduje silne zatrucie, a nawet śmierć.

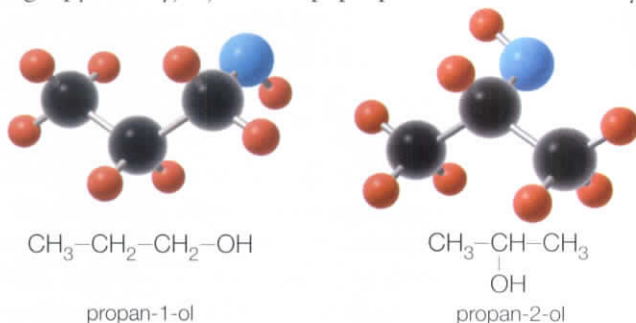
Drugim alkoholem w szeregu homologicznym alkoholi monohydroksylowych jest **etanol**, czyli **alkohol etylowy**. Stanowi on pochodną etanu:



Modele:

- atomu tlenu
- atomu wodoru
- atomu węgla

Począwszy od propanu alkohole mają izomery, które różnią się położeniem grupy funkcyjnej –OH, np. propanol ma dwa izomery:



izomery $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$

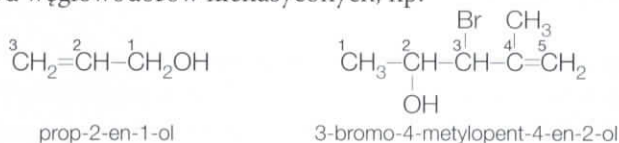
Modele:

- atomu tlenu
- atomu wodoru
- atomu węgla

W propan-1-olu i propan-2-olu występuje **izomeria położeniowa podstawnika** –OH (patrz 2.7., s. 102). Wśród alkoholi, podobnie jak u alkanów, występuje również **izomeria łańcuchowa** (różna budowa grupy węglowodorowej):



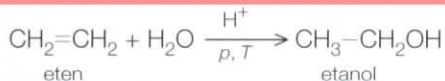
Grupa węglowodorowa –R w cząsteczce alkoholu nienasyconego pochodzi od węglowodorów nienasyconych, np.



■ Otrzymywanie alkoholi monohydroksylowych

Substratami w reakcjach otrzymywania nasyconych alkoholi monohydroksylowych są m.in. alkeny i fluorowcopochodne.

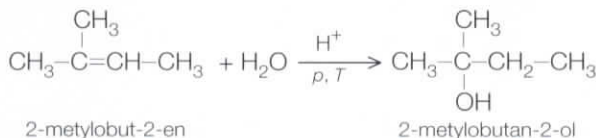
1. Katalityczne uwodnienie alkenów w obecności kwasów:



addycja cząsteczki wody do cząsteczki alkenu

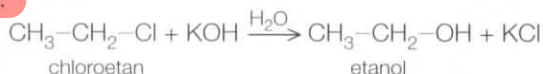
Katalizatorami w tej reakcji chemicznej są H_3PO_4 i SiO_2 .

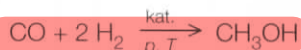
Reakcja uwodnienia niesymetrycznych cząsteczek alkenów przebiega zgodnie z regułą Markownikowa (patrz s. 64):



reakcja addycji wody zachodząca zgodnie z regułą Markownikowa

2. Reakcja fluorowcoalkanów z mocnymi zasadami w środowisku wodnym:

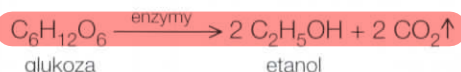


reakcja otrzymywania
CH₃OH

Metanol powstaje również w wyniku suchej destylacji drewna. Stąd wywodzi się jego dawna nazwa zwyczajowa – **spirytus drzewny**.

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. Sumaryczne równanie reakcji fermentacji alkoholowej ma postać:

fermentacja alkoholowa



W rzeczywistości fermentacja 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. 48.) jest ok. 96-procentowym roztworem etanolu w wodzie.



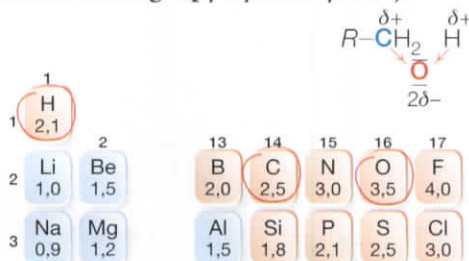
Fot. 48. Spirytus rektyfikowany otrzymuje się w specjalnych kolumnach rektyfikacyjnych wykonanych z miedzi lub stali szlachetnej.

Elektroujemność w skali
Paulinga

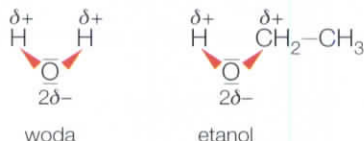
■ Właściwości alkoholi monohydroksylowych

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**:



Alkohole mają budowę podobną do budowy cząsteczki wody (rys. 22.).



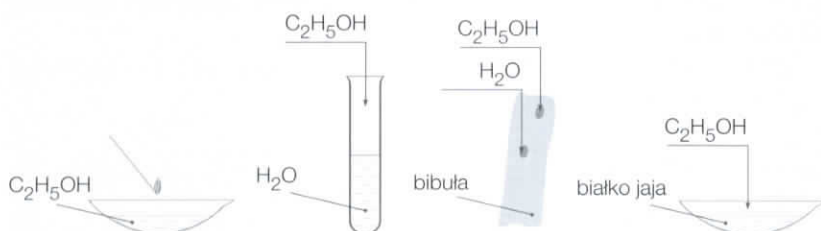
Rys. 22. Porównanie budowy cząsteczek wody i etanolu.

Doświadczenie 16. C_2H_5OH

Badanie właściwości etanolu

a) Do parownicy wlej 1 cm^3 etanolu. Określ jego stan skupienia, barwę i zapach. Zbliź do etanolu zapalone łuczywo. b) 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. Probówkę zamknij korkiem i energicznie wstrząśnij. Odstaw probówkę i ponownie zaznacz poziom cieczy. c) W roztworze etanolu zanurz uniwersalny papierek wskaźnikowy. d) Na bibułę nanieś kroplę etanolu. Dla porównania obok nanieś kroplę wody. Sprawdź wygląd bibuły po 5 minutach. e) Dodaj kroplę etanolu do niewielkiej ilości białka umieszczonego na szalce Petriego (schemat).

Co obserwujesz?



Etanol jest bezbarwną cieczą o charakterystycznym zapachu. Łatwo spala się jasnoniebieskim płomieniem (fot. 49.). Ostrożnie wlewany do probówki z wodą, tworzy warstwę – można zauważyć granicę między cieczami. Po wymieszanii granica zanika i następuje zmniejszenie objętości roztworu. 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, jak wszystkie alkohole, jest substancją łatwo palną. Przy nieograniczonym dostępie tlenu zachodzi spalanie całkowite etanolu:



W warunkach niewystarczającej ilości tlenu zachodzi spalanie niecałkowite:



Etanol bardzo dobrze miesza się z wodą – następuje zjawisko zmniejszenia objętości roztworu etanolu o ok. 4% (procent objętościowy) (fot. 50., s. 134) 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.



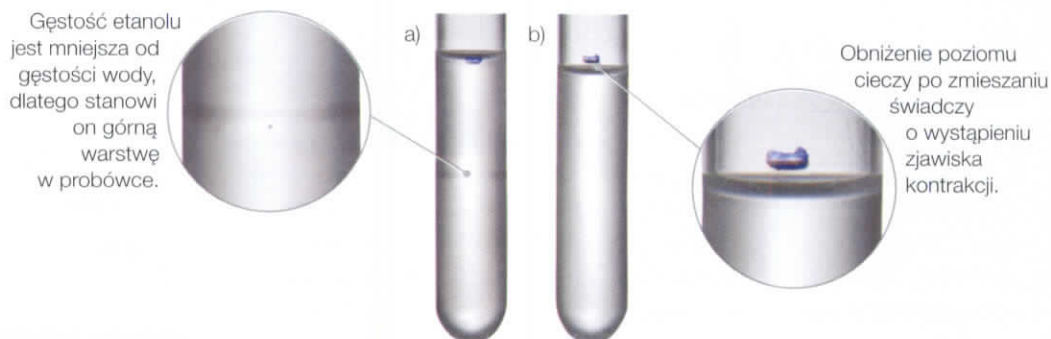
Fot. 49. Spalanie etanolu.

spalanie całkowite C_2H_5OH

spalanie niecałkowite C_2H_5OH

Kontrakcja

– zjawisko fizyczne, które polega na zmniejszeniu objętości roztworu na skutek oddziaływań między składnikami mieszaniny.

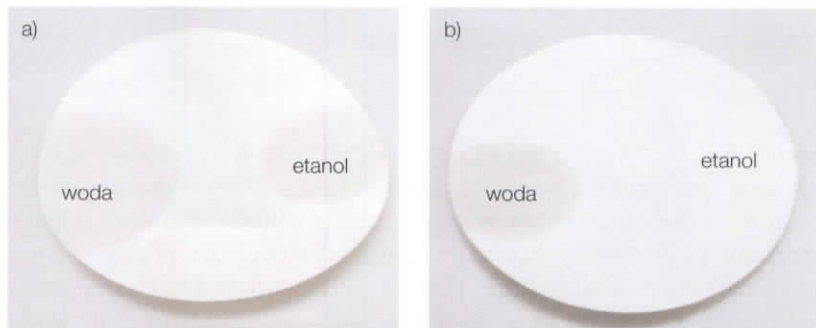


Fot. 50. Mieszanie etanolu z wodą: a) objętość przed wymieszaniem; b) zmniejszenie objętości po wymieszaniu.

Wodny roztwór etanolu ma odczyn obojętny, pomimo obecności w cząsteczce alkoholu grupy $-OH$. **Alkohole nie ulegają więc dysocjacji jonowej.**

Etanol szybciej niż woda odparował z bibuły (fot. 51.), jest więc cieczą bardziej lotną od wody.

Etanol jest **bardziej lotny od wody**, gdyż ma **niższą temperaturę** wrzenia, a więc szybciej paruje.



Fot. 51. Porównanie lotności alkoholu i wody: a) stan na początku doświadczenia chemicznego; b) stan po 5 min.

Białko ulega denaturacji (ścina się) pod wpływem alkoholu (fot. 52.). Potwierdza to **szkodliwe działanie etanolu na organizmy, w tym na organizm człowieka.**



Fot. 52. Wpływ etanolu na białko jaja.

Z powodu obecności polarnych grup -OH cząsteczki alkoholi ulegają **asocjacji** (rys. 23.), która jest przyczyną wysokiej temperatury wrzenia i tnięcia alkoholi.

Wraz z wydłużaniem się łańcucha węglowego zmniejsza się wpływ grupy -OH na właściwości alkoholi – zmniejsza się ich rozpuszczalność, a zwiększa gęstość. Alkohole, które mają więcej niż 12 atomów węgla w cząsteczce, są nierozpuszczalnymi w wodzie, bezzapachowymi substancjami stałymi (tabela 15.).

Tabela 15. Właściwości wybranych alkoholi

Nazwa systematyczna alkoholu	Wzór półstrukturalny skrócony	Stan skupienia	Temperatura wrzenia, °C
Metanol	CH_3OH	ciecz	65
Etanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$	ciecz	78
Propan-1-ol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$	ciecz	97
Heptan-1-ol	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2)_5\text{-CH}_2\text{OH}$	ciecz	176
Oktan-1-ol	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2)_6\text{-CH}_2\text{OH}$	ciecz oleista	194
Dodekan-1-ol	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2)_{10}\text{-CH}_2\text{OH}$	substancja stała	255

Dzięki obecności grupy hydroksylowej alkohole są związkami chemicznymi o dużej reaktywności chemicznej. W reakcjach chemicznych bierze udział cała grupa -OH lub tylko pochodzący od niej atom wodoru.

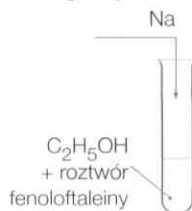
Doświadczenie 17. Na $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, H_2 H_2

Reakcja etanolu z sodem

 Reakcja z sodem jest niebezpieczna. Zachowaj szczególną ostrożność.

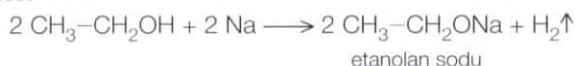
Do probówki zawierającej ok. 3 cm^3 etanolu i kroplę roztworu fenoloftaleiny wrzucić (osuszony bibułą filtracyjną) kawałek sodu wielkości ziarna ryżu (schemat). Ostrożnie sprawdzić palność wydzielającego się gazu.

Co obserwujesz?



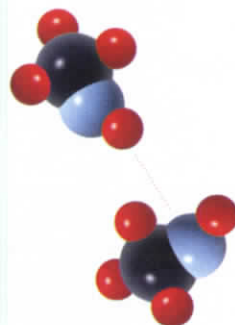
Po wrzuceniu sodu do etanolu wydziela się bezbarwny gaz, a zawartość probówki barwi się na malinowo.

Jednym z produktów reakcji chemicznej sodu z etanolem jest palny gaz – wodór:



Asocjacja

– łączenie się cząsteczek w większe zespoły.



Modele:

- atomu tlenu
- atomu wodoru
- atomu węgla

Rys. 23. Model wiązania wodorowego między polarnymi cząsteczkami metanolu.

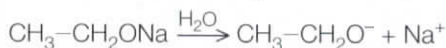
Wodór wyparty przez sód pochodzi z **grupy hydroksylowej**.

$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{ONa}$ to związek chemiczny o **charakterze soli słabego kwasu** $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ i **mocnej zasady** NaOH .

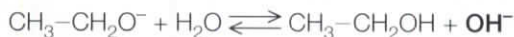
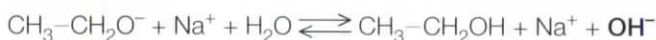
odczyn zasadowy

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 i atom wodoru zostaje podstawiony atomem sodu. Produktem tej reakcji chemicznej jest **alkoholan** – związek chemiczny o charakterze soli. Ulega on w wodzie reakcji hydrolizy typowej dla soli słabych kwasów i mocnych zasad. Nadmiar jonów wodorotlenkowych OH^- nadaje roztworowi odczyn zasadowy, dlatego fenoloftaleina w próbówce barwi się na malinowo.

Dysocjacja etanolanu sodu (mocnego elektrolitu):



Jony, powstające podczas dysocjacji, reagują z wodą:



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.

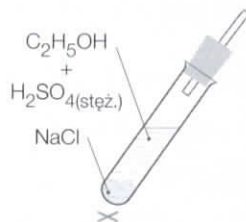
Doświadczenie 18. HCl , H_2SO_4 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

Reakcja etanolu z chlorowodorem

! Doświadczenie wykonuj pod wyciągiem. Zachowaj szczególną ostrożność. Podczas nalewania roztworu H_2SO_4 stosuj okulary i rękawice ochronne.

Do próbówki 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 próbówki, a następnie zapal gaz wydzielający się u jej wylotu.

Co obserwujesz?

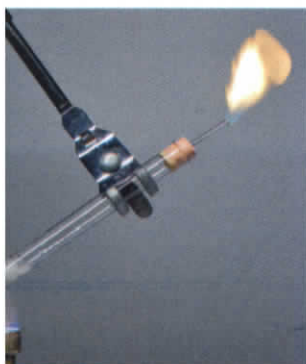
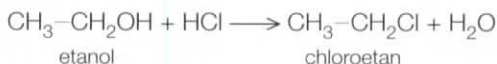


Z próbówki wydziela się palny gaz (fot. 53.).

Zachodzi reakcja chemiczna, którą można przedstawić za pomocą równania:



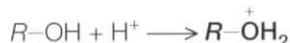
Otrzymany chlorowódor reaguje z etanolem. Polarne wiązanie C—O w cząsteczce etanolu ulega rozerwaniu i cała grupa hydroksylowa —OH zostaje zastąpiona atomem chloru. Produktem reakcji chemicznej jest palny gaz – chloroetan:



Fot. 53. Reakcja etanolu z chlorowodorem.

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 HX, gdzie $X = \text{Cl, Br, I}$, przyłączają się do wolnych par elektronowych atomu tlenu grupy hydroksylowej alkoholu. Powstają jony **alkilooksoniowe**:



jon alkilooksoniowy

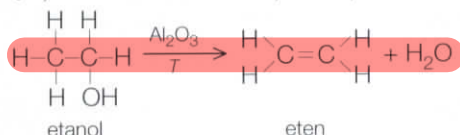
Następnie jony alkilooksoniowe reagują z anionami fluorowca (powstającymi podczas dysocjacji kwasu HX), które w tej reakcji chemicznej pełnią funkcję nukleofila. Zachodzi substytucja nukleofilowa zgodnie z równaniem:



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**.

Alkohole monohydroksylowe ulegają również **reakcji dehydratacji** (odwodnienia), której produktem są alkeny. Ten typ reakcji chemicznej w chemii organicznej nosi nazwę **reakcji eliminacji**. Proces prowadzi się, przepuszczając pary alkoholu nad ogrzanym tlenkiem glinu, który silnie wiąże wodę i jest katalizatorem tej reakcji chemicznej:



To jest interesujące

Zarówno w organizmach roślinnych, jak i zwierzęcych występuje wiele alkoholi. Należą do nich m.in. **geraniol** oraz **cytronelol**. Pierwszy jest wydzielany przez pszczoły, sygnalizujące znalezienie pokarmu. Drugi występuje powszechnie w olejkach eterycznych wielu roślin, m.in. niektórych gatunków róży, melisy, trawy cytrynowej (fot. 54.), liściach cytryny, geranium i pomarańczy. Alkoholem jest też **mentol** – główny składnik olejku miętowego, stosowany powszechnie jako miętowy zapach w pastach do zębów i wyrobach spożywczych. Do alkoholi zalicza się również **cholesterol**. Odpowiada on za zmiany miażdżycowe w naczyniach krwionośnych. Jego duże ilości zawierają tłuszcze zwierzęce, mięso i niektóre owoce, np. awokado.

Fot. 54. Trawę cytrynową stosuje się przede wszystkim jako przyprawę.



Doświadczenie 19.

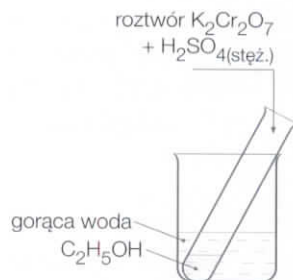


Wykrywanie obecności etanolu

! Zachowaj szczególną ostrożność. Podczas nalewania H_2SO_4 używaj okularów i rękawic ochronnych.

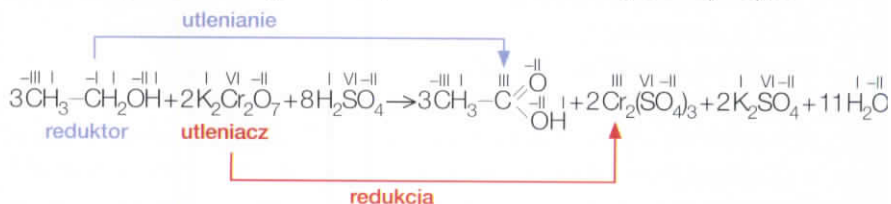
Do probówki zawierającej 3 cm^3 etanolu dodaj dwie krople dichromianu(VI) potasu i kroplę stężonego roztworu kwasu siarkowego(VI). Probówkę umieść w zlewce z gorącą wodą (schemat).

Co obserwujesz?



Roztwór w probówce zmienił barwę z pomarańczowej na zieloną (fot. 55.).

Zaszła reakcja chemiczna, która jest typową reakcją utleniania-redukcji z udziałem związków organicznych. Równanie tej reakcji chemicznej można uzgodnić, stosując metodę bilansu elektronowego, otrzymując:

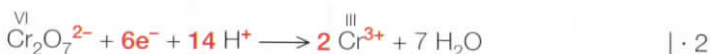


Równanie to można też zapisać i uzgodnić, stosując zapis jonowo-elektronowy równań reakcji utleniania i redukcji.

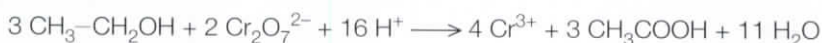
1. Zapisanie równań reakcji utleniania i redukcji:



2. Uzgodnienie równań reakcji utleniania i redukcji:



3. Zapisanie równania reakcji utleniania i redukcji, po wyrównaniu liczby oddanych i pobranych elektronów oraz zsumowaniu równań stronami:



Pomarańczowa barwa roztworu na początku doświadczenia świadczy o obecności jonów $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. Zielona barwa roztworu po zakończeniu reakcji chemicznej jest spowodowana obecnością jonów Cr^{3+} .



Fot. 55. Wykrywanie etanolu.

Zastosowania i występowanie alkoholi monohydroksylowych

W środowisku przyrodniczym alkohole najczęściej występują jako składniki olejków eterycznych, wosków i tłuszczów. Na potrzeby przemysłu pozyskuje się je m.in. w procesie hydratacji alkenów i fermentacji.

Paliwa

Metanol (CH_3OH) jest używany jako paliwo do motocykli stosowanych w sporcie żużlowym. **Etanol** ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) lub mieszanina etanolu z benzyną to biopaliwo wykorzystywane do napędzania samochodów z silnikami typu FFV [ang. *Flexible Fuel Vehicle*]. **Butanol** ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$) dodany do benzyny podwyższa jej liczbę oktanową.

Przemysł kosmetyczny

Heksadekan-1-ol ($\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{OH}$) jest stosowany jako emulgator m.in. w kremach do cery tłustej i zanieczyszczonej oraz w balsamach do ciała. **Mentol** ($\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{OH}$), jest stosowany w płynach kosmetycznych, kremach oraz produktach do higieny jamy ustnej. Nadaje im miętowy smak i zapach, działa kojąco oraz wywołuje uczucie chłodu.

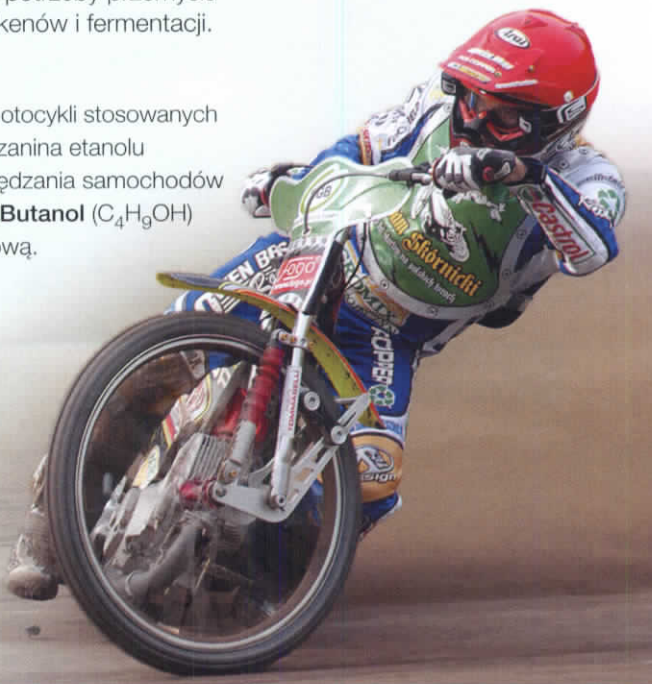
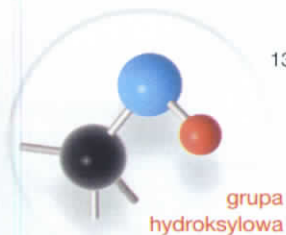


Przemysł chemiczny

Metanol (CH_3OH) wykorzystuje się jako rozpuszczalnik i substrat w syntezie aldehydu mrówkowego, używanego np. do produkcji barwników oraz żywic syntetycznych. Jako rozpuszczalnik stosuje się również **propanol** ($\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$). Jest to surowiec używany do syntezy acetonu i estrów kwasów karboksylowych na skalę przemysłową.

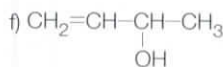
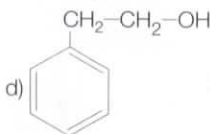
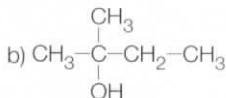
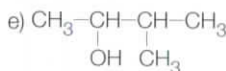
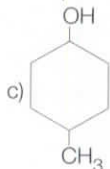
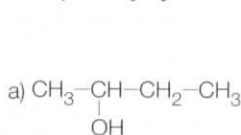
Gdzie występują alkohole monohydroksylowe?

W płacie czołowym **kaszalota** powstaje olbrot – substancja, której składnikiem jest heksadekan-1-ol. Ze względu na właściwości stał się popularny w przemyśle kosmetycznym i farmaceutycznym. Jednak ochrona kaszalotów spowodowała, że coraz częściej wykorzystuje się jego syntetyczny zamiennik. Z kolei bombikol ($\text{C}_{16}\text{H}_{29}\text{OH}$) to alkohol nienasycony będący feromonem samicy **jedwabnika morwowego**.



Rozwiąż zadania

1. Podaj nazwy systematyczne alkoholi o podanych wzorach półstrukturalnych.



2. Napisz wzory strukturalne i szkieletowe alkoholi o podanych nazwach.

a) propan-2-ol

d) pentan-3-ol

g) 2-metylocykloheksanol

b) butan-1-ol

e) prop-2-yn-1-ol

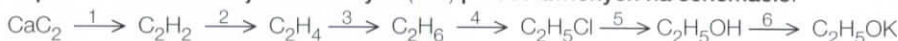
h) 4-metylopentan-2-ol

c) 2-metylopropan-1-ol

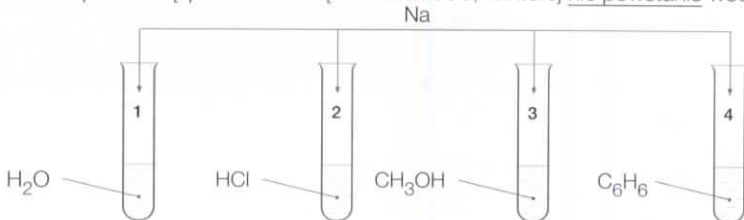
f) 2-chloropropan-1-ol

3. Napisz wzory półstrukturalne oraz nazwy systematyczne alkoholi o wzorze sumarycznym $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$. Określ rzędowość tych alkoholi.

4. Napisz równania reakcji chemicznych (1–6) przedstawionych na schemacie.

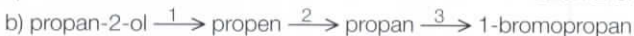
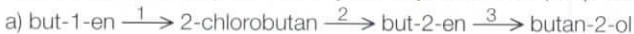


5. Wskaż probówkę przedstawioną na schemacie, w której nie powstanie wodor. Odpowiedź uzasadnij.



6. Napisz w formie jonowej skróconej równanie reakcji chemicznej, w której udowodnisz zasadowy odczyn wodnego roztworu propanianu sodu.

7. Napisz równania reakcji chemicznych (1–3) przedstawionych na schematach. Zastosuj wzory półstrukturalne. Określ warunki, w których zachodzą te reakcje chemiczne (temperatura, katalizator, kwasowość środowiska).



8. Oblicz, ile decymetrów sześciennych w warunkach normalnych zajmie wodor wydzielony w reakcji chemicznej 4 moli etanolu z sodem.

9. 18,5 g pewnego alkoholu monohydroksylowego przereagowało całkowicie z 5,75 g sodu. Napisz wzór sumaryczny i nazwę systematyczną tego alkoholu.

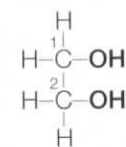
10. Podczas syntezy metanolu z tlenku węgla(II) i wodoru (gazu syntezowego) otrzymano 100 dm³ gazowego produktu. Oblicz objętość gazów (warunki normalne) użytych w tym procesie, jeśli wydajność tej reakcji chemicznej wyniosła 60%.

3.3. Alkohole polihydroksylowe

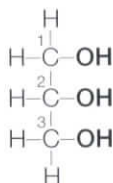
Alkohole polihydroksylowe to grupa związków organicznych zawierających w cząsteczkach co najmniej **dwie grupy hydroksylowe –OH**, z których każda jest związana z innym atomem węgla w **łańcuchu węglowym**. Do alkoholi polihydroksylowych należą m.in. **etano-1,2-diol** (nazwa zwyczajowa: **glikol etylenowy**) i **propano-1,2,3-triol** (nazwa zwyczajowa: **glicerol**, znany powszechnie pod nazwą **gliceryna**).

Nazewnictwo alkoholi polihydroksylowych

Nazwy systematyczne alkoholi polihydroksylowych tworzy się tak samo jak nazwy alkoholi monohydroksylowych. Przed końcówką **-ol** dodaje się liczebnik określający liczbę grup hydroksylowych –OH. Cyfry, oznaczające położenie grup hydroksylowych, oddziela się od siebie przecinkami i umieszcza przed liczebnikiem określającym liczbę grup –OH:

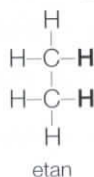


etano-1,2-diol

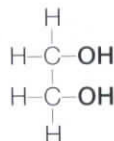


propano-1,2,3-triol

Wzór glikolu etylenowego wyprowadza się ze wzoru etanu, podstawiając dwa atomy wodoru grupami hydroksylowymi –OH:

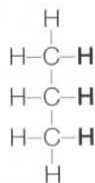


etan

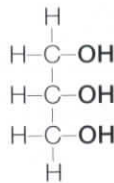


etano-1,2-diol

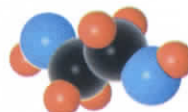
Glicerol jest pochodną propanu, w której trzy atomy wodoru zostały podstawione grupami –OH:



propan



propano-1,2,3-triol


 $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$
etano-1,2-diol

 $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$
propano-1,2,3-triol

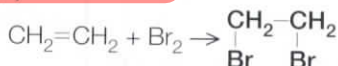
Otrzymywanie alkoholi polihydroksylowych

Alkohole polihydroksylowe otrzymuje się, podobnie jak inne alkohole, w reakcji hydrolizy zasadowej fluorowcopochodnych węglowodorów.

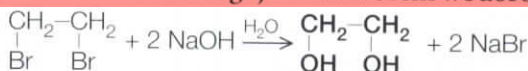
W warunkach laboratoryjnych glikol etylenowy otrzymuje się w następujący sposób:

Etap I. Eten reaguje z bromem

1,2-dibromoetan

**Etap II. 1,2-dibromoetan reaguje z roztworem wodorotlenku sodu**

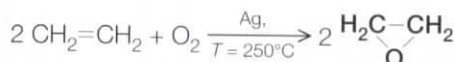
glikol etylenowy



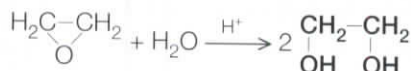
Na skalę przemysłową glikol etylenowy otrzymuje się z tlenku etylenu:

Etap I. Eten reaguje z tlenem

tlenek etylenu

**Etap II. Tlenek etylenu w środowisku kwasowym ulega reakcji hydrolizy**

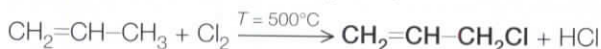
glikol etylenowy



Dawniej glicerol otrzymywano na skalę przemysłową w procesie hydrolizy zasadowej tłuszczów (proces zmydiania tłuszczów – patrz s. 208). Obecnie glicerol 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.

3-chloroprop-1-en

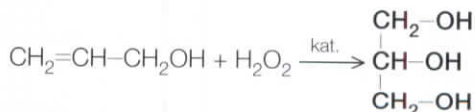
**Etap II. 3-chloroprop-1-en ulega reakcji hydrolizy**

prop-2-en-1-ol



Etap III. Prop-2-en-1-ol reaguje z nadtlenkiem wodoru w obecności katalizatora

glicerol

**To jest interesujące**

O budowie, właściwościach i zastosowaniach alkoholi polihydroksylowych można przeczytać pod adresem: <http://mymen3.w.interia.pl/alkohole/4.html>.

Informacje o wykorzystaniu alkoholi polihydroksylowych w przemyśle kosmetycznym znajdują się pod adresem: <http://chemical.pl/artykuly/chemical-review/6818/alkohole-wielowodorotlenowe-8211-zapasy-wody-dla-skory.html>

Właściwości alkoholi polihydroksylowych

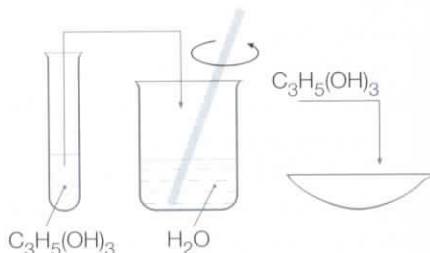
Doświadczenie 20.

Badanie właściwości glicerolu

a) Do probówki nalej 3 cm³ glicerolu. Określ jego stan skupienia, barwę i zapach. Następnie przelej glicerol do zlewki z wodą i wymieszaj bagietką. Zbadaj odczyn roztworu za pomocą uniwersalnego papierka wskaźnikowego.

b) Do parownicy porcelanowej wlej ok. 3 cm³ glicerolu (schemat). Zbadaj palność.

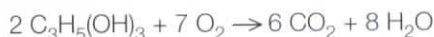
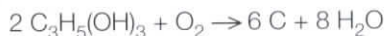
Co obserwujesz?



Glicerol jest bezbarwną, bezwoną, gęstą i nietoksyczną cieczą. Dobrze rozpuszcza się w wodzie. Roztwór wodny glicerolu nie zmienia zabarwienia uniwersalnego papierka wskaźnikowego. Glicerol jest palny (fot. 56.).

Cząsteczka glicerolu ma budowę polarną, dlatego glicerol dobrze rozpuszcza się w wodzie. Brak zmiany zabarwienia uniwersalnego papierka wskaźnikowego świadczy o odczynie obojętnym wodnego roztworu glicerolu.

Produktami reakcji spalania glicerolu są przede wszystkim: sadza, woda i tlenek węgla(IV):



Glikol etylenowy, podobnie jak glicerol, jest gęstą, bezbarwną cieczą, dobrze rozpuszczalną w wodzie. Ulega reakcjom spalania.

! Glikol etylenowy jest związkiem toksycznym.



Fot. 56. Spalanie glicerolu

spalanie niecałkowite
 $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$

spalanie całkowite
 $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$

To jest interesujące

Glikol propylenowy (propano-1,2-diol) w odróżnieniu od glikolu etylenowego nie jest toksyczny. Jest składnikiem m.in. płynu do wytwarzania efektu dymu podczas przedstawień teatralnych (fot. 57.). Taki płyn mgielny to specjalna mieszanina wody i glikolu propylenowego, przeznaczona do użytku w różnego rodzaju pomieszczeniach. Płyn wydostaje się pod ciśnieniem z generatora dymu i przechodzi przez specjalny element grzejny. Powstaje wówczas biała, sucha i bardzo gęsta chmura. Mgła nie pozostawia wilgoci i jest całkowicie nieszkodliwa dla ludzi, zwierząt oraz sprzętu elektrycznego.



Fot. 57. Dym w teatrze powstaje dzięki wytwornicom dymu.

Cząsteczki glikolu etylenowego i glicerolu 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 rozzerwać. Dlatego glikol etylenowy i glicerol są trudno lotnymi związkami chemicznymi o dużej lepkości oraz wysokich temperaturach topnienia i wrzenia.

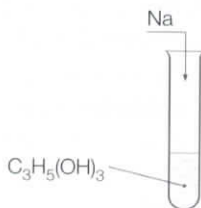
Im większa liczba grup $-OH$ w cząsteczce alkoholu i dłuższy łańcuch węglowy, tym mniejsza toksyczność alkoholu. Metanol jest bardzo toksyczny, glikol etylenowy – toksyczny, natomiast glicerol nie ma właściwości toksycznych.

Doświadczenie 21. Na

Reakcja glicerolu z sodem

! Nie dotykaj sodu palcami.

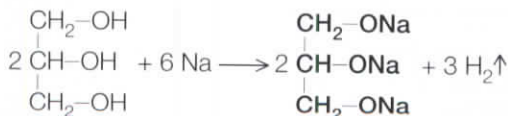
Do probówki zawierającej ok. 3 cm^3 glicerolu wrzucić kawałek sodu wielkości ziarna ryżu (schemat). Po całkowitym przereagowaniu sodu odparować kilka kropli roztworu na szkiełku zegarkowym. Osad rozpuścić w wodzie i dodać do niego kroplę roztworu fenoloftaleiny.



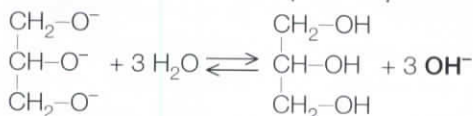
Co obserwujesz?

Po dodaniu sodu, w probówce pojawiły się pęcherzyki bezbarwnego gazu. Na szkiełku zegarkowym, po odparowaniu roztworu, zostaje osad (fot. 58.). Dodanie do niego wody powoduje powstanie roztworu, w którym fenoloftaleina barwi się na malinowo.

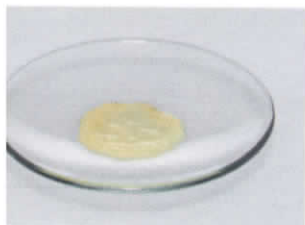
Glicerol, podobnie jak inne alkohole, reaguje z sodem – powstaje **glicerolan sodu**. Zachodzi reakcja chemiczna, którą można przedstawić równaniem:



Glicerolan sodu to związek chemiczny o odczynie zasadowym:



Glicerol w reakcji z sodem wykazuje charakter kwasowy. Glikol etylenowy, podobnie jak glicerol, reaguje z metalami aktywnymi chemicznie, tworząc sole – **glikolany**.



Fot. 58. Produktem reakcji chemicznej glicerolu z sodem jest glicerolan sodu.

glicerolan sodu

odczyn zasadowy

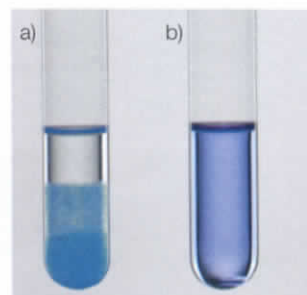
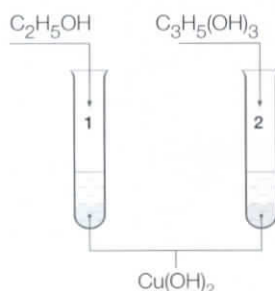
Doświadczenie 22.



Badanie zachowania się alkoholi wobec wodorotlenku miedzi(II)

Do dwóch probówek z roztworem siarczynu(VI) miedzi(II) dodaj kroplami roztwór wodorotlenku sodu. Do tak otrzymanego galaretowatego osadu wodorotlenku miedzi(II) dodaj: do probówki 1. etanol, do probówki 2. – glicerol (schemat). Wymieszaj zawartość probówek.

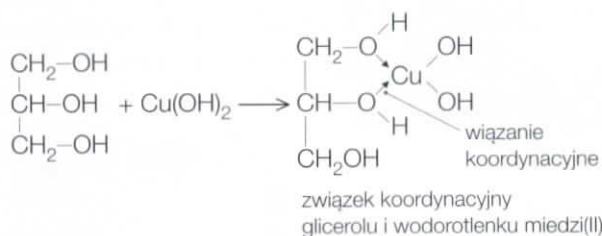
Co obserwujesz?



Fot. 59. Reakcja wodorotlenku miedzi(II) z: a) etanolem, b) glicerolem.

W probówce 1. zmiany nie są widoczne (fot. 59.a). W probówce 2. po dodaniu glicerolu osad rozpuszcza się, a roztwór przyjmuje szafirową barwę (fot. 59.b).

Reakcja etanolu z wodorotlenkiem miedzi(II) nie zachodzi. W wyniku reakcji chemicznej glicerolu 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:



Glicerol, w przeciwieństwie do alkoholi monohydroksylowych, reaguje z wodorotlenkami. 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 glicerol. **Reakcja alkoholi polihydroksylowych z Cu(OH)₂ jest reakcją charakterystyczną. Służy do ich odróżniania od alkoholi monohydroksylowych.**

Alkohole polihydroksylowe, ze względu na obecność grup –OH, wykazują podobne właściwości do alkoholi monohydroksylowych:

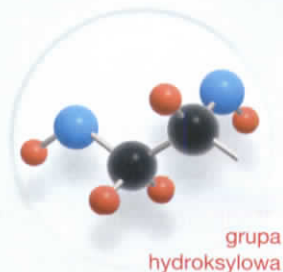
- reagują z metalami aktywnymi chemicznie,
- są łatwo palne,
- w odpowiednich warunkach mogą ulegać reakcji odwodnienia,
- mają silniejsze właściwości kwasowe.

Związki koordynacyjne (kompleksowe)

– związki chemiczne o złożonej budowie cząsteczek lub jonów, w których atom lub jon (kation), nazywany **atorem** lub **jonem centralnym**, jest połączony wiązaniami koordynacyjnymi z ligandami.

Zastosowania i występowanie alkoholi polihydroksylowych

Zarówno glikol etylenowy (etano-1,2-diol), jak i glicerol (propano-1,2,3-triol) są powszechnie wykorzystywane w procesach przemysłowych. Glikol etylenowy jest składnikiem płynów stosowanych m.in. w instalacjach grzewczych i klimatyzacyjnych. Glicerolu używa się w garbarstwie.



Przemysł spożywczy

Sorbitol to substancja słodząca (E 420), używana do produkcji dżemów, galaretek, lodów i czekolad. Ze względu na silny „efekt chłodzący” stosuje się go powszechnie do produkcji gum. **Glicerol (E 442)** jest rozpuszczalnikiem barwników spożywczych. Utrzymuje również wilgotność ciast.

Przemysł farmaceutyczny

Glikol propylenowy jest składnikiem żeli łagodzących ból podczas ząbkowania. Poprawia również smak leków, m.in. syropów przeciwkaszlowych, preparatów wykrztuśnych i pastylek do ssania. Zapobiega też wysychaniu kremów i maści.

Przemysł chemiczny

Glikol etylenowy stosuje się jako składnik płynów do chłodnic. Jest też rozpuszczalnikiem w procesach produkcji klejów, farb drukarskich i lakierów do pokrywania drewna.



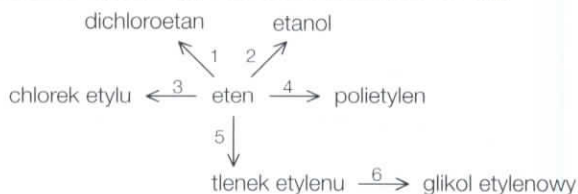
Gdzie występują alkohole polihydroksylowe?

Glicerol występuje np. w nasionach słonecznika, oliwkach, wątrobie ryb czy tkance tłuszczowej podskórnej ssaków morskich. **Galasówka wierzbow**a, owad żyjący na Alasce, wytwarza glicerol, który pozwala jej przeżyć w niskiej temperaturze. Sorbitol ($C_6H_8(OH)_6$) po raz pierwszy wyodrębniono z owoców jarzębiny, ale znajduje się też w: śliwkach, gruszkach, czereśniach, brzoskwiinach i jabłkach.

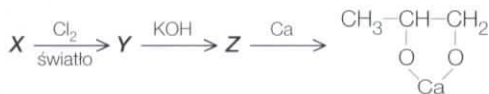


Rozwiąż zadania

- Napisz wzory półstrukturalne alkoholi polihydroksylowych** o podanych nazwach systematycznych.
a) pentano-1,2,3-triol c) propano-1,3-diol
b) butano-1,2-diol d) heksano-2,3,4-triol
- Napisz równania reakcji chemicznych** (1–4) przedstawionych na schemacie. Zastosuj wzory półstrukturalne.
etanol $\xrightarrow{1}$ eten $\xrightarrow{2}$ 1,2-dichloroetan $\xrightarrow{3}$ glikol etylenowy $\xrightarrow{4}$ glikolan potasu
- Ułóż 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.
- Poniżej podano kilka stwierdzeń dotyczących alkoholi. **Wskaż zdania zawierające prawdziwe informacje.**
a) Etanol rozpuszcza się w wodzie, natomiast glicerol jest w wodzie praktycznie nierozpuszczalny.
b) Etanol reaguje z sodem, tworząc etanolan sodu.
c) Glicerol nie reaguje z sodem.
d) Glicerol reaguje z $\text{Cu}(\text{OH})_2$, tworząc szafirowy roztwór.
e) Etanol nie reaguje z $\text{Cu}(\text{OH})_2$.
- Oblicz objętość tlenu** (warunki normalne), jakiej należy użyć w reakcji spalania całkowitego 92 g glicerolu.
- Ustal wzór rzeczywisty alkoholu** o masie cząsteczkowej 62 u, w którym stosunek masowy węgla do wodoru i do tlenu wynosi 60 : 15 : 80.
- Ułóż równania reakcji chemicznych** (1–6) przedstawionych na schemacie.



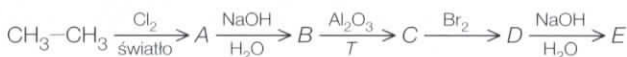
8. Poniższy schemat ilustruje przebieg trzech reakcji chemicznych.



Podaj symbole lub wzory chemiczne, które należy wpisać w miejsca liter X, Y i Z.

9. Wodny roztwór alkoholu przedstawionego na fotografii, o stężeniu 40–65%, stosuje się jako niezamarzający płyn chłodzący do silników samochodowych i lotniczych. **Oblicz, ile kilogramów tego alkoholu należy użyć** w celu przygotowania 15 kg jego roztworu o stężeniu 60%.

0. Napisz równania reakcji chemicznych przedstawionych na schemacie. Podaj wzory i nazwy systematyczne substancji chemicznych oznaczonych literami A–E.



3.4. Fenole

Fenole

– związki organiczne, w których cząsteczkach występują grupy hydroksylowe –OH bezpośrednio związane z atomami węgla pierścienia aromatycznego.

Fenole to związki chemiczne, w których grupa hydroksylowa –OH jest bezpośrednio związana z atomem węgla, znajdującym się w pierścieniu aromatycznym, wykazującym hybrydyzację sp^2 .

Wzór ogólny fenoli:



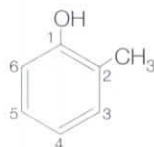
gdzie:

–Ar – grupa arylowa,
–OH – grupa hydroksylowa.

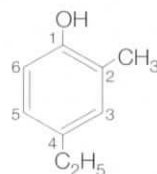
Oprócz **fenoli monohydroksylowych**, czyli zawierających tylko jedną grupę hydroksylową –OH w cząsteczce, istnieją też **fenole polihydroksylowe** o kilku grupach hydroksylowych –OH w cząsteczce, np.:



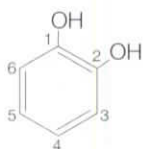
benzenol



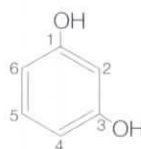
2-metylobenzenol



4-etylo-2-metylobenzenol



benzeno-1,2-diol



benzeno-1,3-diol



benzeno-1,4-diol

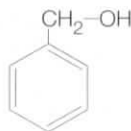
Cząsteczka fenolu zawiera jedną grupę hydroksylową związaną z pierścieniem aromatycznym.



benzenol
fenol

fenol

Jeżeli grupa –OH jest związana z atomem węgla grupy alkilowej węglowodoru zawierającego w cząsteczce łańcuchy aromatyczny i alifatyczny, to taki związek chemiczny **nie jest fenolem, lecz alkoholem aromatycznym**:



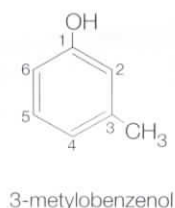
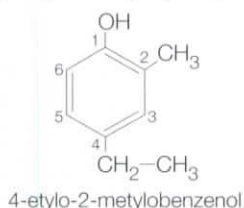
fenylometanol
alkohol benzylowy

alkohol aromatyczny

Nazewnictwo fenoli

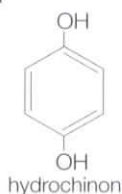
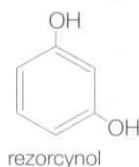
Nazwy systematyczne fenoli tworzy się podobnie jak alkoholi, dodając końcówkę **-ol** do nazwy węglowodoru, od którego pochodzi dana grupa arylowa. Najbardziej znane fenole mają zwykle swoje nazwy zwyczajowe.

Gdy związek chemiczny oprócz grupy hydroksylowej zawiera inne podstawniki, to ich położenie podaje się, numerując atomy węgla w pierścieniu aromatycznym. Numerowanie zaczyna się od atomu, z którym jest połączona grupa hydroksylowa:

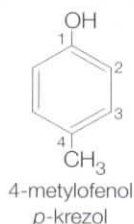


Najprostszym przykładem fenoli jest **benzenol**. Jego nazwa zwyczajowa – **fenol**, utrwaliła się w nazewnictwie chemicznym i jest zalecana oraz częściej stosowana niż nazwa systematyczna – benzenol. Nazwa hydroksybenzen jest niepoprawna.

Często stosuje się nazwy zwyczajowe dla fenoli polihydroksylowych:



Fenol rozpoczyna szereg homologiczny **fenoli**. Jego homologami są monohydroksylowe pochodne toluenu – **krezole**:



model cząsteczki
benzenolu



Modele:

- atomu tlenu
- atomu wodoru
- atomu węgla

krezole

Otrzymywanie fenoli

Piroliza

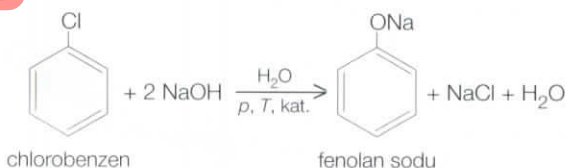
– proces przeróbki węgla kamiennego, polegający na jego ogrzewaniu w temp. ok. 1000°C bez dostępu powietrza.

Źródłem fenoli jest smoła pogazowa uzyskiwana w procesie **pirolizy węgla kamiennego**. Na skalę przemysłową fenole otrzymuje się m.in. z odpowiednich **fluorowcopochodnych węglowodorów aromatycznych** oraz tzw. **metodą kumenową**.

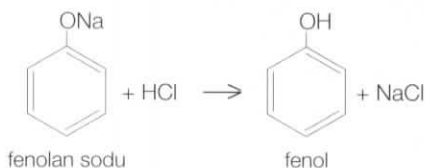
Fenol otrzymuje się z chlorobenzeny w dwóch etapach:

Etap I. Chlorobenzen reaguje ze stężonym roztworem wodorotlenku sodu

otrzymywanie C_6H_5OH



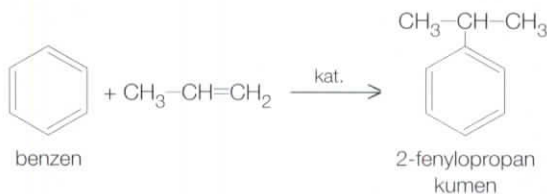
Etap II. Fenolan sodu poddaje się działaniu kwasu chlorowodorowego lub CO_2 i H_2O



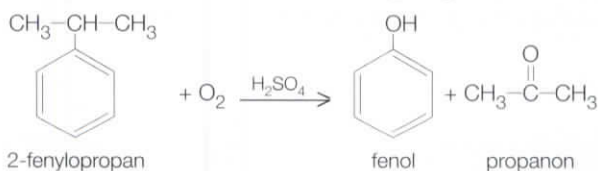
Metoda kumenowa również składa się z dwóch etapów:

Etap I. Benzen i propen reagują w obecności katalizatora AlCl_3

otrzymywanie C_6H_5OH



Etap II. 2-fenylopropan (kumen) reaguje z tlenem, a otrzymany produkt poddaje się działaniu roztworu H_2SO_4



Podczas tego procesu otrzymuje się dwa ważne produkty – fenol i propanon. W jego trakcie nie powstają odpady, nie zanieczyszcza więc środowiska przyrodniczego.

Właściwości fenoli

Doświadczenie 23. C_6H_5OH

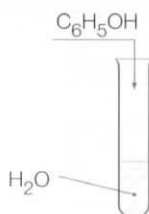
Badanie właściwości fenolu

! Fenol jest toksyczny i powoduje oparzenia skóry. Doświadczenia wykonuj pod wyciągiem, w okularach ochronnych, używając rękawic ochronnych.

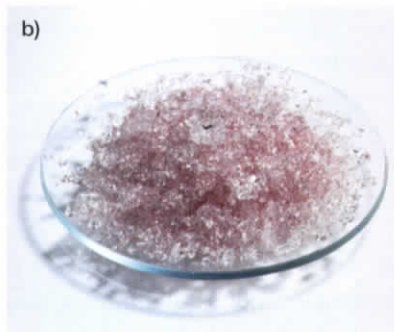
a) Określ stan skupienia, barwę i zapach fenolu oraz jego rozpuszczalność w zimnej i w gorącej wodzie.

b) Do probówki zawierającej 3 cm^3 wody wrzuc krysztal fenolu (schemat). Następnie wstrząśnij ostrożnie zawartością probówki i zbadaj odczyn powstałego roztworu za pomocą uniwersalnego papierka wskaźnikowego.

Co obserwujesz?



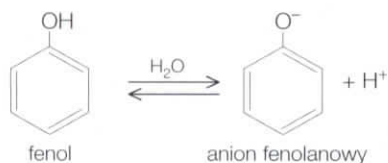
Fenol jest bezbarwną substancją krystaliczną (fot. 60.a). W obecności powietrza zmienia barwę na różową (fot. 60.b), a nawet brunatną. Ma intensywny, charakterystyczny zapach. Słabo rozpuszcza się w zimnej wodzie, tworząc zawiesinę. Uniwersalny papierek wskaźnikowy zanurzony w roztworze fenolu barwi się na czerwono.



Fot. 60. Kryształy fenolu: a) bezbarwne, b) różowe. Fenol utlenia się pod wpływem tlenu zawartego w powietrzu.

Fenol jest toksyczny, żrący, powoduje na skórze trudno gojące się rany.

Czerwone zabarwienie uniwersalnego papierka wskaźnikowego świadczy o **kwasowym odczynie wodnego roztworu fenolu**. Dysocjację jonową fenolu przedstawia równanie:



anion fenolanowy $C_6H_5O^-$

dysocjacja jonowa
 C_6H_5OH

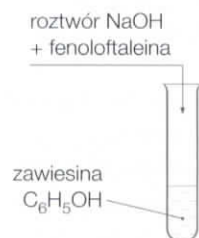
Fenol jest bardzo słabym kwasem. Jednak jego właściwości kwasowe są silniejsze niż u alkoholi. Wynika to z obecności pierścienia aromatycznego, który wpływa na znaczną polaryzację wiązania $\text{O}-\text{H}$ w grupie hydroksylowej. Przesunięcie niewiążących par elektronowych tlenu ku pierścieniowi aromatycznemu powoduje, że wiązanie między atomem tlenu a atomem wodoru w grupie hydroksylowej $-\text{OH}$ ulega osłabieniu, co ułatwia odszczepienie jonu wodoru H^+ .

Doświadczenie 24. $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$, NaOH $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$

Reakcja fenolu z roztworem wodorotlenku sodu

 Fenol jest toksyczny i powoduje oparzenia skóry. Doświadczenia z jego udziałem wykonuj pod wyciągiem, w okularach ochronnych, używając rękawic ochronnych.

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 roztworu kwasu chlorowodorowego, aż do uzyskania odczynu kwasowego. Odczyn sprawdź za pomocą uniwersalnego papierka wskaźnikowego. Co obserwujesz?

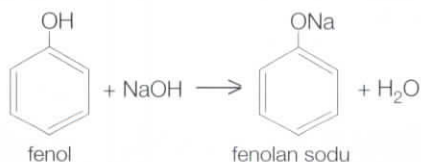


Zawartość probówki (zawiesina fenolu w wodzie) pod wpływem stężonego roztworu zasady sodowej staje się klarowna. Następnie po wlaniu roztworu kwasu chlorowodorowego ponownie mętnieje.

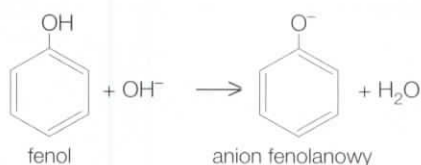
Fenol reaguje z roztworem wodorotlenku sodu. Ta reakcja chemiczna jest dowodem na silniejsze, w porównaniu z alkoholami, właściwości kwasowe fenolu. Alkohole nie ulegają tej reakcji chemicznej.

Zachodzi reakcja zobojętniania, której produktem jest **fenolan sodu**:

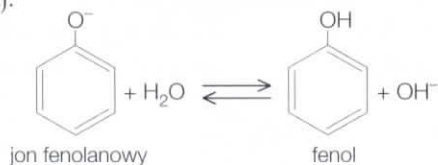
zapis cząsteczkowy



skrócony zapis jonowy

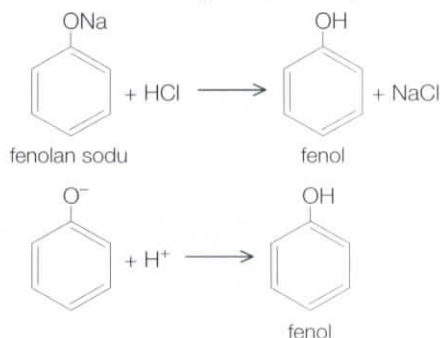


Fenolan sodu to sól słabego kwasu i mocnej zasady, więc ulega hydrolizie anionowej:



odczyn zasadowy

Kwas chlorowodorowy wypiera fenol z roztworu wodnego fenolanu sodu. Odczyn roztworu z zasadowego zmienia się na kwasowy:

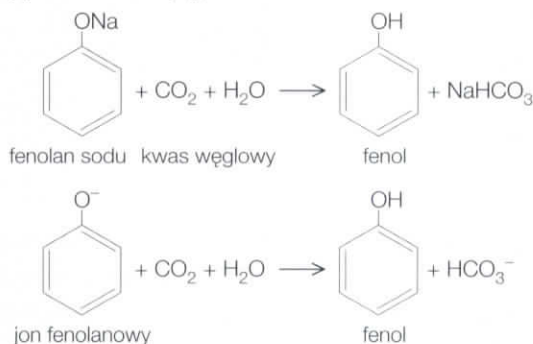


Mocny kwas (kwas chlorowodorowy) **wypiera słaby kwas** (fenol) z roztworu jego soli.

zapis cząsteczkowy

skrótowy zapis jonowy

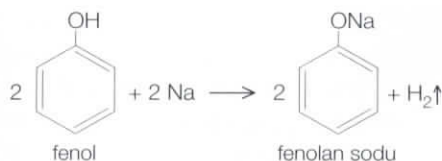
Fenol jest bardzo słabym kwasem, słabszym nawet od kwasu węglowego, który wypiera fenol z jego soli:



zapis cząsteczkowy

skrótowy zapis jonowy

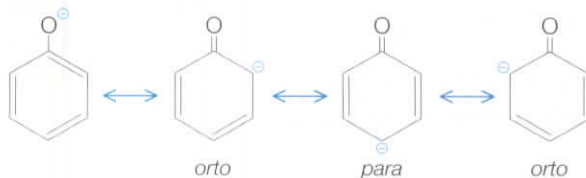
Fenol, podobnie jak alkohole, reaguje z metalami aktywnymi chemicznie:



Zwiększona kwasowość fenolu, w porównaniu z kwasowością alkoholi i wody, jest spowodowana delokalizacją, czyli przemieszczeniem się ładunku ujemnego atomu tlenu w anionie fenolanowym. Ładunek ten przemieszcza się na sąsiadujące atomy węgla w pierścieniu aromaticznym. 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:

struktury jonu $C_6H_5O^-$



Obecność pierścienia aromatycznego powoduje, że fenole ulegają także reakcjom charakterystycznym dla węglowodorów aromatycznych.

Doświadczenie 25.

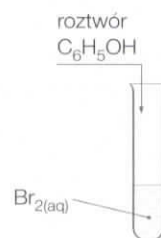


Reakcja fenolu z wodą bromową

! Fenol jest toksyczny. Powoduje oparzenia skóry. Doświadczenia należy wykonywać pod wyciągiem, w okularach ochronnych i rękawicach ochronnych.

Do 2 cm³ wody bromowej dodaj 1 cm³ roztworu wodnego fenolu (schemat). Do wylotu probówki zbliżony wodą uniwersalny papierek wskaźnikowy.

Co obserwujesz?



Fot. 61. Woda bromowa:

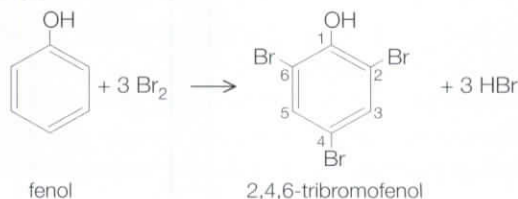
a) przed reakcją chemiczną,
b) po dodaniu fenolu.

Woda bromowa (fot. 61.a) odbarwia się po dodaniu fenolu (fot. 61.b). Na dnie probówki strąca się biały osad o charakterystycznym zapachu. Uniwersalny papierek wskaźnikowy barwi się na czerwono.

Fenol reaguje z bromem. Zmianę barwy uniwersalnego papierka wskaźnikowego spowodował wydzielający się bromowódor, który stanowi produkt uboczny reakcji chemicznej.

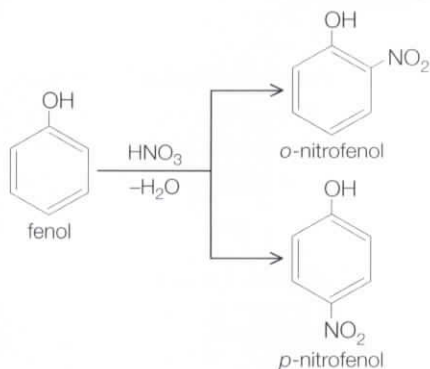
Reakcja chemiczna fenolu z bromem zaszła znacznie łatwiej niż w przypadku benzenu i nie wymagała użycia katalizatora (patrz s. 81–82, 86). Wynika z tego, że **grupa hydroksylowa –OH wpływa na reaktywność pierścienia aromatycznego**. Końcowym produktem reakcji bromowania jest 2,4,6-tribromofenol:

reakcja bromowania
 C_6H_5OH



Reakcję bromowania fenolu wykorzystuje się w laboratoriach chemicznych do ilościowego oznaczania stężenia fenolu w wodzie.

Fenol łatwo ulega też reakcji nitrowania, nawet z rozcieńczonym roztworem HNO_3 . Powstaje wówczas mieszanina *o*-nitrofenolu i *p*-nitrofenolu:



reakcja nitrowania
 $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$

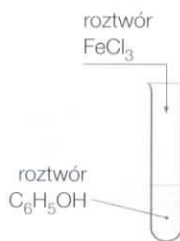
Doświadczenie 26. $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$, FeCl_3 $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ FeCl_3

Wykrywanie fenolu – reakcja fenolu z chlorkiem żelaza(III)

 Fenol jest toksyczny. Powoduje oparzenia skóry. Doświadczenie chemiczne wykonuj pod wyciągiem, w okularach ochronnych, używając rękawic ochronnych.

Do 2 cm^3 wodnego roztworu fenolu dodaj kilka kropli nasyconego roztworu chlorku żelaza(III). Do wylotu probówki zbliż zwilżony wodą uniwersalny papierek wskaźnikowy (schemat).

Co obserwujesz?



Fot. 62. Wykrywanie fenolu.

Powstał fioletowy roztwór (fot. 62.).

W wyniku reakcji fenolu z chlorkiem żelaza(III) powstaje związek kompleksowy o charakterystycznym zabarwieniu. Ta reakcja chemiczna umożliwia wykrycie nawet śladowych ilości fenolu.

To jest interesujące

Fenole łatwo reagują z utleniaczami, nawet tymi o słabych właściwościach utleniających. Bezbarwny fenol pod wpływem substancji utleniających tworzy **rodniki fenoksyłowe**, które łączą się i tworzą bardziej złożone związki organiczne. Powodują one zmianę barwy fenolu na różową. Rodniki fenoksyłowe są mniej reaktywne chemicznie i mniej niebezpieczne dla organizmów od rodników tienowych. Dlatego fenole, zwłaszcza te zawierające więcej grup hydroksylowych, tzw. **polifenole**, wykazują silne działanie przeciwutleniające i zmniejszają ryzyko wystąpienia chorób układu krwionośnego oraz nowotworów. Są też ważnym składnikiem diety. Występują m.in. w winogronach, liściach zielonej herbaty, oliwie z oliwek, kakao, brokułach i owocach, przede wszystkim cytrusowych (fot. 63.).

Fot. 63. Najwięcej polifenoli znajduje się w skórce owoców, np. mandarynek.





Fot. 64. Odpady z hut i pieców przemysłowych to m.in. źródło fenoli.

Wody powierzchniowe zanieczyszczone fenolem (fot. 64.) mają nieprzyjemny smak i zapach. Z powodu swoich właściwości toksycznych i rakotwórczych **nie nadają się do spożycia**. W celu zapobiegania zanieczyszczeniu wód fenolem stosuje się oczyszczanie ścieków.

■ **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 16.

Tabela 16. 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	alifatyczna	aromatyczna
Wzór ogólny związku monohydroksylowego	R–OH	Ar–OH
Wzór i nazwa głównego przedstawiciela grupy	CH ₃ OH metanol	C ₆ H ₅ OH benzenol
Dysocjacja	nie dysocjują	dysocjują z odsczepieniem 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	nie wykazują	wykazują – ulegają reakcjom nitrowania, sulfonowania i fluorowcowania
Charakter kwasowy	bardzo słaby u alkoholi monohydroksylowych	wyraźny – zdolność do reakcji chemicznych z wodorotlenkami
Reakcja charakterystyczna	• reakcja chemiczna z Cu(OH)₂ charakterystyczna dla alkoholi polihydroksylowych • reakcja chemiczna z K₂Cr₂O₇ w środowisku kwaśnym charakterystyczna dla C₂H₅OH	reakcja z FeCl ₃ charakterystyczna dla fenoli



grupa
hydroksylowa

Zastosowania i występowanie fenoli

Fenole występują w środowisku przyrodniczym dość często, ale w niewielkich stężeniach. Dawniej pozyskiwano je przede wszystkim ze smoły węglowej – produktu przeróbki węgla kamiennego. Obecnie na skalę przemysłową fenol otrzymuje się m.in. z benzeny.

Substancje czyszczące

Triklosan działa antyseptycznie, przeciwbakteryjnie i konserwująco. Dlatego jest składnikiem substancji używanych do odkażania narzędzi medycznych oraz do mycia rąk przed zabiegami chirurgicznymi. **Krezoole** mają właściwości bakteriobójcze i grzybobójcze, dlatego stosuje się je jako dodatek do płynów odkażających.

Medycyna

Tymol (2-izopropyl-5-metylofenol) można znaleźć w syropach wykrztuśnych stosowanych w chorobach dróg oddechowych, ponieważ pobudza wydzielanie śliny i wywołuje odruch wykrztusny. Ze względu na właściwości przeciwbólowe, przeciwskurczowe, bakteriobójcze i przeciwgrzybiczne, jest składnikiem preparatów odkażających rany.

Pestycydy

Tymol, który ma właściwości insektobójcze, jest składnikiem preparatów zwalczających roztocza, odpowiedzialne za wywołanie chorób m.in. u pszczoł miodnych. 2,4-dinitrofenol jest substancją toksyczną dla roślin, dlatego może być wykorzystywany jako środek trujący do niszczenia m.in. upraw roślinnych.



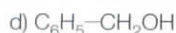
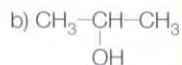
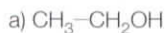
Gdzie występują fenole?

Fenole są składnikami olejków eterycznych roślin powszechnie stosowanych jako przyprawy, np. **kory cynamonowca**, **liści laurowych**, **ziela angielskiego** oraz **goździkowca korzennego**. Karwakrol oraz jego izomer tymol występują w olejkach z **oregano**, **kminku zwyczajnego** oraz **tymianku**. Gwajakol (2-metoksyfenol) pozyskuje się głównie z substancji zapachowych **wanilii**. W liściach buraka oraz w korze wierzby występuje pirokatechina (benzeno-1,2-diol).

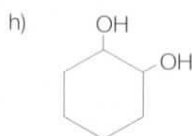
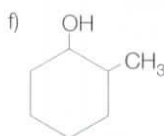
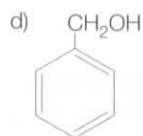
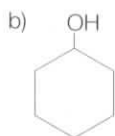
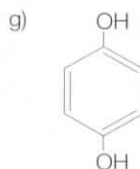
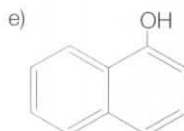
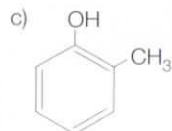
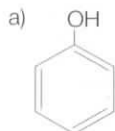


Rozwiąż zadania

1. Wskaż wzór związku chemicznego, który nie jest alkoholem.



2. Wskaż wzory związków chemicznych, które są fenolami.



3. Uszereguj podane substancje zgodnie ze wzrostem ich charakteru kwasowego.

a) kwas chlorowodorowy

c) glicerol

e) glikol etylenowy

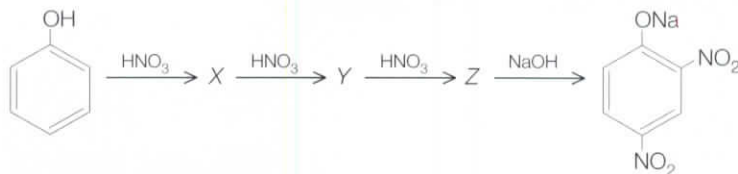
b) fenol

d) kwas węglowy

f) propan-1-ol

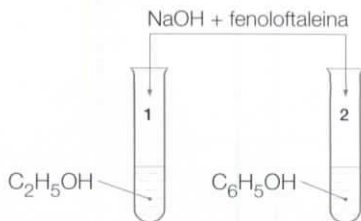
4. Określ odczyn wodnego roztworu fenolanu potasu. Odpowiedź uzasadnij, pisząc odpowiednie równanie reakcji chemicznej.

5. Podaj wzory sumaryczne lub symbole chemiczne oraz nazwy związków chemicznych oznaczonych literami X, Y i Z. Napisz odpowiednie równania reakcji chemicznych.



6. Zaproponuj sposób otrzymania fenolu, mając do dyspozycji karbid (węglík wapnia), wodę, chlor, wodorotlenek sodu i kwas chlorowodorowy. Napisz równania odpowiednich reakcji chemicznych.

7. Przeprowadzono doświadczenie chemiczne przedstawione na schemacie.



Określ, czy przedstawione doświadczenie chemiczne pozwala na odróżnienie alkoholi od fenoli.

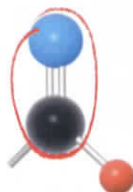
Wskaż probówkę, w której zajdzie reakcja chemiczna. Napisz równanie tej reakcji chemicznej i podaj nazwy produktów reakcji chemicznej.

3.5. Karbonylowe związki organiczne – aldehydy

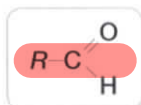
Aldehydy (alkanale) to pochodne węglowodorów, których cząsteczki

zawierają grupę funkcyjną $\text{C} \begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \end{smallmatrix}$, czyli **grupę aldehydową**.

W skład grupy aldehydowej wchodzi **grupa karbonylowa**:



Wzór ogólny aldehydów:



gdzie:

R – grupa węglowodorowa (alkil),

$\text{C} \begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \end{smallmatrix}$ – grupa aldehydowa.

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.

Drugim homologiem w szeregu aldehydów jest **etanal**, nazywany **aldehydem octowym** (fot. 65.). W przypadku aldehydów często stosuje się nazwy zwyczajowe (zamiast systematycznych) wywodzące się od nazw odpowiednich kwasów karboksylowych (tabela 17., s. 161).

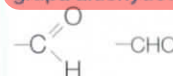
Aldehydy

– związki chemiczne, w których z grupą karbonylową jest połączona grupa węglowodorowa i atom wodoru.

grupa karbonylowa



grupa aldehydowa



metanal HCHO

etanal CH₃CHO

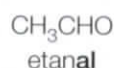


Fot. 65. Etanal występuje m.in. w palonych ziarnach kawy.

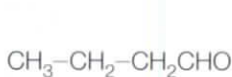
Nazewnictwo aldehydów

Nazwa „aldehydy” wywodzi się z języka łacińskiego i oznacza alkohol odwodorniony [łac. *alcohol dehydrogenatus* ‘alkohol pozbawiony wodoru’].

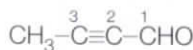
Nazwy systematyczne aldehydów tworzy się przez dodanie końcówki **-al** do nazwy węglowodoru o takiej samej liczbie atomów węgla w cząsteczce, łącznie z atomem węgla w grupie aldehydowej:



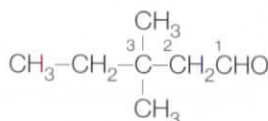
W przypadku aldehydów **nie podaje się lokantu** określającego położenie grupy funkcyjnej, gdyż zawsze od niej rozpoczyna się numerowanie atomów węgla w łańcuchu głównym. Atom węgla w grupie aldehydowej ma zawsze lokant 1, np.:



butanal

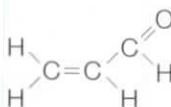


but-2-ynal

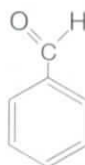


3,3-dimetylopentanal

Oprócz aldehydów pochodzących od alkanów wyróżnia się także aldehydy pochodzące od węglowodorów nienasyconych lub aromatycznych, np.:



propenal

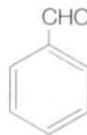


benzenokarboaldehyd

Niektóre aldehydy noszą nazwy zwyczajowe akceptowane przez IUPAC (tabela 17., s. 161), np.:

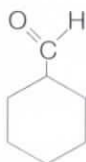


aldehyd akrylowy

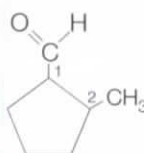


aldehyd benzoesowy

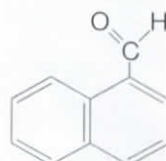
W nazewnictwie aldehydów cyklicznych i aromatycznych grupę aldehydową związaną z pierścieniem traktuje się jako podstawnik i określa przyrostkiem **-karboaldehyd**. Numeruje się tylko atomy węgla w pierścieniu, np.:



cykloheksanokarboaldehyd



2-metylocyklopentanokarboaldehyd



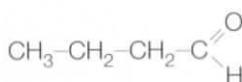
naftalenokarboaldehyd

Tabela 17. Wzory oraz nazwy najważniejszych alkanów i odpowiadających im aldehydów

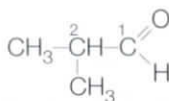
Wzór sumaryczny i nazwa systematyczna alkanu	Wzór sumaryczny i nazwa systematyczna aldehydu	Nazywa zwyczajowa aldehydu
CH_4 metan	HCHO metanal	aldehyd mrówkowy formaldehyd
C_2H_6 etan	CH_3CHO etanal	aldehyd octowy acetaldehyd
C_3H_8 propan	$\text{C}_2\text{H}_5\text{CHO}$ propanal	aldehyd propionowy
C_4H_{10} butan	$\text{C}_3\text{H}_7\text{CHO}$ butanal	aldehyd masłowy

Izomeria aldehydów

W aldehydach występuje izomeria łańcuchowa, ponieważ grupa aldehydowa może być związana zarówno z łańcuchem prostym (nierozgałęzionym), jak i z łańcuchem rozgałęzionym, np.



butanal



2-metylopropanal

izomery $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$

Izomery aldehydów mają taki sam wzór sumaryczny, ale różnią się budową szkieletu oraz właściwościami fizycznymi.

Otrzymywanie aldehydów

Doświadczenie 27.  CH_3CHO

Otrzymywanie etanal

 Produkt tej reakcji chemicznej jest toksyczny, drażni błony śluzowe i powoduje łzawienie.

Drut miedziany ogrzewaj w płomieniu palnika do czerwoności, a następnie ostudź. Ogrzej drut ponownie i włóż do probówki z 2 cm³ etanolu (schemat). Czynność powtórz kilka razy.

Co obserwujesz?

rozgrzany drut miedziany pokryty CuO

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

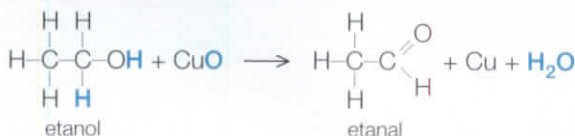


Podczas ogrzewania drut miedziany pokrył się czarnym nalotem. Po zanurzeniu w etanolu czarny nalot zanikł, a drut zmienił barwę na ceglastoczerwoną (fot. 66.).

Fot. 66. Otrzymywanie etanal.

Czarny nalot to tlenek miedzi(II) CuO, który jest produktem utleniania miedzi. Po umieszczeniu w etanolu miedzianego drutu pokrytego warstwą tlenku miedzi(II) zaszła reakcja chemiczna:

otrzymywanie CH₃CHO



W opisanej reakcji chemicznej etanol utlenił się do etanal, a miedź w tlenku miedzi(II) uległa redukcji do metalicznej miedzi.

Reakcja utleniania
alkoholi I-rzędowych
jest podstawową metodą
otrzymywania aldehydów.

Aldehydy powstają w wyniku utleniania alkoholi I-rzędowych. Czynnikiem utleniającym może być CuO lub tlen w obecności katalizatora.

Na skalę przemysłową metanal otrzymuje się najczęściej w wyniku **katalitycznego utlenienia metanolu**:

otrzymywanie HCHO



Niektóre aldehydy o dużym znaczeniu przemysłowym produkuje się specyficznymi metodami, charakterystycznymi dla poszczególnych związków chemicznych. Na przykład etanal otrzymuje się w **reakcji uwodnienia etynu** (acetyleny) w obecności siarczanu(VI) rtęci(II) i kwasu siarkowego(VI):

otrzymywanie CH₃CHO



Obecnie do otrzymywania etanal stosuje się częściej utlenianie etenu (etyleny) w obecności katalizatorów:

otrzymywanie CH₃CHO



Właściwości aldehydów

Doświadczenie 28. CH₃CHO

Badanie właściwości etanal

! Badana substancja jest toksyczna, drażni błony śluzowe i powoduje łzawienie. Sprawdź barwę, zapach i odczyn roztworu wodnego etanal. Odczyn sprawdź za pomocą uniwersalnego papierka wskaźnikowego. Co obserwujesz?

Etanal jest cieczą o drażniącym zapachu. W roztworze wodnym etanal uniwersalny papierk wskaźnikowy nie zmienia barwy.

Etanal to drugi aldehyd w szeregu homologicznym. Jego nazwa zwyczajowa to **aldehyd octowy**. Metanal – pierwszy w szeregu homologicznym aldehydów – w warunkach normalnych jest gazem o ostrym, charakterystycznym zapachu. Bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie.

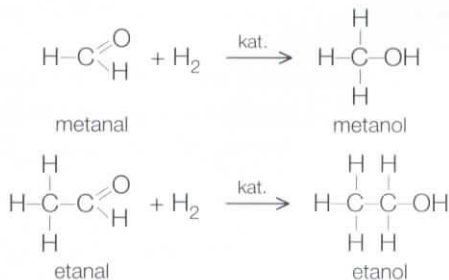
! Metanal jest związkiem toksycznym. Drażni błony śluzowe i powoduje łzawienie. **Jego 40-procentowy roztwór to formalina** (fot. 67.) – bezbarwna, lotna ciecz o drażniącym zapachu.

Kolejne aldehydy w szeregu homologicznym także są cieczami. Roztwory wodne tych związków chemicznych mają odczyn obojętny.

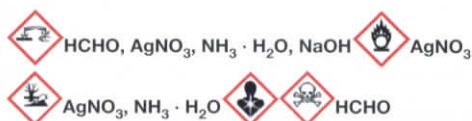
Właściwości aldehydów zależą od rodzaju grupy węglowodorowej połączonej z grupą funkcyjną, ale przede wszystkim od obecności grupy karbonylowej, wchodzącej w skład grupy aldehydowej.

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:



Doświadczenie 29.

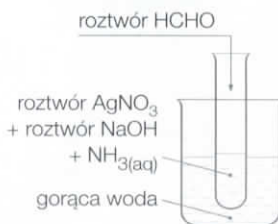


Reakcja metanal z amoniakalnym roztworem tlenku srebra(I)

– próba Tollensa

Do próbki wlej 3 cm³ rozcieńczonego roztworu azotanu(V) srebra(I). Dodaj kilka kropli stężonego roztworu wodorotlenku sodu. Następnie, ciągle mieszając, dodawaj kroplami wodę amoniakalną aż do rozpuszczenia się osadu (nie należy dodawać nadmiaru wody amoniakalnej). Dodaj do próbki kilka kropli roztworu formaliny (roztwór wodny metanal) i umieść ją w zlewce z gorącą wodą (schemat).

Co obserwujesz?



Fot. 67. Formalinę stosuje się do konserwacji preparatów zwierzęcych.



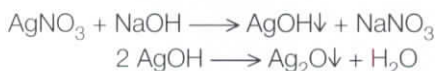
13	14	15	16	17
B	C	N	O	F
2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Al	Si	P	S	Cl
1,5	1,8	2,1	2,5	3,0
Ga	Ge	As	Se	Br
1,6	1,8	2,0	2,4	2,8
In	Sn	Sb	Te	I
1,7	1,8	1,9	2,1	2,5



Fot. 68. Próba Tollensa – powstawanie lustra srebrnego.

Po dodaniu roztworu wodorotlenku sodu do roztworu azotanu(V) srebra(I) strąca się brunatny osad, który zanika w miarę dodawania wody amoniakalnej. Na ściankach probówki osadza się srebrna warstwa (fot. 68.).

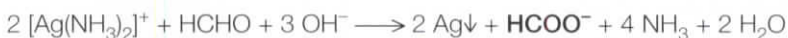
Pod wpływem wodorotlenku sodu NaOH w roztworze AgNO_3 powstaje nierozpuszczalny wodorotlenek srebra(I), który rozkłada się, tworząc tlenek srebra(I):



Osad tlenku srebra(I) rozpuszcza się w wodzie amoniakalnej, tworząc związek kompleksowy – **wodorotlenek diaminasrebra(I)**, który w wodzie występuje w formie zdysocjowanej:



Otrzymany związek kompleksowy reaguje z metanalem:



Ostatnia reakcja chemiczna przebiega w wielu etapach – ich mechanizm nie jest dokładnie znany.

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. Aldehyd mrówkowy 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. 69.).



Fot. 69. Srebrną warstwę na ozdobach choinkowych otrzymuje się dzięki redukującym właściwościom aldehydów.

anion metanianowy
(mrówczanowy)

próba Tollensa

Doświadczenie 30.



HCHO, NaOH

CuSO₄

HCHO

Reakcja metanal z wodorotlenkiem miedzi(II) – próba Trommera

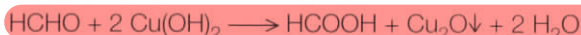
Do próbki zawierającej ok. 3 cm³ rozcieńczonego roztworu siarczanu(VI) miedzi(II) dolewaj wodnego roztworu wodorotlenku sodu, aż do strącenia się osadu. Następnie dodaj ok. 1 cm³ formaliny (roztwór wodny metanal). Ogrzewaj próbkę w zlewce z gorącą wodą (schemat).

Co obserwujesz?



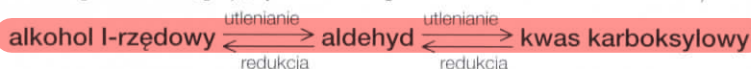
Po dodaniu wodnego roztworu NaOH strąca się niebieski osad, który zmienia barwę pod wpływem roztworu metanal (fot. 70).

W próbce powstał ceglastoczerwony osad tlenku miedzi(I) Cu₂O. Metanal w reakcji chemicznej z wodorotlenkiem miedzi(II) zredukował miedź z II do I stopnia utlenienia. Sam utlenił się do kwasu metanowego zgodnie z równaniem:



Dzięki obecności grupy aldehydowej –CHO aldehydy mają właściwości redukujące (próby Tollensa i Trommera), same przy tym utleniają się do kwasów karboksylowych.

Wiedząc, że aldehydy powstają przez utlenianie alkoholi I-rzędowych, można zapisać następujący schemat procesów utleniania-redukcji:



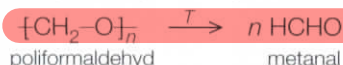
■ Polimeryzacja i polikondensacja aldehydów

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**:



Ogrzany poliformaldehyd ulega **depolimeryzacji**, czyli reakcji odwrotnej do reakcji polimeryzacji. Tę reakcję chemiczną wykorzystuje się do otrzymywania gazowego aldehydu mrówkowego:



Poliformaldehyd to cenny polimer odporny na uszkodzenia mechaniczne i wysoką temperaturę (fot. 71.).



Fot. 70. Próba Trommera – niebieski Cu(OH)₂ zmienia barwę na ceglastoczerwoną.

próba Trommera



Fot. 71. Poliformaldehyd stosuje się do produkcji elementów sprzętu kuchennego, np. robotów kuchennych.

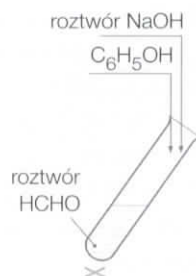
Doświadczenie 31.

HCHO, NaOH, C₆H₅OHHCHO, C₆H₅OH

Reakcja metanolu z fenolem

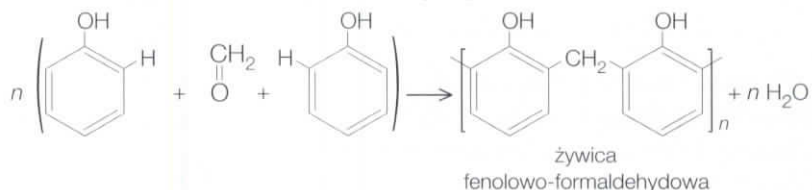
Do dużej probówki zawierającej 3 cm³ roztworu metanolu wsyp ok. 2 g fenolu i dodaj ok. 1 cm³ roztworu wodorotlenku sodu (schemat). Całość ogrzewaj przez kilka minut. Gdy substancja zacznie gęstnieć, przerwij ogrzewanie i wylej zawartość probówki do parownicy.

Co obserwujesz?



W trakcie ogrzewania mieszanina zmienia barwę na jasnopomarańczową (fot. 72.a). Po wylaniu do parownicy, roztwór zgęstniał oraz zestał się.

Produktem reakcji formaldehydu z fenolem jest żółta substancja stała, tzw. żywica fenolowo-formaldehydowa (fot. 72.b). Przebieg reakcji chemicznej przedstawia uproszczony zapis:

**Polikondensacja**

– reakcja chemiczna,

w której wyniku ze

związków chemicznych

o małej masie molowej

powstają związki

o większej masie molowej,

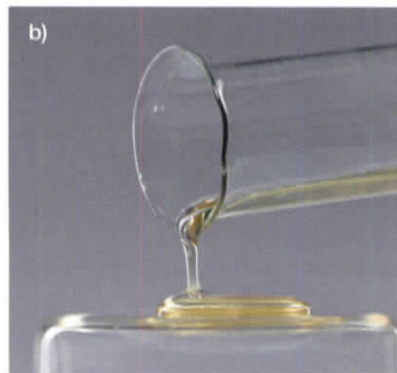
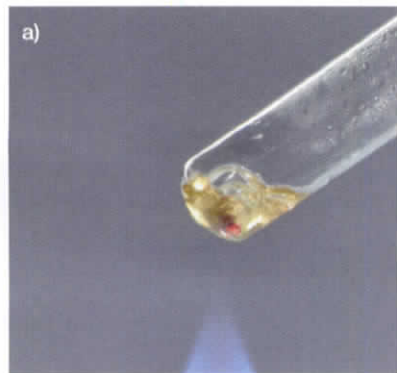
z wydzieleniem

dodatkowych cząsteczek,

np.: H₂O, HCl lub NH₃.

W procesie tym, zwanym **polikondensacją**, powstaje substancja wielkocząsteczkowa, tzw. **polikondensat**, oraz produkt uboczny, np. H₂O, HCl, NH₃. **Reakcja polikondensacji różni się od reakcji polimeryzacji, gdyż w jej wyniku powstaje również produkt uboczny.**

Żywice fenolowo-formaldehydowe są stosowane do wyrobu tworzyw sztucznych, lakierów oraz klejów.



Fot. 72. Reakcja metanolu z fenolem: a) zmiana barwy mieszaniny pod wpływem ogrzewania, b) produkt reakcji chemicznej.

Zastosowania i występowanie aldehydów

Przyjemny zapach powoduje, że aldehydy powszechnie wykorzystuje się w przemyśle perfumeryjnym, kosmetycznym i spożywczym. Najbardziej popularne są metanal, stosowany do produkcji tworzyw sztucznych, leków oraz barwników, i etanal, używany do produkcji m.in. kwasu etanowego.

Przemysł spożywczy

Wanilinę wykorzystuje się w przemyśle spożywczym i cukierniczym jako substancję zapachową. Aromat cukru wanilinowego często pochodzi od otrzymywanej syntetycznie **etylowaniliny** białej drobnokrystalicznej substancji stałej. Z kolei do aromatyzowania słodczy, sosów i napojów stosuje się aldehyd cynamonowy (cynamal, 3-fenylprop-2-enal).

Dezynfekcja

Aldehyd glutarowy (pentano-1,5-dial), ze względu na właściwości grzybobójcze, wirusobójcze i bakteriobójcze, stosuje się do dezynfekcji narzędzi wykorzystywanych w medycynie (m.in. dentystycznych i chirurgicznych) oraz powierzchni szpitalnych. Podobne właściwości i zastosowania ma **aldehyd bursztynowy**.



Przemysł kosmetyczny

W preparatach brązujących stosuje się **aldehyd mukonowy**. Grupa karbonylowa tego aldehydu bierze udział w reakcji chemicznej, dzięki której skóra zyskuje brązowy kolor. **Aldehyd mrówkowy**, o silnych właściwościach bakteriobójczych, wykorzystuje się w kosmetykach jako substancję konserwującą.

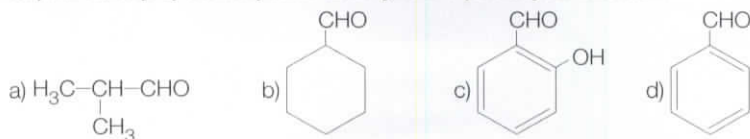
Gdzie występują aldehydy?

Cytrynowy zapach, charakterystyczny dla olejku eterycznego pozyskiwanego z **trawy cytrynowej** oraz z liści **mirtu cytrynowego**, pochodzi od cytralu. Ten aldehyd występuje w postaci mieszaniny izomerów *cis* – neral i *trans* – geranial. Z liści, korzeni i kory **cynamonowca cejlońskiego** oraz **cynamonowca wonnego** pozyskuje się olejek, któremu cynamonowy zapach i korzenny smak nadaje aldehyd cynamonowy. Najwięcej tego aldehydu (75–90%) występuje w olejku z kory.



Rozwiąż zadania

1. Napisz nazwy systematyczne aldehydów o podanych wzorach.

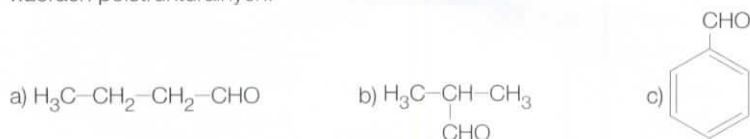


2. Ustal wzór sumaryczny aldehydu, wiedząc, że jego masa cząsteczkowa wynosi 156 u.

3. Napisz równania reakcji chemicznych (1–4) przedstawionych na schemacie. Zastosuj wzory półstrukturalne.

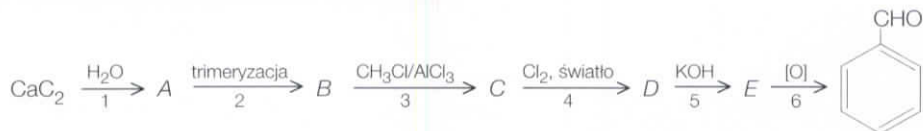


4. Napisz wzory strukturalne alkoholi, które należy utlenić, aby otrzymać związki chemiczne o podanych wzorach półstrukturalnych.



5. Napisz równanie reakcji otrzymywania etanolu z odpowiedniego alkoholu z użyciem dichromianu(VI) potasu i kwasu siarkowego(VI), wiedząc, że wśród produktów reakcji chemicznej jest m.in. siarczan(VI) chromu(III). Dobierz współczynniki stechiometryczne metodą bilansu elektronowego.

6. Napisz równania reakcji chemicznych oznaczonych cyframi 1–6. Podaj nazwy systematyczne związków chemicznych oznaczonych literami A–E.



7. Oblicz, ile decymetrów sześciennych etenu (w warunkach normalnych) należy poddać katalitycznemu utlenieniu, aby otrzymać 176 g etanolu.

8. 7,2 g pewnego aldehydu przereagowało z odczynnikiem Tollensa. W wyniku reakcji chemicznej wydzielilo się 21,6 g srebra. Oblicz masę cząsteczkową aldehydu, który poddano próbie Tollensa.

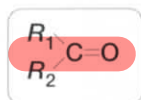
9. Oblicz stężenie molowe 14-procentowego wodnego roztworu metanolu o gęstości $d = 1,04 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

10. Oblicz objętość gazowego metanolu (warunki normalne), który należy rozpuścić w wodzie, aby otrzymać 2 dm³ formaliny, wiedząc, że formalina jest 36-procentowym roztworem metanolu o gęstości $d = 1,1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

3.6. Karbonylowe związki organiczne – ketony

Ketony (alkanony) to pochodne węglowodorów, których cząsteczki zawierają grupy węglowodorowe oraz grupę funkcyjną $\text{C}=\text{O}$, czyli **grupę karbonylową**.

Wzór ogólny ketonów:

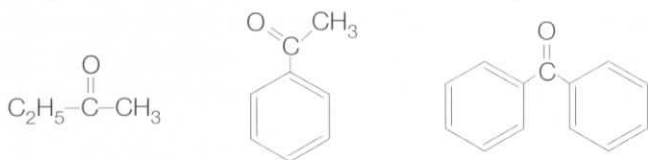


gdzie:

$-R_1, -R_2$ – grupy węglowodorowe (alifatyczne lub aromatyczne),

$\text{C}=\text{O}$ – grupa karbonylowa.

Grupa karbonylowa jest związana z dwiema dowolnymi grupami węglowodorowymi: dwiema alifatycznymi albo dwiema aromatycznymi lub jedną alifatyczną i jedną aromatyczną, np.:



Ketony

– grupa związków

organicznych,

zawierających

w cząsteczce

grupę karbonylową $\text{C}=\text{O}$

połączoną z dwoma

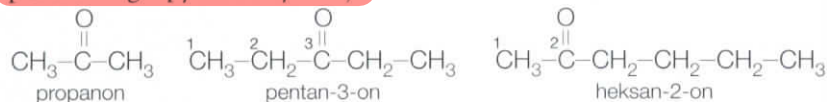
atomami węgla.



grupa karbonylowa

Nazewnictwo ketonów

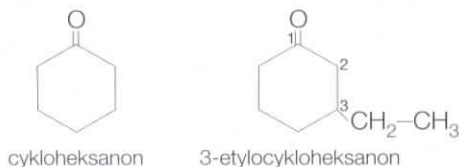
Nazwy systematyczne ketonów tworzy się przez dodanie końcówki **-on** do nazwy odpowiedniego węglowodoru i podanie lokantu określającego położenie grupy karbonylowej:



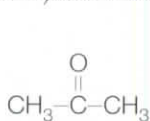
Atomy węgla w łańcuchu węglowym ketonu numeruje się tak, aby lokant grupy karbonylowej był jak najmniejszy:



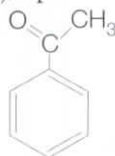
W przypadku związków cyklicznych grupa karbonylowa ma zawsze numer 1:



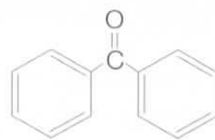
Nazwy ketonów tworzy się przez dodanie do słowa **keton** nazw podstawników połączonych z grupą karbonylową. Nazwy te wymienia się w kolejności alfabetycznej, np.:



keton dimetylowy

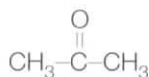


keton fenylowo-metylowy

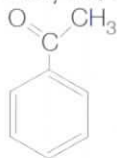


keton difenylowy

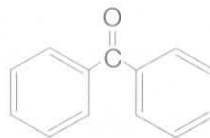
Niektóre ketony noszą nazwy zwyczajowe akceptowane przez IUPAC, które są w powszechnym użyciu, np.:



aceton

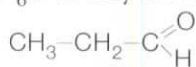
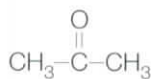


acetofenon

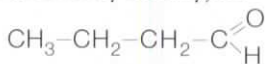
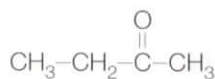


benzofenon

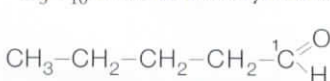
Aldehydy i ketony o budowie łańcuchowej są względem siebie **izomerami konstytucyjnymi**. Rodzaj izomerii konstytucyjnej, w której cząsteczki związków chemicznych o takim samym wzorze sumarycznym mają różne grupy funkcyjne, to izomeria funkcyjna (patrz 2.7, s. 102). Na przykład związek chemiczny o wzorze sumarycznym $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ tworzy dwa izomery:

izomery $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ aldehyd
propanalketon
propanon

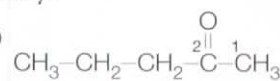
Związek chemiczny o wzorze sumarycznym $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ tworzy również dwa izomery funkcyjne:

izomery $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ aldehyd
butanalketon
butanon

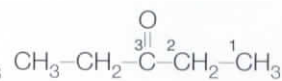
Aldehydy i ketony mogą tworzyć izomery funkcyjne oraz **izomery łańcuchowe**. Na przykład związek chemiczny o wzorze sumarycznym $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$ może tworzyć izomery:

izomery $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$ 

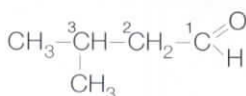
pentanal



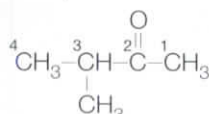
pentan-2-on



pentan-3-on



3-metylobutanal

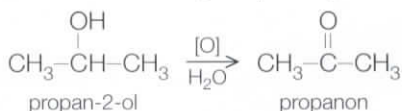


3-metylobutanon

Otrzymywanie ketonów

Ketony otrzymuje się:

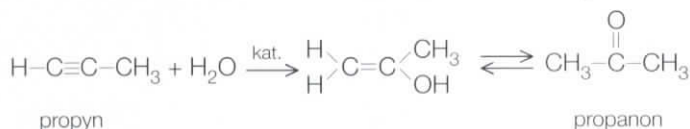
- w reakcji utleniania alkoholi II-rzędowych, np.



Czynnikami utleniającymi może być np. tlenek miedzi(II) CuO lub dichromian(VI) potasu K₂Cr₂O₇ w środowisku kwasu siarkowego(VI) H₂SO₄:



- przez uwodnienie alkinów w obecności katalizatora, np.



otrzymywanie
CH₃COCH₃
w reakcji utleniania
alkoholu II-rzędowego

otrzymywanie
CH₃COCH₃ w reakcji
uwodnienia C₃H₄

Właściwości ketonów

Doświadczenie 32. propanon

Badanie właściwości propanonu (acetonu)

Określ stan skupienia, barwę, zapach, palność oraz rozpuszczalność w wodzie i benzynie, a także odczyn wodnego roztworu acetonu.

Co obserwujesz?

Aceton w temperaturze pokojowej jest bezbarwną, łatwo palną cieczą o charakterystycznym zapachu. Bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie i benzynie.

Aceton jest dobrym rozpuszczalnikiem innych substancji organicznych. Jego wodny roztwór ma odczyn obojętny.

Wraz ze zwiększaniem się liczby atomów węgla w cząsteczkach ketonów zwiększa się:

- gęstość,
- temperatura topnienia,
- temperatura wrzenia.

model czasowy
cząsteczki propanonu



Modele:

-  atomu tlenu
-  atomu wodoru
-  atomu węgla

To jest interesujące

Ciekawe informacje na temat ketonów można znaleźć pod adresami:

<http://www.mlyniec.gda.pl/~chemia/organiczna/ketony.htm>

<http://www.chemia.dami.pl/liceum/liceum14/organiczna9.htm>

Doświadczenie 33.

 AgNO_3 , $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, CuSO_4  AgNO_3  AgNO_3 , $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, NaOH  CuSO_4 , propanon

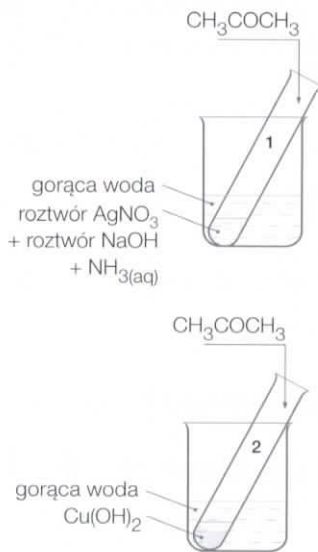
propanon

Badanie właściwości redukujących propanonu – próby Tollensa i Trommera

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 wodę amoniakalną, aż do rozpuszczenia się wytrąconego osadu. Do otrzymanego roztworu dodaj kilka kropli wodnego roztworu acetonu 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 wytrącenia się osadu. Następnie dodaj ok. 1 cm^3 acetonu. Ogrzewaj probówkę w zlewce z gorącą wodą (schemat).

Co obserwujesz?

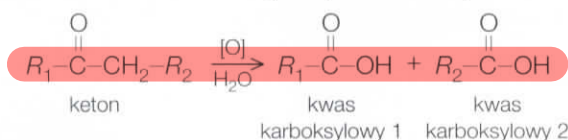


W probówkach nie widać zmian.

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. Dlatego ich utlenianie nie narusza 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 rozrywanie łańcucha węglowego, a to wymaga dużej ilości energii.

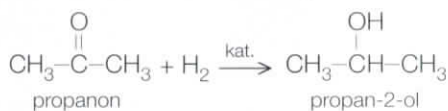
Ketony można utlenić, stosując silne utleniacze, np. dichromian(VI) potasu $K_2Cr_2O_7$ w środowisku kwasu siarkowego(VI) H_2SO_4 . Powstaje wówczas mieszanina kwasów karboksylowych o krótszych łańcuchach:



schemat reakcji utleniania ketonów w obecności silnych utleniaczy

Próby Tollensa i Trommera wykorzystuje się do odróżniania aldehydów od ketonów.

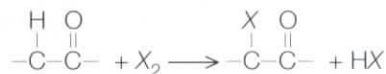
Dzięki obecności podwójnego wiązania w grupie karbonylowej ketony, tak jak aldehydy, ulegają reakcji addycji. Uwodornienie ketonu prowadzi do otrzymania alkoholu II-rzędowego:



reakcja uwodornienia CH_3COCH_3

alkohol II-rzędowy $\xrightleftharpoons[\text{redukcja}]{\text{utlenianie}}$ keton $\xrightarrow{\text{utlenianie}}$ dwa kwasy karboksylowe

Grupa karbonylowa $-\text{CO}-$ zwiększa aktywność chemiczną atomów wodoru znajdujących się przy sąsiednich atomach węgla. Ketony dość łatwo ulegają reakcji substytucji atomów wodoru przez atomy fluorowców:

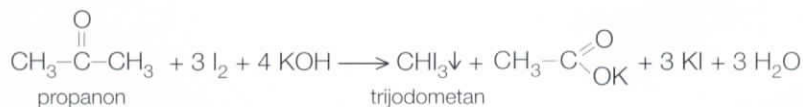


gdzie:

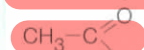
X – fluorowiec.

schemat reakcji substytucji fluorowców do ketonów

Grupa karbonylowa wywiera również wpływ na właściwości związków z nią grup węglowodorowych. Przedstawia to **próba jodoformowa** – reakcja jodu z **metryloketonami**, czyli ketonami zawierającymi grupę karbonylową połączoną z grupą metylową $-\text{CH}_3$. Do metyloketonów należy m.in. aceton. Próbę jodoformową prowadzi się w środowisku zasadowym:



Próba jodoformowa umożliwia wykrycie grupy



w cząsteczce związku chemicznego.

Próba jodoformowa służy do identyfikacji metyloketonów. O obecności takich ketonów świadczy powstający żółty osad (fot. 73.) 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**.



Fot. 73. Osad jodoformu CHI_3 .

W odróżnieniu od aldehydów ketony nie ulegają reakcji polimeryzacji ani polikondensacji.

Aldehydy i ketony zawierają grupę karbonylową, ale są dwiema odrębnymi grupami związków chemicznych (tabela 18.).

Tabela 18. Porównanie budowy oraz właściwości aldehydów i ketonów

Nazwa grupy związków organicznych	Aldehydy	Ketony
Wzór i nazwa grupy funkcyjnej	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{H} \end{array}$ aldehydowa	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}- \end{array}$ karbonylowa (ketonowa)
Wzór ogólny grupy	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R}_1 \\ \diagup \\ \text{C}=\text{O} \\ \diagdown \\ \text{R}_2 \end{array}$
Wzory półstrukturalne i nazwy systematyczne przykładowych związków karbonylowych	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \text{metanal} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{H} \\ \text{etanal} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \text{propanon} \end{array}$
Produkty reakcji utleniania: a) próba Tollensa b) próba Trommera c) silny utleniacz	a), b) i c) powstają kwasy karboksylowe	a), b) nie wykazują właściwości redukujących c) powstaje mieszanina kwasów karboksylowych o krótszych łańcuchach węglowych
Produkty reakcji redukcji	powstają alkohole I-rzędowe	powstają alkohole II-rzędowe
Reakcja polimeryzacji	ulegają niższe aldehydy	nie ulegają
Reakcja polikondensacji	powstają żywice	nie ulegają
Otrzymywanie	• utlenianie alkoholi I-rzędowych • redukcja kwasów karboksylowych • specyficzne metody, np. przez utlenianie etenu w obecności katalizatora otrzymuje się etanal	• utlenianie alkoholi II-rzędowych • addycja wody do alkinów w obecności katalizatora



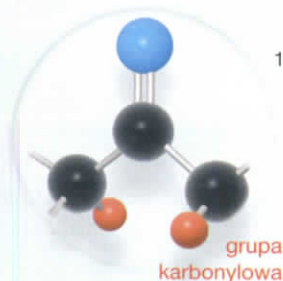
To jest interesujące

Aceton jest zaliczany do tzw. ciał ketonowych. W niewielkich ilościach są one wytwarzane w organizmie w wyniku przemian sacharydów i tłuszczów. W następstwie zaburzeń metabolizmu tych związków chemicznych, towarzyszących np. cukrzycy, głodówkom, przewlekłym wymiotom i biegunkom czy wysokotłuszczowej a ubogiej w sacharydy diecie, zwiększa się stężenie ciał ketonowych we krwi. Mogą one pojawić się również w moczu, a do ich wykrywania wykorzystuje się papierki testowe (fot. 74.).

Fot. 74. Test z użyciem papierków opiera się na barwnej reakcji chemicznej ciał ketonowych.

Zastosowania i występowanie ketonów

Ketony występują najczęściej w substancjach zapachowych, będących składnikami olejków eterycznych roślin. Grupy karbonylowe zawierają też niektóre hormony, m.in. testosteron, progesteron i estron. Aceton to keton o największej liczbie zastosowań.

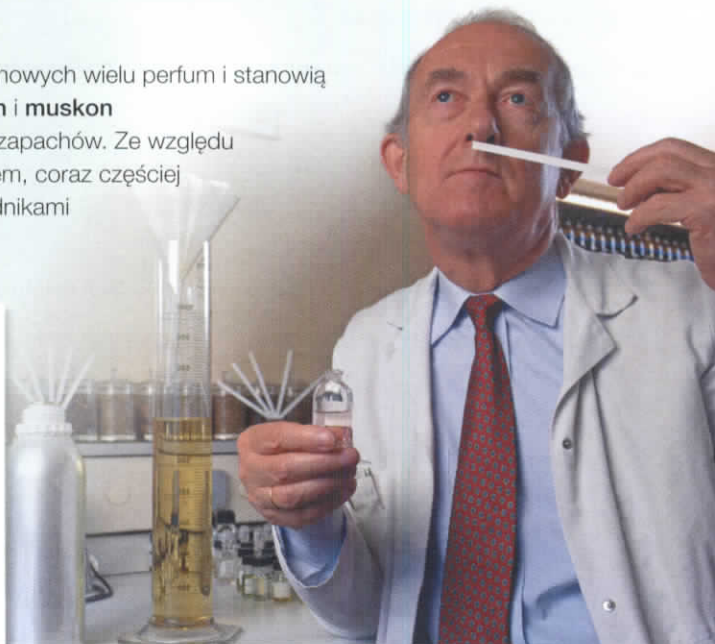


Przemysł perfumeryjny

Ketony są składnikami kompozycji zapachowych wielu perfum i stanowią nutę, która uwalnia się najdłużej. **Cybeton** i **muskon** są stosowane jako składniki i utrwalače zapachów. Ze względu na trudności związane z ich pozyskiwaniem, coraz częściej są zastępowane syntetycznymi odpowiednikami – np. ketonem o nazwie **egzaltan**.

Przemysł kosmetyczny

Lakiery do paznokci z dodatkiem **acetonu** szybciej wysychają, a w zmywaczach do paznokci wykorzystuje się jego właściwości jako rozpuszczalnika. **Kamfora** jest składnikiem preparatów do golenia i depilacji, gdyż łagodzi podrażnienia i zaczerwienienia.



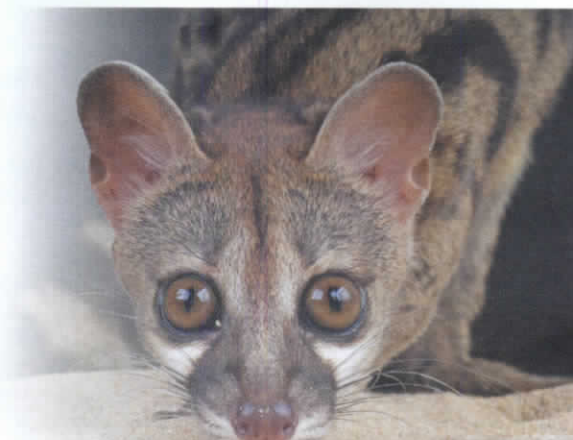
Medycyna

Kamfora, ze względu na działanie rozgrzewające i przeciwbólowe, jest składnikiem preparatów na bóle mięśni i stawów. Natomiast w substancjach przeznaczonych do leczenia opryszczki wykorzystuje się jej właściwości antybakteryjne i antywirusowe. Intensywny zapach kamfory doskonale sprawdza się w leczeniu przeziębień.



Gdzie występują ketony?

Cybeton to cykliczny nienasycony keton, który jest głównym składnikiem wydzieliny z gruczołów **cywety** – drapieżnego ssaka z rodziny łasowatych. Składnikami piżma – wydzieliny gruczołów zapachowych samców **piżmowców**, są cykliczne ketony: muskon i egzaltan. Kamforę – keton o silnym, charakterystycznym zapachu – otrzymuje się z liści i wiórów drewna **cynamonowca kamforowego**.

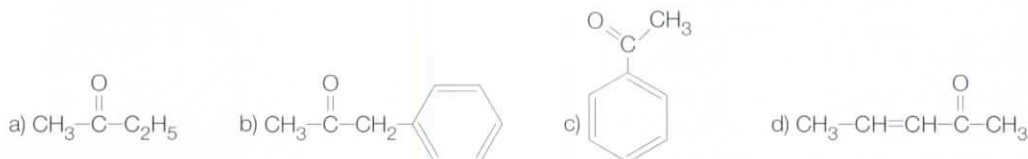


Rozwiąż zadania

1. Napisz wzory półstrukturalne ketonów o podanych nazwach systematycznych.

- pentan-2-on
- cyklopentanon
- heks-3-en-2-on
- keton fenyloowo-propylowy

2. Podaj nazwy systematyczne ketonów o podanych wzorach półstrukturalnych.



3. Napisz wzór półstrukturalny i nazwę systematyczną aldehydu, który jest izomerem but-3-en-2-onu.

4. Napisz równania reakcji chemicznych (1–4) przedstawionych na schemacie. Zastosuj wzory półstrukturalne.



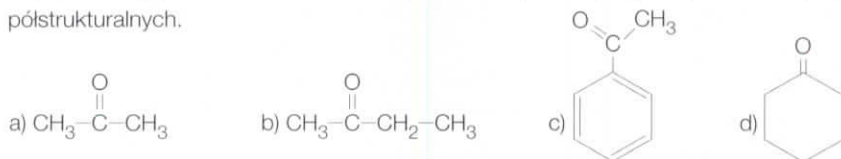
5. Napisz wzory strukturalne i nazwy systematyczne wszystkich izomerycznych aldehydów i ketonów o wzorze sumarycznym:

- $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$
- $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$

6. Ułóż równanie reakcji utleniania butan-2-olu. Napisz nazwę systematyczną otrzymanego związku chemicznego.

7. Napisz równanie reakcji uwodornienia butanonu. Napisz nazwę systematyczną otrzymanego związku chemicznego.

8. Napisz wzory półstrukturalne alkoholi, które należy utlenić, aby otrzymać ketony o podanych wzorach półstrukturalnych.



9. Napisz równanie reakcji otrzymywania propanonu 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.

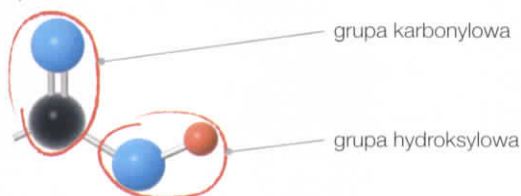
10. Oblicz masę cząsteczkową i napisz wzór sumaryczny ketonu, wiedząc, że 10,75 g tego ketonu znajduje się w $0,5 \text{ dm}^3$ jego roztworu o stężeniu $0,25 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$.

3.7. Kwasy karboksylowe

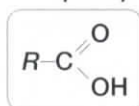
Kwasy karboksylowe to związki organiczne, których cząsteczki składają się z **grupy węglowodorowej** oraz **grupy karboksylowej** $-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$. Często są nazywane kwasami organicznymi.

Grupa karboksylowa składa się z dwóch grup:

- karbonylowej $-\text{C}(=\text{O})-$
- hydroksylowej $-\text{OH}$.



Wzór ogólny kwasów karboksylowych:

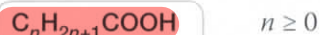


gdzie:

$-\text{R}$ – atom wodoru, grupa alkilowa lub grupa arylowa,

$-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$ – grupa karboksylowa.

Monokarboksylowe nasycone kwasy alifatyczne, tzw. kwasy alkanowe, tworzą szereg homologiczny o wzorze ogólnym:

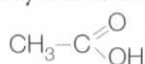


gdzie:

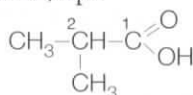
n – kolejna liczba naturalna określająca liczbę atomów węgla w alkilu.

Najprostszym kwasem karboksylowym w tym szeregu homologicznym jest **kwas metanowy** (mrówkowy), będący pochodną metanu, dla którego $n = 0$.

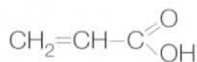
Kwasy karboksylowe, które zawierają jedną grupę karboksylową, to **kwasy monokarboksylowe**, np.:



kwas etanowy



kwas 2-metylopropanowy



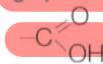
kwas propenowy

Kwasy karboksylowe o większej liczbie grup karboksylowych to **kwasy polikarboksylowe**.

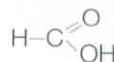
Kwasy karboksylowe

– związki chemiczne zawierające grupę karboksylową.

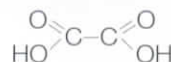
grupa karboksylowa



kwas metanowy



kwas etanodiowy



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.

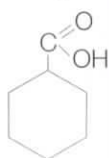


butan



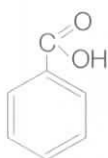
kwas butanowy

Nazwy systematyczne aromatycznych kwasów karboksylowych tworzy się przez dodanie do słowa **kwas** nazwy węglowodoru i przyrostka – **karboksylowy**, np.:



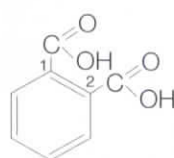
kwas

cykloheksanokarboksylowy



kwas

benzenokarboksylowy



kwas

benzeno-1,2-dikarboksylowy

W przypadku kwasów karboksylowych bardzo często stosuje się nazwy zwyczajowe. Są one powszechnie uznawane i używane w literaturze chemicznej (tabela 19.), np. dla kwasu benzenokarboksylowego stosuje się nazwę zwyczajową **kwas benzoesowy**.

Tabela 19. Porównanie wzorów i nazw wybranych kwasów karboksylowych oraz odpowiadających im alkanów

Alkany		Kwasy karboksylowe		
wzór sumaryczny	nazwa systematyczna	wzór sumaryczny	nazwa	
			systematyczna	zwyczajowa
CH_4	metan	HCOOH	metanowy	mrówkowy
C_2H_6	etan	CH_3COOH	etanowy	octowy
C_3H_8	propan	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$	propanowy	propionowy
C_4H_{10}	butan	$\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$	butanowy	masłowy
C_5H_{12}	pentan	$\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}$	pentanowy	walerianowy

To jest interesujące

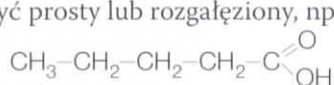
Kwas sorbowy $\text{CH}_3\text{—CH=CH—CH=CHCOOH}$ (fot. 75.) to nienasycony kwas karboksylowy stosowany jako konserwant w przemyśle spożywczym. Zarówno kwas sorbowy, jak i jego sole hamują rozwój pleśni oraz drożdży w zakresie pH 3–6, ale mają niewielką skuteczność w stosunku do bakterii, szczególnie bakterii kwasu mlekowego. Dlatego kwas sorbowy może być stosowany do produkcji serów.

Fot. 75. Kwas sorbowy po raz pierwszy wyodrębniono w wyniku ekstrakcji z owoców jarzębiny.

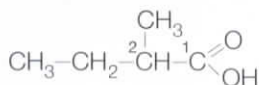


Izomeria kwasów karboksylowych

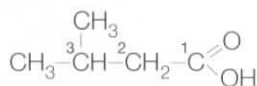
W kwasach karboksylowych występuje **izomeria łańcuchowa**. Oznacza to, że łańcuch węglowodorowy w cząsteczkach tych kwasów może być prosty lub rozgałęziony, np.:



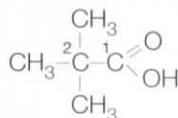
kwas pentanowy



kwas 2-metylobutanowy



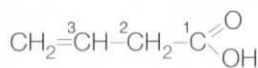
kwas 3-metylobutanowy



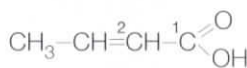
kwas 2,2-dimetylopropanowy

izomery $\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}$

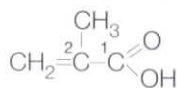
W nienasyconych kwasach karboksylowych występuje **izomeria położeniowa wiązania**, np.:



kwas but-3-enowy



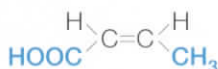
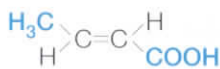
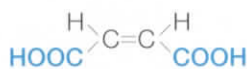
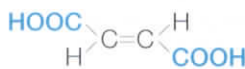
kwas but-2-enowy



kwas metylopropenowy

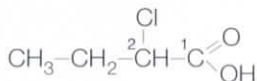
izomery $\text{C}_3\text{H}_5\text{COOH}$

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***, a jeśli po jej przeciwnych stronach – są **izomerami *trans***, np.:

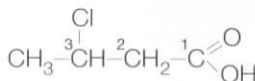
kwas *cis*-but-2-enowykwas *trans*-but-2-enowykwas *cis*-butenodiowykwas *trans*-butenodiowyizomery *cis-trans*
 $\text{C}_3\text{H}_5\text{COOH}$ izomery *cis-trans*
 $\text{C}_2\text{H}_2(\text{COOH})_2$

Różne ułożenie przestrzenne atomów w cząsteczkach izomerów *cis-trans* ma szczególne znaczenie w przypadku wyższych nienasyconych kwasów karboksylowych i wpływa na ich właściwości.

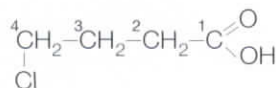
W kwasach karboksylowych, których cząsteczki zawierają atomy fluorowców, występuje **izomeria podstawienia**, np.:



kwas 2-chlorobutanowy



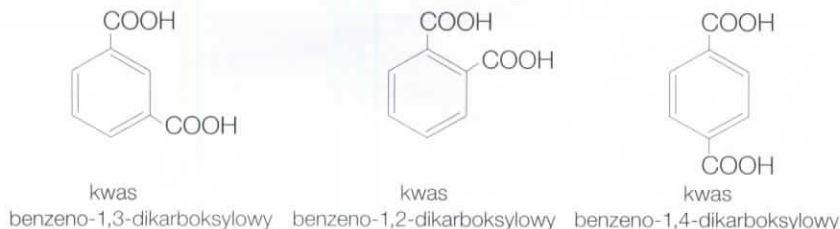
kwas 3-chlorobutanowy



kwas 4-chlorobutanowy

izomery $\text{C}_3\text{H}_6\text{ClCOOH}$

W aromatycznych kwasach dikarboksylowych występuje **izomeria położeniowa grupy funkcyjnej** –COOH, np.



■ Otrzymywanie kwasów karboksylowych

Kwasy karboksylowe otrzymuje się w reakcjach:

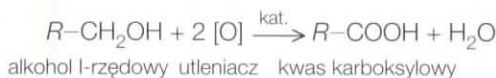
- utleniania odpowiednich węglowodorów, np.

reakcja utleniania
węglowodorów



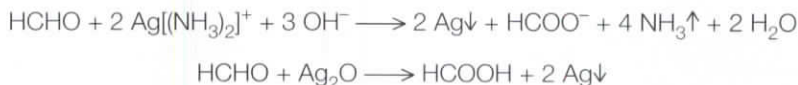
- utleniania alkoholi I-rzędowych, z zastosowaniem mocnego utleniacza, m.in. dichromian(VI) potasu $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ lub manganian(VII) potasu KMnO_4 , np.

schemat reakcji
utleniania alkoholi
I-rzędowych



- utleniania aldehydów w próbach Tollensa lub Trommera, np.

otrzymywanie HCOOH
w próbie Tollensa



otrzymywanie HCOOH
w próbie Trommera



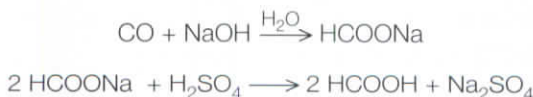
- tlenku węgla(II) i węglowodorów nienasyconych, np.

otrzymywanie
 $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ z C_3H_6



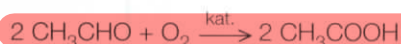
Kwas metanowy otrzymuje się przez działanie H_2SO_4 na metanian sodu HCOONa , który powstaje w reakcji CO z roztworem NaOH :

otrzymywanie HCOOH
z HCOONa



Kwas etanowy otrzymuje się przez utlenianie etanal:

otrzymywanie
 CH_3COOH z CH_3CHO



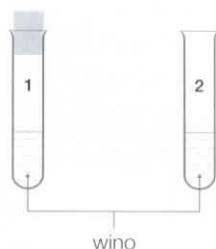
Często stosowaną metodą otrzymywania kwasu etanowego jest też **fermentacja octowa**.

Doświadczenie 34.

Fermentacja octowa

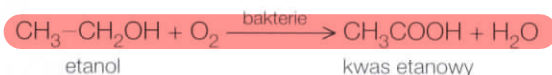
Do dwóch probówek nalej po ok. 3 cm³ wina o stężeniu 7–8%. Jedną probówkę zamknij korkiem, drugą pozostaw otwartą (schemat). Po upływie 7 dni zbadaj zapach cieczy znajdujących się w obu probówkach.

Co obserwujesz?



W probówce 1., w której wino nie miało kontaktu z powietrzem, nie obserwuje się zmian. Natomiast w probówce 2. wyczuwa się charakterystyczny zapach.

W probówce 2. zaszła **fermentacja octowa** (fot. 76.), w której wyniku powstał kwas etanowy (kwas octowy). Fermentacja octowa jest to utlenianie etanolu do kwasu etanowego pod wpływem enzymów wytwarzanych przez bakterie octowe. Sumaryczny zapis procesu fermentacji octowej przedstawia równanie:



Fot. 76. Fermentację octową wykorzystuje się do produkcji octu winnego – popularnej przyprawy.

sumaryczny zapis
procesu fermentacji
octowej

Właściwości kwasów karboksylowych

Doświadczenie 35. HCOOH, CH₃COOH CH₃COOH

Badanie właściwości kwasów metanowego i etanowego

! Kwas metanowy jest toksyczny. Powoduje oparzenia, a jego pary drażnią błony śluzowe.

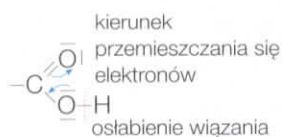
a) Do dwóch probówek nalej odpowiednio po ok. 2 cm³ wodnego roztworu kwasu metanowego i ok. 2 cm³ wodnego roztworu kwasu etanowego. Określ stan skupienia, barwę, zapach i rozpuszczalność w wodzie obu kwasów karboksylowych. b) Zbadaj odczyn kwasów za pomocą uniwersalnego papierka wskaźnikowego (schemat). c) Łyżeczkę do spalań z kwasem metanowym i drugą – z kwasem etanowym umieść na chwilę w płomieniu palnika (schemat). Zgaś palnik.

Co obserwujesz?





Fot. 77. Spalanie kwasu etanowego.



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. 77.).

! Pary kwasów metanowego i etanowego drażnią błony śluzowe, a ich stężone roztwory powodują silne oparzenia skóry.

Wraz z wydłużaniem się łańcucha węglowego zmienia się też ich stan skupienia – z ciekłego na stały (dla wyższych kwasów karboksylowych), a zmniejsza lotność i rozpuszczalność w wodzie.

Rozpuszczalne kwasy karboksylowe ulegają w wodzie dysocjacji z odszczepieniem kationów H^+ z grupy karboksylowej. Odszczepienie wodoru jest konsekwencją polaryzacji wiązania podwójnego $\text{C}=\text{O}$ w grupie karbonylowej i wynikającego z tego przesunięcia elektronów wiązania $-\text{O}-\text{H}$ w kierunku atomu tlenu. Wiązanie w grupie $-\text{O}-\text{H}$ słabnie, umożliwiając odszczepienie kationu H^+ .

W wodnych roztworach kwasów metanowego i etanowego zachodzi reakcja dysocjacji jonowej:



Kwasy karboksylowe są palne. Reakcje spalania całkowitego kwasów metanowego i etanowego przedstawiają równania:

spalanie całkowite HCOOH



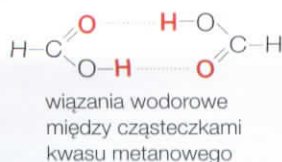
spalanie całkowite
 CH_3COOH



W temperaturze $16,6^\circ\text{C}$ 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.

Asocjacja cząsteczek kwasów karboksylowych jest przyczyną stosunkowo wysokich temperatur wrzenia 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 grupy karboksylowej $-\text{COOH}$ na właściwości kwasu, a zwiększa wpływ grupy węglowodorowej.

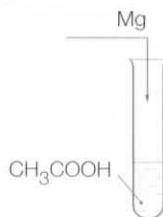


Doświadczenie 36. CH_3COOH , Mg CH_3COOH

Reakcja kwasu etanowego z magnezem

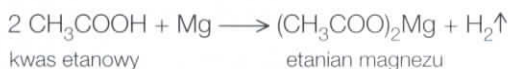
Do probówki, w której znajdują się 3 cm^3 roztworu kwasu etanowego, wrzuć wióry magnezu (schemat). Do wylotu probówki zbliż zapalone łuczywo.

Co obserwujesz?



Z probówki wydzielają się pęcherzyki gazu (fot. 78.). Probówka staje się gorąca. Otrzymany gaz zapala się z charakterystycznym dźwiękiem.

Otrzymanym w doświadczeniu chemicznym gazem jest wodór. Zachodzi gwałtowna reakcja egzotermiczna zgodnie z równaniem:



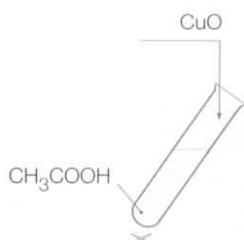
Fot. 78. Reakcja kwasu etanowego z magnezem.

Doświadczenie 37. CH_3COOH CuO CuO

Reakcja kwasu etanowego z tlenkiem miedzi(II)

Do probówki, w której znajdują się 3 cm^3 roztworu kwasu etanowego, wsyp szczyptę tlenku miedzi(II). Probówkę ogrzewaj (schemat).

Co obserwujesz?



W trakcie ogrzewania roztwór w probówce barwi się na niebiesko (fot. 79.).

Zmiana barwy roztworu świadczy o pojawieniu się w nim jonów Cu^{2+} . W wyniku reakcji chemicznej powstaje sól – etanian miedzi(II):

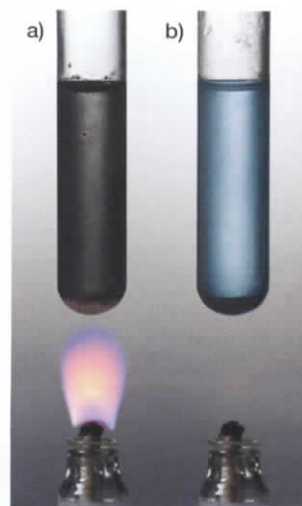
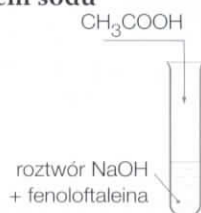


Doświadczenie 38. CH_3COOH , NaOH CH_3COOH

Reakcja kwasu etanowego z wodorotlenkiem sodu

Do probówki z 2 cm^3 roztworu wodorotlenku sodu dodaj kroplę roztworu fenoloftaleiny. Następnie wkręplaj kwas etanowy (schemat), aż do odbarwienia roztworu.

Co obserwujesz?



Fot. 79. Pod wpływem ogrzewania roztwór kwasu etanowego z tlenkiem miedzi(II) (a) zmienił barwę na niebieską (b).



Fot. 80. Reakcja kwasu etanowego z wodorotlenkiem sodu: a) fenoloftaleina w roztworze zasady sodowej ma barwę malinową, b) pod wpływem kwasu etanowego roztwór odbarwia się.

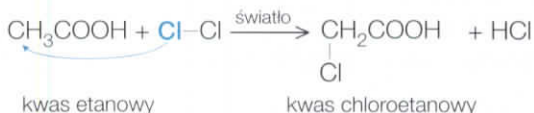
Po dodaniu fenoloftaleiny roztwór w probówce zabarwił się na malinowo, a po dodaniu roztworu kwasu etanowego – odbarwił się (fot. 80.).

Odbarwienie roztworu świadczy o reakcji zobojętniania przebiegającej zgodnie z równaniem:



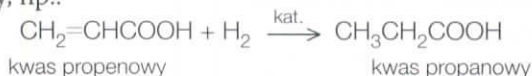
Produktem reakcji zobojętniania jest dobrze rozpuszczalna sól – **etanian sodu** (octan sodu).

Nasycone kwasy karboksylowe ulegają fluorowcowaniu. Substytucji ulega atom wodoru z grupy alkilowej, np.



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.:



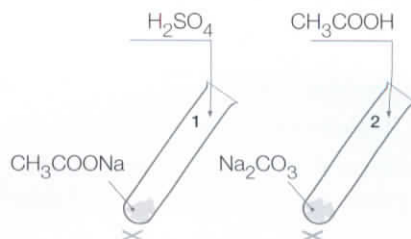
Kwasy karboksylowe, podobnie jak kwasy nieorganiczne, reagują z metalami, tlenkami metali i wodorotlenkami. Produktami tych reakcji chemicznych są sole. Kwasy karboksylowe należą do **kwasów słabych**, np. stała dysocjacji kwasu etanowego wynosi $K_d = 1,75 \cdot 10^{-5}$. Najmocniejszym z nich, choć również zaliczanym do kwasów słabych, jest kwas metanowy o stałej dysocjacji $K_d = 1,84 \cdot 10^{-4}$.

Doświadczenie 39. CH_3COOH , H_2SO_4 CH_3COOH

Porównanie mocy kwasów: etanowego, węglowego i siarkowego(VI)

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).

Co obserwujesz?



W probówce 1. powstaje substancja o charakterystycznym zapachu octu. Zawartość probówki 2. intensywnie się pieni.

Kwas siarkowy(VI) reaguje z etanianem sodu. Produktem tej reakcji chemicznej jest kwas etanowy:



W probówce 2. powstaje tlenek węgla(IV) zgodnie z równaniem reakcji chemicznej:



Kwas etanowy jest słabszy od kwasu siarkowego(VI), ale mocniejszy od kwasu węglowego, ponieważ wypiera go z węglanu sodu.

Kwasy karboksylowe, podobnie jak kwasy nieorganiczne, ulegają reakcji dysocjacji elektrolitycznej, reagują z metalami, tlenkami metali i wodorotlenkami oraz z solami pochodzącymi od kwasów słabszych niż kwasy karboksylowe (tabela 20.).

zwiększanie się
mocy kwasu

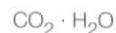
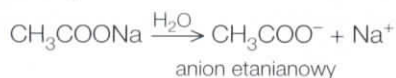


Tabela 20. Porównanie reakcji charakterystycznych kwasów nieorganicznych i kwasów karboksylowych

Rodzaj reakcji chemicznej	Równania reakcji charakterystycznych kwasów	
	nieorganicznych, np. kwas chlorowodorowy HCl	karboksylowych, np. kwas etanowy CH ₃ COOH
Dysocjacja elektrolityczna	$\text{HCl} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$	$\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$
Reakcja z metalami aktywnymi chemicznie	$2 \text{HCl} + \text{Mg} \longrightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\uparrow$ $2 \text{H}^+ + \text{Mg} \longrightarrow \text{Mg}^{2+} + \text{H}_2\uparrow$	$2 \text{CH}_3\text{COOH} + \text{Mg} \longrightarrow (\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Mg} + \text{H}_2\uparrow$ $2 \text{H}^+ + \text{Mg} \longrightarrow \text{Mg}^{2+} + \text{H}_2\uparrow$
Reakcja z tlenkami metali	$2 \text{HCl} + \text{CuO} \longrightarrow \text{CuCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ $2 \text{H}^+ + \text{CuO} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$	$2 \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CuO} \longrightarrow (\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$ $2 \text{H}^+ + \text{CuO} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$
Reakcja z wodorotlenkami metali	$\text{HCl} + \text{KOH} \longrightarrow \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{H}^+ + \text{OH}^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{KOH} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOK} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{H}^+ + \text{OH}^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$
Reakcja z solami słabszych kwasów	$2 \text{HCl} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \longrightarrow 2 \text{NaCl} + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ $2 \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \longrightarrow \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	$2 \text{CH}_3\text{COOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \longrightarrow 2 \text{CH}_3\text{COONa} + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ $2 \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \longrightarrow \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$

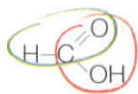
Sole kwasów karboksylowych na ogół dobrze rozpuszczają się w wodzie. Wodny roztwór etanianu sodu ma **odczyn zasadowy**. Między jonami etanianowymi, pochodzącymi z dysocjacji tej soli, i wodą **zachodzi** reakcja hydrolizy anionowej:



CH₃COONa to sól
słabego kwasu
CH₃COOH i **mocnej**
zasady NaOH

odczyn zasadowy

grupa aldehydowa



grupa karboksylowa

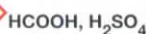
Szczególne właściwości chemiczne wykazuje kwas metanowy.

W jego cząsteczce występują:

- grupa karboksylowa —C(=O)OH
- grupa aldehydowa H—C(=O)—

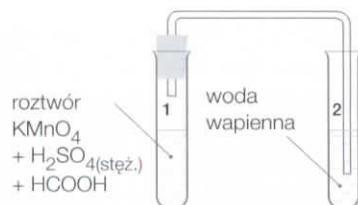
Taka budowa cząsteczki powoduje, że kwas metanowy może pełnić funkcję reduktora w reakcjach chemicznych, tak jak aldehydy. Można to sprawdzić doświadczalnie.

Doświadczenie 40.



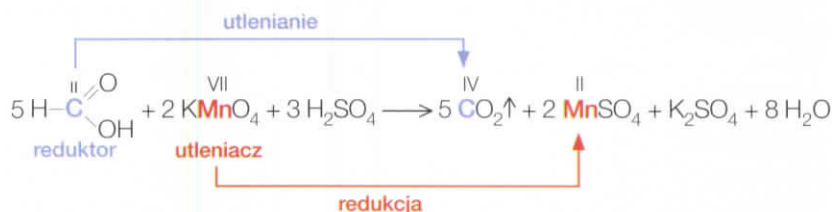
Reakcja kwasu metanowego z roztworem manganianu(VII) potasu i kwasem siarkowym(VI)

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). Co obserwujesz?



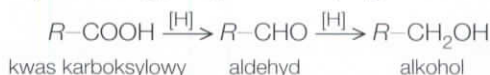
Roztwór w probówce 1. odbarwił się. Woda wapienna w probówce 2. zmętniała pod wpływem wydzielającego się gazu.

Zaszła reakcja utleniania-redukcji zgodnie z równaniem:



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:



Ciekawą reakcją chemiczną, w której cała grupa karboksylowa —COOH zostaje zastąpiona atomem wodoru, przy czym wydzielą się tlenek węgla(IV), jest **reakcja dekarboksylacji**. Ogólny zapis reakcji dekarboksylacji przedstawia równanie:



ogólny zapis reakcji
dekarboksylacji

Zastosowania i występowanie kwasów karboksylowych

Kwasy karboksylowe występują w przyrodzie głównie w postaci pochodnych o łańcuchach nierozgałęzionych. Wolne kwasy karboksylowe są mniej rozpowszechnione.



Przemysł tworzyw sztucznych

Z **kwasu akrylowego** (kwasu prop-2-enowego) otrzymuje się estry (tzw. akrylany) stosowane do produkcji m.in.: soczewek kontaktowych, aparatów słuchowych oraz wypełnień zębowych. **Kwas octowy** (kwasi etanowy) stosuje się jako rozpuszczalnik w rafinacji kwasu benzeno-1,4-dikarboksylowego, używanego do produkcji poli(tereftalanu etyleny) (PET), oraz do otrzymywania poli(octanu winylu).

Przemysł spożywczy

Kwasy benzoesowy (E 210), **mrówkowy** (E 236) i **octowy** (E 260) są wykorzystywane jako substancje konserwujące, np. do produkcji napojów gazowanych, ogórków konserwowych i soków owocowych. Natomiast **kwasy adypinowy** (kwasi heksanodiowy – E 355) i **bursztynowy** (1,4-butanodiowy – E 363) stosuje się jako regulatory kwasowości.

Przemysł kosmetyczny

Właściwości przeciwbakteryjne i przeciwgrzybiczne **kwasu benzoesowego** (C_6H_5COOH) wykorzystuje się w odżywczych kremach do twarzy oraz w maściach. Roztwory **kwasu mrówkowego** służą do dezynfekcji aparatury stosowanej w gabinetach kosmetycznych. **Kwas cyanomonowy** (kwasi 3-fenyloprop-2-enowy) to składnik kremów do opalania.



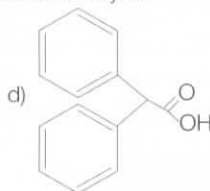
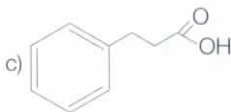
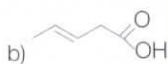
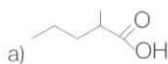
Gdzie występują kwasy karboksylowe?

Kwas szczawiowy (kwasi etanodiowy) znajduje się w liściach szczawiu, porzeczkach i rabarbarze oraz w ziarnach kawy i kakao. Kwasi malonowy (kwasi propanodiowy) występuje w jabłkach. W korzeniu kozłka lekarskiego, rośliny o działaniu leczniczym, znajduje się kwasi walerianowy (kwasi pentanowy). W kwiatach winorośli występuje kwasi enantonowy (kwasi heptanowy). W maśle i oleju kokosowym znajduje się kwasi kapronowy (kwasi heksanowy).



Rozwiąż zadania

1. Podaj nazwy systematyczne kwasów karboksylowych o podanych wzorach kreskowych.



2. Napisz wzory sumaryczne alkoholi, które należy utlenić, aby otrzymać kwasy karboksylowe o podanych nazwach systematycznych.

a) kwas benzenokarboksylowy

c) kwas 2-metylopropanowy

b) kwas 3-fenylpropanowy

d) kwas 2,3-dimetylobutanowy

3. Napisz równania reakcji:

a) otrzymywania metanianu potasu,

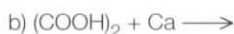
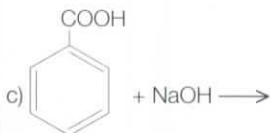
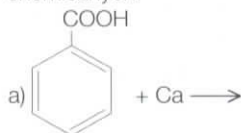
b) otrzymywania etanianu glinu,

c) dysocjacji kwasu propanowego,

d) hydrolizy etanianu potasu,

e) spalania kwasu butanowego, wiedząc, że produktami tego procesu są tlenek węgla(IV) i woda.

4. Dokończ podane równania reakcji chemicznych. Podaj nazwy substratów i produktów tych reakcji chemicznych.

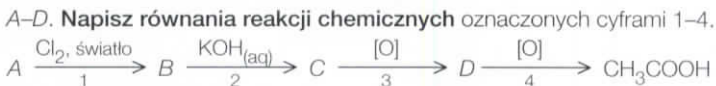


5. Napisz trzy równania reakcji chemicznych, których produktem będzie etanian magnezu.

6. Napisz równania reakcji chemicznych (1–3) przedstawionych na schemacie. Zastosuj wzory półstrukturalne związków chemicznych.

metanol $\xrightarrow{1}$ metanal $\xrightarrow{2}$ kwas metanowy $\xrightarrow{3}$ metanian wapnia

7. Napisz wzory półstrukturalne i nazwy systematyczne substancji chemicznych oznaczonych literami A–D. Napisz równania reakcji chemicznych oznaczonych cyframi 1–4.



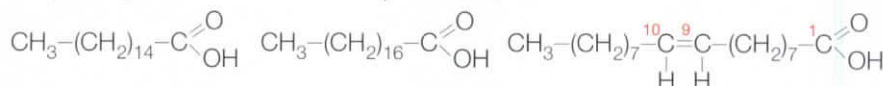
8. Oblicz stężenie molowe roztworu kwasu metanowego, wiedząc, że do zobojętnienia 100 cm^3 roztworu tego kwasu zużyto 50 cm^3 roztworu NaOH o stężeniu $0,1 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$.

9. Oblicz, ile centymetrów sześciennych wody należy dolać do 200 g 10-procentowego roztworu kwasu etanowego (octu), aby powstał roztwór 6-procentowy.

10. Napisz równanie reakcji chemicznej kwasu etanodikarboksylowego (szczawiowego) z manganianem(VII) potasu w środowisku kwasu siarkowego(VI). Dobierz współczynniki stechiometryczne metodą bilansu elektronowego, wiedząc, że produktami tej reakcji chemicznej są: siarczan(VI) manganu(II), siarczan(VI) potasu, tlenek węgla(IV) i woda.

3.8. Wyższe kwasy karboksylowe

Wśród kwasów karboksylowych szczególną grupę stanowią związki chemiczne o długich łańcuchach węglowych. Zawierają one **parzystą liczbę atomów węgla** w cząsteczce. Są **składnikami naturalnych tłuszczów** i dlatego noszą nazwę **kwasów tłuszczowych**. Do najbardziej znanych kwasów tłuszczowych należą:



kwas heksadekanowy

kwas oktadekanowy

kwas oktadek-9-enowy

kwas palmitynowy

 $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$

kwas stearynowy

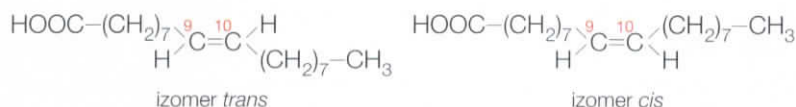
 $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$

kwas oleinowy

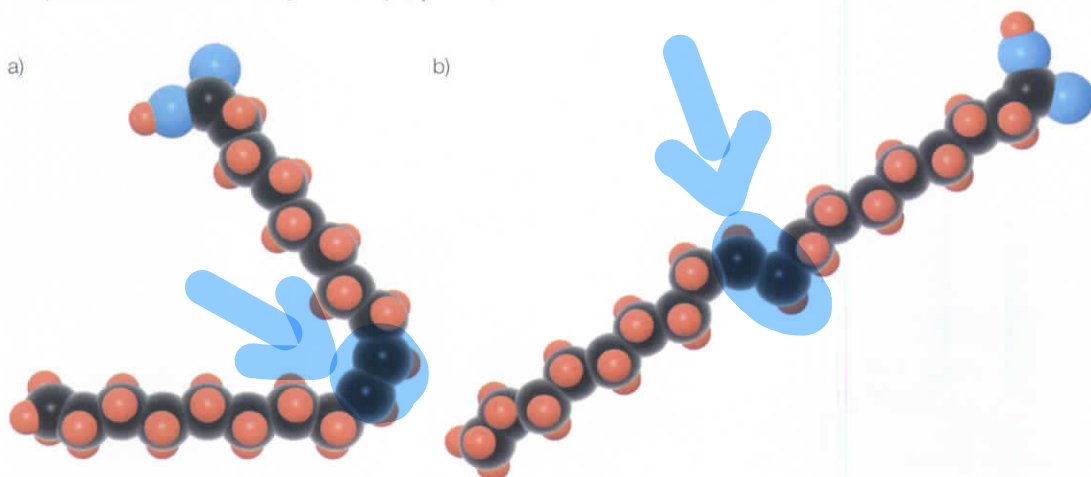
 $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$

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*:



W miejscu wiązania podwójnego cząsteczka kwasu oleinowego w konfiguracji przestrzennej *cis* jest zgięta, a cząsteczka o konfiguracji *trans* ma strukturę liniową (rys. 24.).



Modele: ● atomu tlenu ● atomu wodoru ● atomu węgla

Rys. 24. Modele cząsteczek kwasów: a) *cis*-oleinowego, b) *trans*-oleinowego

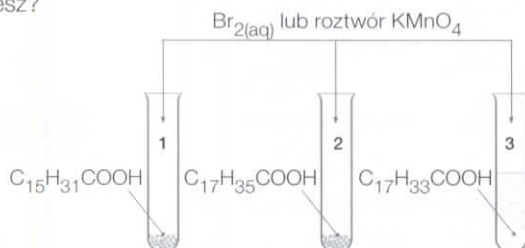
Właściwości wyższych kwasów karboksylowych

Doświadczenie 41. KMnO_4 $\text{KMnO}_4, \text{Br}_2$ Br_2

Badanie właściwości wyższych kwasów karboksylowych

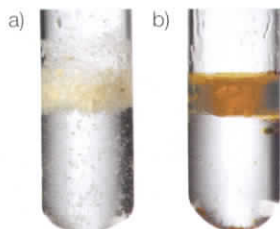
a) Określ stan skupienia, barwę, zapach i rozpuszczalność w wodzie kwasów: stearynowego, palmitynowego i oleinowego. b) Nabierz kolejno małe ilości każdego z tych kwasów na łyżkę do spalań. Łyżkę umieść w płomieniu palnika, a następnie zgaś palnik. c) Do probówek z badanymi kwasami dodaj wodę bromową lub rozcieńczony roztwór manganianu(VII) potasu (schemat) i wstrząsaj.

Co obserwujesz?

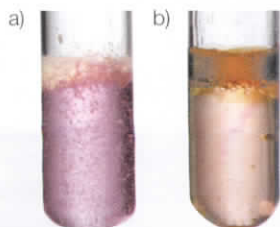


Kwasy stearynowy i palmitynowy to białe substancje stałe. Natomiast kwas oleinowy jest bezbarwną, oleistą cieczą (fot. 81.a). Wszystkie badane wyższe kwasy karboksylowe są nierozpuszczalne w wodzie (fot. 82.). Wszystkie kwasy użyte w tym doświadczeniu chemicznym spalają się żółtym płomieniem. Wodę bromową lub rozcieńczony roztwór manganianu(VII) potasu odbarwił jedynie kwas oleinowy (fot. 83.). Powstała substancja ma stały stan skupienia.

Zmiana stanu skupienia w probówce 3. świadczy o obecności wiązania wielokrotnego (podwójnego) w cząsteczce kwasu oleinowego.



Fot. 82. Wyższe kwasy tłuszczowe nie rozpuszczają się w wodzie:
a) kwas stearynowy,
b) kwas oleinowy.



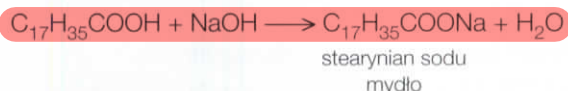
Fot. 83. Reakcja chemiczna wyższych kwasów karboksylowych z roztworem manganianu(VII) potasu:
a) kwas stearynowy,
b) kwas oleinowy.



Fot. 81. Wyższe kwasy karboksylowe: a) kwas oleinowy, b) kwas stearynowy, c) kwas palmitynowy.

Kwas stearynowy reaguje z wodorotlenkiem sodu, o czym świadczy odbarwienie fenoloftaleiny. W tej reakcji chemicznej kwas stearynowy zachowuje się jak inne kwasy, tworząc z zasadami sole. Produktem reakcji chemicznej jest **sól kwasu stearynowego – stearynian sodu (mydło)**:

reakcja otrzymywania
mydła



palmitynian sodu

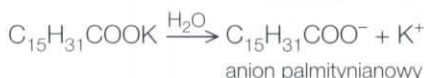
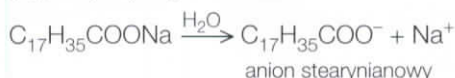


oleinian sodu



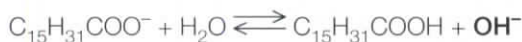
Podobnie reagują kwasy palmitynowy i oleinowy. W wyniku reakcji tych kwasów z zasadą sodową powstają sole – **palmitynian sodu i oleinian sodu**.

Sole sodowe i potasowe wyższych kwasów karboksylowych (mydła sodowe i potasowe) są dobrze rozpuszczalne w wodzie. W wodnym roztworze dysocjują na jony, np.:



Aniony pochodzące od wyższych kwasów karboksylowych w wodnym roztworze ulegają reakcji hydrolizy anionowej:

odczyn zasadowy

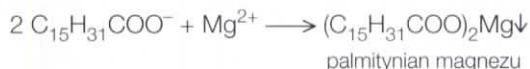
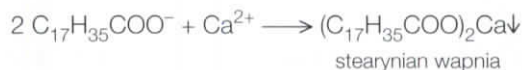


Twarda woda

– woda, która zawiera
jony Ca^{2+} i Mg^{2+} .

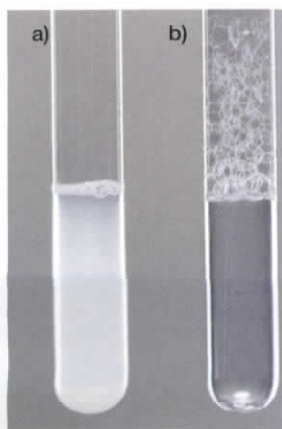
Wodne roztwory mydeł mają odczyn zasadowy.

Sole wapnia i magnezu wyższych kwasów karboksylowych to związki chemiczne trudno rozpuszczalne w wodzie. Po dodaniu do **twardej wody** mydła sodowego lub potasowego (używanego do prania lub mycia) strącają się w postaci osadu (fot. 85.a):



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. 85.b).

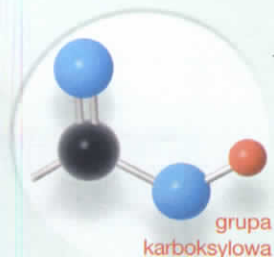
Twardą wodę można zmiękczyć, dodając zamiast mydła, środków zmiękczających wodę, m.in. soli kwasów fosforowych(III) i kwasów fosforowych(V).



Fot. 85. Zachowanie mydła w wodzie: a) twardej, b) miękkiej.

Zastosowania i występowanie wyższych kwasów karboksylowych

Większość naturalnych kwasów tłuszczowych to kwasy nienasycone. Występują one w postaci wolnej lub jako estry wyższych kwasów karboksylowych i glicerolu, czyli tłuszcze. Wyższe kwasy karboksylowe są składnikami zarówno organizmów roślin, jak i zwierząt.



Przemysł chemiczny

Olej tungowy jest wykorzystywany do produkcji lakierów i bardzo trwałych impregnatów do drewna, służących np. do zabezpieczania łodzi przed działaniem wody morskiej. Głównym składnikiem oleju tungowego jest **kwas oleostearynowy** ($C_{17}H_{29}COOH$). Mieszaninę **kwasów stearynowego** ($C_{17}H_{35}COOH$) i **palmitynowego** ($C_{15}H_{31}COOH$) czyli stearynę, wykorzystuje się do produkcji świec.

Farby

Oleje, które zawierają mieszaninę kwasów **linolowego** ($C_{17}H_{31}COOH$) i **α -linolenowego** ($C_{17}H_{29}COOH$), stosuje się do produkcji farb olejnych. Pod wpływem tlenu zawartego w powietrzu następuje zerwanie wiązań podwójnych w cząsteczkach kwasów, co powoduje powstanie twardej, błyszczącej warstwy.

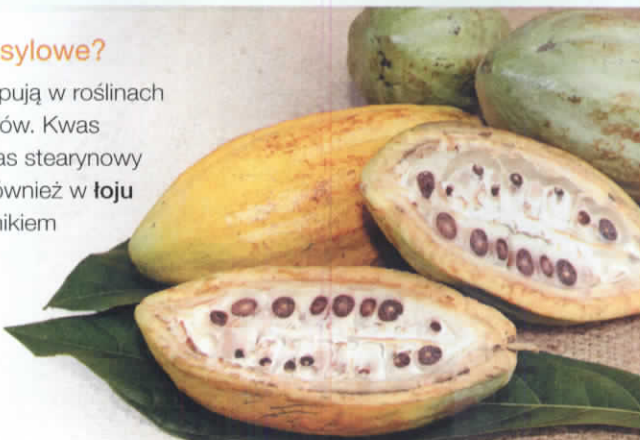
Przemysł kosmetyczny

Sole sodu i potasu kwasów stearynowego, palmitynowego oraz oleinowego są wykorzystywane do produkcji mydeł. Emulgatorem kremów i mleczek kosmetycznych jest **kwas palmitynowy**. Kwasy γ -linolenowy i arachidonowy ($C_{19}H_{31}COOH$), ze względu na swoje właściwości regenerujące i łagodzące, stanowią składnik kosmetyków nawilżających i przeciwzmarszczkowych.



Gdzie występują wyższe kwasy karboksylowe?

Wyższe kwasy karboksylowe powszechnie występują w roślinach oleistych, które są surowcem do wytwarzania olejów. Kwas palmitynowy to składnik **oleju palmowego**, a kwas stearynowy – **masła kakaowego**. $C_{17}H_{35}COOH$ występuje również w **łoju baranym** i **wołowym**. Kwas linolenowy jest składnikiem olejów: **lnianego**, **konopnego**, **sojowego** i **rzepakowego**. Występuje też w **żółtkach jaj**. Głównym składnikiem m.in. **nasion słonecznika** jest kwas linolowy.





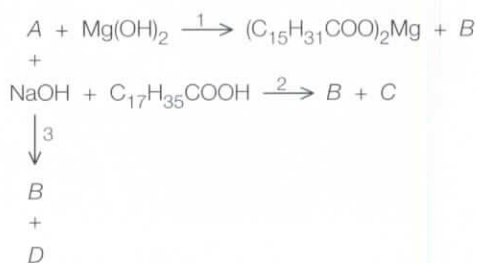
To jest interesujące

Organizm człowieka do prawidłowego funkcjonowania potrzebuje wielonienasyconych kwasów określanych jako **niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (NNKT)**. Należą do nich kwasy z dwoma (np. kwas linolowy), trzema (np. kwas linolenowy) lub czterema wiązaniami podwójnymi (np. kwas arachidonowy). NNKT wchodzi w skład wszystkich błon biologicznych. U człowieka ich pochodnymi są np. prostaglandyny – hormony tkankowe rozszerzające naczynia krwionośne i obniżające ciśnienie krwi. Kwasy te odgrywają też istotną rolę w zapobieganiu miażdżycy, ponieważ rozpuszczają gromadzący się w naczyniach krwionośnych cholesterol (fot. 86.).

Fot. 86. Dieta bogata w tłuszcze podnosi w surowicy krwi poziom cholesterolu, który odkładając się w naczyniach krwionośnych, powoduje on wiele chorób układu krążenia.

Rozwiąż zadania

- Wskaż podobieństwa i różnice we właściwościach poznanych wyższych kwasów karboksylowych.
- Napisz równania reakcji spalania całkowitego:
 - kwasu palmitynowego,
 - kwasu oleinowego.
- Podaj nazwy i wzory substancji oznaczonych literami A–D. Napisz równania reakcji chemicznych (1–3), które przedstawia chemograf.

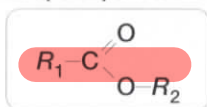


- Do roztworu zawierającego 3 mole kwasu stearynowego dodano 1 mol wodorotlenku wapnia. **Oblicz, ile moli soli powstało** w wyniku tej reakcji chemicznej.
- Zbadano odczyny wodnych roztworów kwasu etanowego i palmitynianu sodu. **Napisz, jak zabarwiły się uniwersalne papierki wskaźnikowe** w roztworach tych substancji. **Uzasadnij odpowiedź**, pisząc w formie jonowej odpowiednie równania reakcji chemicznych.
- Oblicz, ile gramów stearynianu magnezu wytrąci się** po wprowadzeniu stearynianu sodu do 100 cm³ roztworu chlorku magnezu o stężeniu 0,5 $\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$.

3.9. Estry

Estry stanowią ważną grupę związków organicznych. Są to **pochodne kwasów karboksylowych i alkoholi**.

Wzór ogólny estrów alifatycznych kwasów karboksylowych:



gdzie:

– R_1 – grupa węglowodorowa pochodząca od kwasów karboksylowych lub wodoru,

– R_2 – grupa węglowodorowa pochodząca od alkoholi,

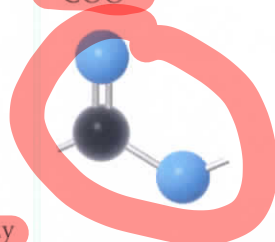
– $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\ | \\ \text{O} - \end{array}$ – grupa estrowa.

Estry

– związki chemiczne zawierające grupę estrową, która łączy dwie grupy węglowodorowe (wyjątek: estry kwasu metanowego).

grupa estrowa

– COO –



Nazewnictwo estrów

Nazwy systematyczne estrów składają się z dwóch wyrazów. Pierwszy człon nazwy pochodzi od **nazwy systematycznej kwasu karboksylowego**, z którego powstał ester. Drugi człon określa **alkil pochodzący od alkoholu** (tabela 21.).

W nazewnictwie estrów stosuje się także nazwy zgodnie ze schematem: „ester ...owy kwasu ...owego”, np.

$\text{CH}_3\text{COOC}_3\text{H}_7$
ester propylowy kwasu etanowego

HCOOC_4H_9
ester butylowy kwasu metanowego

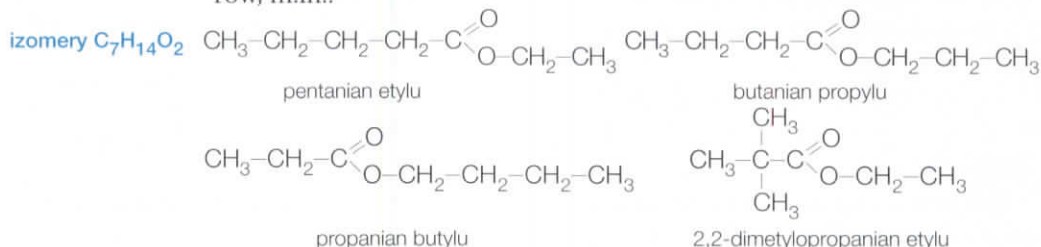
Tabela 21. Tworzenie nazw systematycznych i zwyczajowych estrów

Nazwa					
systematyczna kwasu karboksylowego	zwyczajowa kwasu karboksylowego	systematyczna alkoholu	zwyczajowa alkoholu	systematyczna estru	zwyczajowa estru
kwas metanowy	kwas mrówkowy	metanol	alkohol metylowy	metanian metylu	mrówczan metylu
kwas etanowy	kwas octowy	etanol	alkohol etylowy	etanian etylu	octan etylu
kwas propanowy	kwas propionowy	propanol	alkohol propylowy	propanian propylu	propionian propylu
kwas butanowy	kwas masłowy	butanol	alkohol butylowy	butanian butylu	maślan butylu

Izomeria 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 wiele izomerów, m.in.:



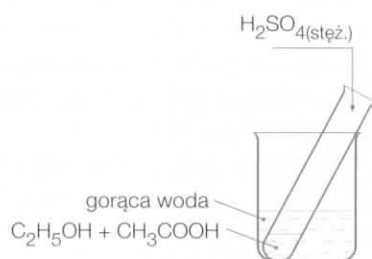
Otrzymywanie estrów kwasów karboksylowych

Doświadczenie 43. C_2H_5OH, CH_3COOH CH_3COOH, H_2SO_4

Reakcja etanolu z kwasem etanowym

Do probówki nalej po ok. 2 cm³ etanolu i kwasu etanowego. Dodaj kilka kropeł 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.

Co obserwujesz?

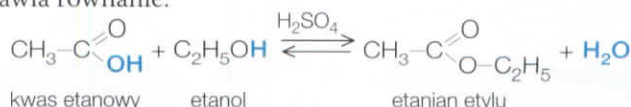


Fot. 87. Produkt reakcji estryfikacji jest cieczą o gęstości mniejszej od gęstości wody – pływa po jej powierzchni.

Otrzymany produkt nie rozpuszcza się w wodzie – tworzy na jej powierzchni tłustą plamę (fot. 87.). W powietrzu unosi się zapach zmywacza do paznokci.

W reakcji chemicznej etanolu z kwasem etanowym powstały: **ester** – etanian etylu (octan etylu) – i woda. Przebieg tej reakcji chemicznej przedstawia równanie:

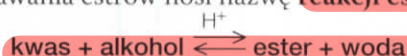
otrzymywanie
 $CH_3COOC_2H_5$



Reakcja estryfikacji

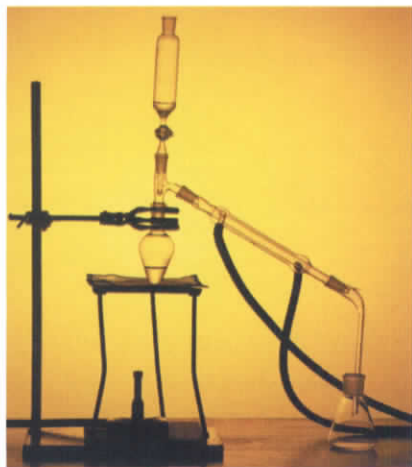
– reakcja chemiczna
alkoholu z kwasem, której
produktami są ester
i woda.

Reakcja powstawania estrów nosi nazwę **reakcji estryfikacji**:



Reakcję estryfikacji katalizują kationy wodoru H^+ pochodzące z dysocjacji elektrolitycznej mocnych kwasów nieorganicznych, np. H_2SO_4 .

Pod wpływem wody powstającej podczas tego procesu 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.** 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, albo przez dodawanie substratu (np. alkoholu). W praktyce najczęściej usuwa się ester, np. w procesie destylacji (fot. 88.).

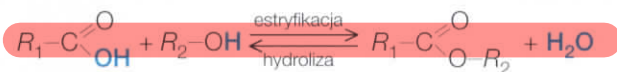


Fot. 88. Zestaw laboratoryjny do destylacji mieszaniny estru i wody.

Stężony roztwór kwasu siarkowego(VI) H_2SO_4 ma właściwości higroskopijne, wiąże więc powstającą wodę. Jednocześnie dostarcza jonów H^+ katalizujących reakcję estryfikacji.

Reakcja odwrótne do reakcji estryfikacji to reakcja hydrolizy estru.

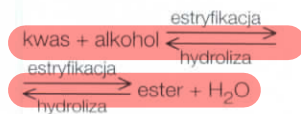
Polega ona na rozkładzie estru pod wpływem wody na kwas i alkohol:



Estryfikacja jest reakcją odwracalną, w której po pewnym czasie ustala się stan równowagi chemicznej. Stała równowagi reakcji estryfikacji ma postać:

$$K_C = \frac{[R_1\text{COOR}_2] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[R_1\text{COOH}] \cdot [R_2\text{OH}]}$$

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. Na przykład dla reakcji powstawania etanianu etylu wartość stałej równowagi chemicznej wynosi ok. 2.



[...]

– oznaczenie stężenia molowego substancji w stanie równowagi chemicznej; jednostką stężenia molowego jest $\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$.

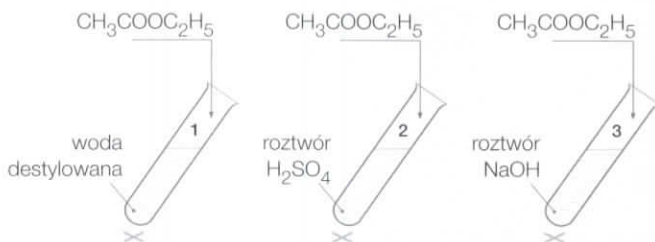
Właściwości estrów

Doświadczenie 44. H_2SO_4 , NaOH

Badanie właściwości etanianu etylu

Do probówki 1. nalej ok. 3 cm^3 wody destylowanej, do probówki 2. – 5-procentowego roztworu kwasu siarkowego(VI), a do probówki 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 w probówkach.

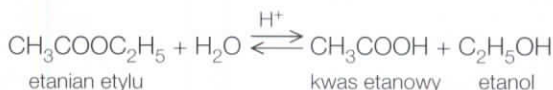
Co obserwujesz?



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.

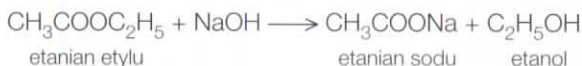
W środowisku kwasowym (probówka 2.) etanian etylu ulega reakcji hydrolizy zgodnie z równaniem reakcji:

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:

hydroliza zasadowa
estru



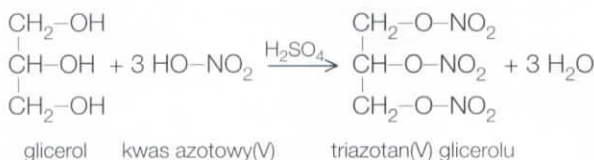
Produktami hydrolizy estru w środowisku zasadowym są sól kwasu karboksylowego i alkohol.

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 wzrostu jego długości rośnie temperatura topnienia oraz temperatura wrzenia estrów. Estry kwasów karboksylowych trudno rozpuszczają się w wodzie. Natomiast same są często 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, choć błędnie, **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**.

otrzymywanie
 $\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3$

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 $\text{C}_2\text{H}_5\text{ONO}$ czy azotan(III) *n*-pentylu $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{ONO}$, stosuje się w lecznictwie 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.

To jest interesujące

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 wybuchu dopiero przy zastosowaniu detonatora. Materiał ten został nazwany **dynamitem** (fot. 89.). Odkrywcą 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 militarne zastosowania wynalazku.

Fot. 89. Dynamit stosowano przy budowie dróg i kolei, w górnictwie, kamieniołomach oraz podczas działań wojennych.



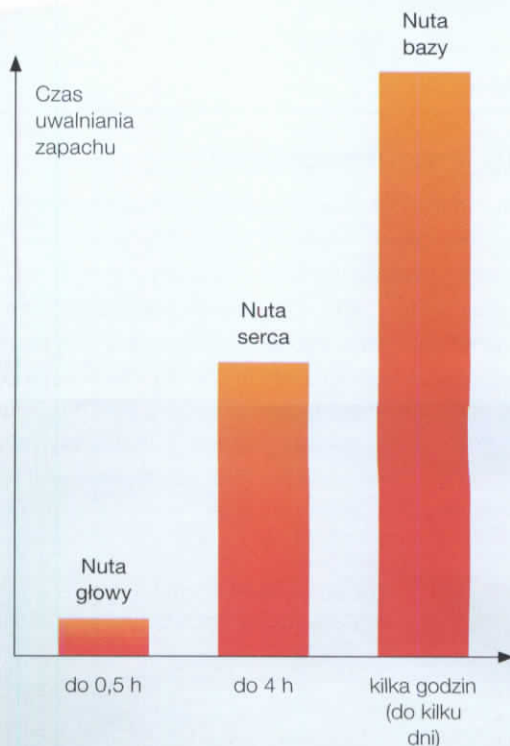
Znaczenie zapachu substancji

Zapach to **właściwość chemiczna substancji**, która umożliwia identyfikację wielu związków chemicznych i jest praktycznie wykorzystywany, m.in. w przemyśle kosmetycznym, perfumeryjnym czy spożywczym.

Substancje mogą mieć ostry i nieprzyjemny zapach, dlatego podczas badania, **kierujemy ich pary w stronę nosa wachlującym ruchem dłoni**. Zapachy są wykrywane i rozróżniane przez receptory w komórkach zmysłowych i zakończeniach nerwowych. Receptory te rozróżniają związki chemiczne, które składają się na dany zapach. Dlatego zapach zalicza się do właściwości chemicznych substancji.

Substancje zapachowe w przemyśle perfumeryjnym

Już w starożytnej Mezopotamii substancje zapachowe pozyskiwane z kwiatów wykorzystywano w postaci kadzideł. W starożytnym Egipcie substancji zapachowych początkowo używano głównie podczas obrzędów mistycznych. Do balsamowania zwłok stosowano **mirrę**, w której ok. 10% to olejki eteryczne, zawierające głównie monoterpen – **α -pinen** ($C_{10}H_{16}$) oraz cynamon, z którego uzyskuje się olejek o ponad 50-procentowej zawartości **aldehydu cynamonowego** (C_9H_8O). Egipcjanom przypisuje się wytworzenie pierwszych płynnych perfum.



Charakterystyczny zapach związku chemicznego

Wiele związków chemicznych ma charakterystyczny zapach, który pozwala na ich identyfikację w laboratorium chemicznym:

- **siarkowodór** – ostry zapach zgniłych jaj,
- **kwas etanowy** – zapach octu,
- **kwas butanowy** – zapach zepsutego masła,
- **jasmon** – keton o jaśminowym zapachu,
- **wanilina** – aldehyd pachnący wanilią.



Nuta serca

Odpowiada za dominujący zapach perfum. Tworzą ją mniej lotne związki chemiczne, m.in. **ketony** i **estry**. Jej składnikami są głównie zapachy kwiatowe i lekkie korzenne. Zapach kwiatowy ma m.in. pozyskiwany z kwiatów jaśminu alkohol nienasycony – **linalol**. Zapach jaśminu mają także keton – **jasmon** i ester – **octan benzylu**. **Geraniol** stanowi 70% olejku różanego, który pozyskuje się z płatków róży damasceńskiej.



Nuta głowy

Kompozycja substancji zapachowych, które są wyczuwane jako pierwsze po otwarciu flakonu perfum. Związki zapachowe wchodzące w jej skład, np. lotne **alkohole** i **aldehidy**, szybko wyparowują. Tworzą ją głównie zapachy cytrusowe, owocowe i ziołowe. Zapach cytrusowy ma m.in. aldehyd **cytral**, który stanowi 6% olejku ze skórki cytryny. Jego główny składnik (90%) to **limonen**. Limonen występuje także w olejku ze skórki słodkiej pomarańczy. Z kolei w owocu bergamotki, oprócz limonenu znajdują się znaczne ilości estrów – głównie pachnącego cytrusowo **octanu linalolu**.

Nuta bazy

W jej skład wchodzi związek chemiczny, nadające zapachowi ciężkości, np. **węglowodory**. Tworzą ją m.in. zapachy drzewne i korzenne. Zapach drzewny posiada **santalol** (alkohol) pozyskiwany z sandalowca białego. Olejek sandalowca zawiera także alkohol o zapachu konwalii – **farnesol**. Źródłem olejku paczulowego jest ziele – paczulka wonna. Olejek ten zawiera aldehydy: **benzoesowy** (zapach gorzkich migdałów), **cynamonowy** (zapach cynamonu) oraz **eugenol**.

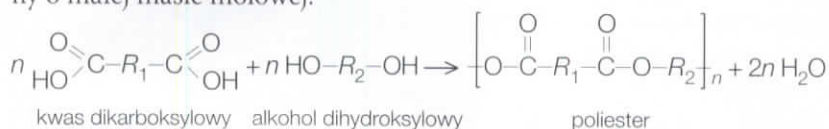


Polimeryzacja i polikondensacja estrów kwasów karboksylowych

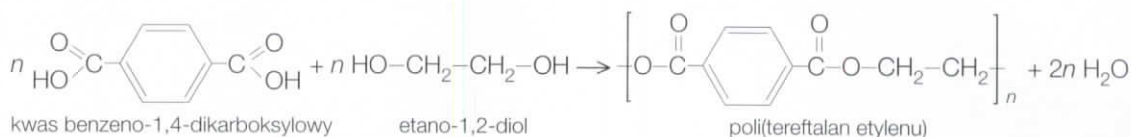
W wyniku reakcji estryfikacji kwasu dikarboksylowego i alkoholu dihydroksylowego powstają **tworzywa sztuczne** nazywane **poliesterami**.

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



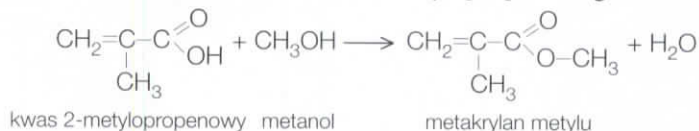
Poliestry stosuje się m.in. do produkcji włókien poliestrowych. Przykładem tworzywa sztucznego, z którego wytwarza się włókna poliestrowe, jest poli(tereftalan etyleny), w skrócie PET. Polimer ten powstaje w reakcji **polikondensacji** kwasu benzeno-1,4-dikarboksylowego (kwasu tereftalowego) i etano-1,2-diolu (glikolem etylenowym):



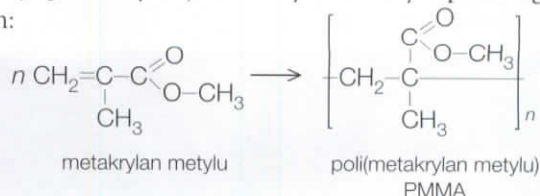
Fot. 90. Z PET wytwarza się m.in. butelki do napojów gazowanych.

Poli(tereftalan etyleny) stosuje się także jako surowiec do produkcji różnego rodzaju opakowań (fot. 90.)

Poli(metakrylan metylu), w skrócie PMMA, to produkt reakcji polimeryzacji **metakrylanu metylu**, czyli **estru metylowego kwasu 2-metylopropenowego**. Substrat wyjściowy do tej reakcji chemicznej powstaje w wyniku estryfikacji kwasu 2-metylopropenowego z metanolem:



Reakcja polimeryzacji metakrylanu metylu przebiega zgodnie z równaniem:



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. 91.).



Fot. 91. Sklepienie Stadionu Olimpijskiego w Monachium wykonano w całości z PMMA.

Zastosowania i występowanie estrów

Estry o łańcuchach nierozgałęzionych występują w organizmach roślinnych i zwierzęcych. Zazwyczaj mają konsystencję przypominającą tłuszcz lub wosk.



Przemysł chemiczny

Z **etanianu winylu** (etanian etenylu, czyli estru kwasu etanowego i alkoholu winylowego – etenolu) wytwarza się polimer – poli(octan winylu). Ze względu na dobrą przyczepność stosuje się go jako substancję wiążącą w klejach i masach szpachlowych. Jest też wykorzystywany jako składnik farb i lakierów. **Etanianu butylu** używa się również jako rozpuszczalnika.

Przemysł spożywczy

Z **etanianu winylu** wytwarza się polimer, którym pokrywa się sery żółte. Na ich powierzchni powstaje wówczas tzw. sucha skórka, która zapobiega utracie wody oraz rozwojowi pleśni. Estry wykorzystywane jako substancje zapachowe do aromatyzowania m.in. ciast i słodczy to np. **metanian etylu** o zapachu rumu i **etanian propylu** o zapachu gruszek.

Przemysł kosmetyczny

Ester benzyloxy kwasu nikotynowego jest składnikiem preparatów stosowanych na rozstępy, a także stymulujących wzrost włosów. **Estry sorbitanu**, np. palmitynian czy stearynian, stosuje się jako emulgatory oraz substancje zagęszczające. **Etanian etylu** jest głównym składnikiem bezaetonowego zmywacza do paznokci.



Gdzie występują estry?

Wiele estrów to substancje zapachowe występujące w kwiatach i owocach. Głównym składnikiem **olejku jojoba**, otrzymywanego z nasion krzewu nazywanego **simondsja kalifornijska**, jest palmitynian cetylu. Z kolei palmitynian mirycylu występuje w **wosku pszczelim**. Oba estry są również składnikami wosków, które pokrywają **jabłka**, chroniąc je przed wysychaniem. Palmitynian cetylu jest też składnikiem olbrotu – substancji powstającej w płacie czołowym kaszalota.



Rozwiąż zadania

1. Napisz wzory półstrukturalne lub podaj nazwy systematyczne estrów.

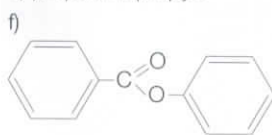
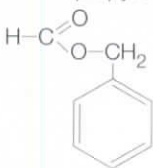
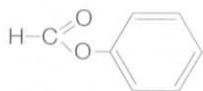
a) metanian butylu

c) etanian propylu

e) propanian propylu

b)

d)



2. Ułóż równania reakcji otrzymywania estrów o podanych nazwach systematycznych.

a) heksadekanian metylu

b) propanian etylu

c) etanian propylu

3. Napisz równania reakcji hydrolizy estrów o podanych nazwach systematycznych.

a) etanian butylu

b) oktadekanian metylu

c) metanian propylu

4. Napisz równanie reakcji spalania całkowitego metanianu propylu.

5. Napisz równania reakcji chemicznych (1–8) przedstawionych na schemacie.



6. Napisz wzory strukturalne i nazwy systematyczne czterech estrów o wzorze sumarycznym $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$.

7. Wyjaśnij zjawisko izomerii funkcyjnej na dowolnym przykładzie estru i kwasu karboksylowego.

8. Napisz wzory strukturalne i nazwy systematyczne dwóch estrów o wzorze sumarycznym $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$. Określ rodzaj izomerii.

9. Napisz równania reakcji otrzymywania estrów kwasów nieorganicznych o podanych nazwach systematycznych.

a) siarczan(VI) dimetylu

b) fosforan(V) trietylu

c) azotan(V) metylu

10. 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.

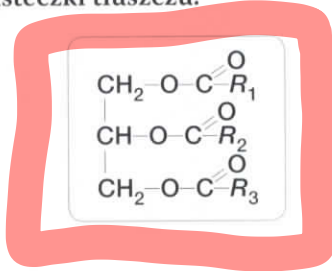
11. W 100 cm^3 etanolu o gęstości $0,78 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ rozpuszczono 20 g estru zawierającego 5% zanieczyszczeń (procent masowy). **Oblicz stężenie procentowe otrzymanego roztworu estru.**

12. Przeprowadzono reakcję estyfikacji 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.**

3.10. Tłuszcze

Tłuszcze (glicerydy) to **estry glicerolu i wyższych kwasów karboksylowych** (nazywanych kwasami tłuszczowymi).

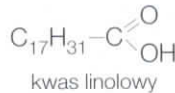
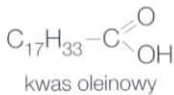
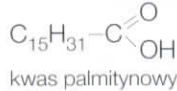
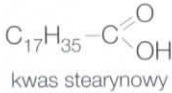
Wzór ogólny cząsteczki tłuszczu:



gdzie:

$-\text{R}_1, -\text{R}_2, -\text{R}_3$ – grupy alkilowe, takie same lub różne, w zależności od rodzajów kwasów karboksylowych.

Glicerol ma trzy grupy hydroksylowe $-\text{OH}$ w cząsteczce, więc tworzy estry z trzema cząsteczkami kwasów karboksylowych. Mogą to być cząsteczki różnych lub takich samych nasyconych lub nienasyconych kwasów karboksylowych, np.



nasycone kwasy
tłuszczowe

nienasycone kwasy
tłuszczowe

Rodzaje kwasów tłuszczowych wchodzących w skład cząsteczki tłuszczu decydują o jego właściwościach. Tłuszcze pochodzenia naturalnego zawierają najczęściej reszty różnych kwasów tłuszczowych. Tłuszcze wydzielane z materiałów roślinnych i zwierzęcych są mieszaninami wielu różnych glicerydów.

Podział tłuszczów ze względu na:

Pochodzenie		Stan skupienia	
roślinne, np.	zwierzęce, np.	ciekłe, np.	stałe, np.
- olej słonecznikowy - olej rzepakowy - oliwa z oliwek	- smalec - tran - łój	- oleje - oliwy - tran	- masło - smalec - łój

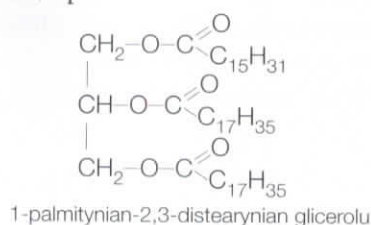
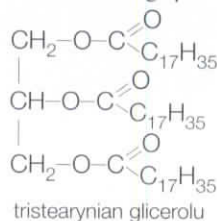
W skład większości tłuszczów stałych, które mogą być twarde lub maziste (fot. 92.), wchodzi reszty kwasów nasyconych. Natomiast cząsteczki tłuszczów ciekłych zawierają reszty kwasów nienasyconych.



Fot. 92. Przykładem tłuszczu mazistego stałego jest smalec.

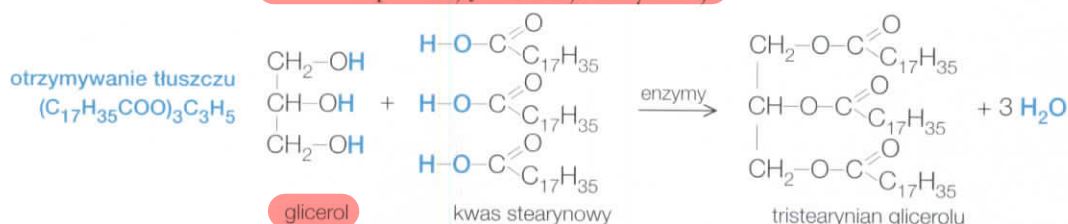
Nazewnictwo tłuszczów

W nazewnictwie tłuszczów stosuje się identyczne zasady jak w nazewnictwie estrów, gdyż tłuszcze są estrami, np.



Otrzymywanie tłuszczów

Tłuszcze powstają w reakcji estryfikacji:



Właściwości tłuszczów

Doświadczenie 45.  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, benzyna   benzyna

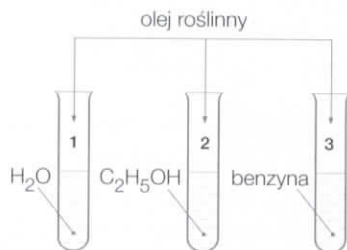
Badanie właściwości tłuszczów

a) Do trzech probówek: z wodą, etanolem i benzyną dodaj kilka kropli oleju roślinnego (schemat).

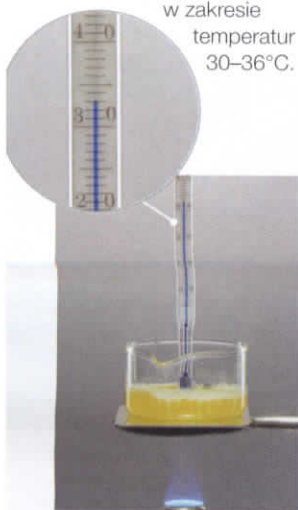
Wstrząśnij probówkami.

b) Ogrzewaj powoli masło w krystalizatorze umieszczonym na płytce metalowej. Zmierz temperaturę topnienia masła.

Co obserwujesz?

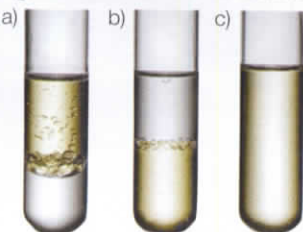


Masło topnieje
w zakresie
temperatur
30–36°C.



Fot. 94. Topnienie masła.

Olej dobrze rozpuszcza się w benzynie, gorzej w etanolu, a w wodzie jest nierozpuszczalny – unosi się na jej powierzchni (fot. 93.). 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. 94.).



Fot. 93. Badanie rozpuszczalności oleju roślinnego w: a) wodzie, b) etanolu, c) benzynie.

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**, która po krótkim czasie się rozwarstwa. 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.

Doświadczenie 46.



Działanie wody bromowej na olej roślinny

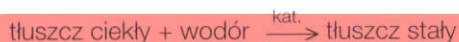
Do probówki zawierającej ok. 3 cm³ oliwy z oliwek lub innego oleju roślinnego dodaj kilka kropli wody bromowej (schemat). Wstrząsaj przez chwilę zawartością probówki. Co obserwujesz?



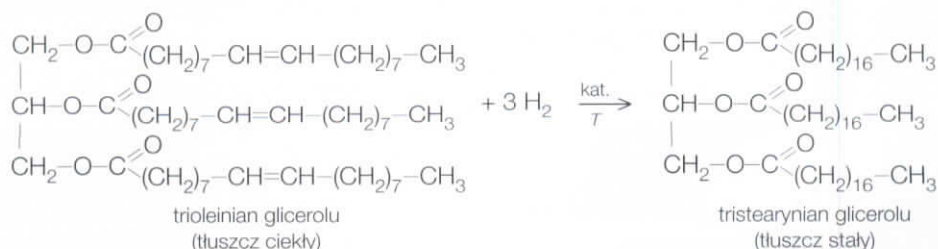
Woda bromowa w probówce odbarwiła się (fot. 95.).

Odbarwienie wody bromowej świadczy o obecności w ciekłych tłuszczach roślinnych reszt nienasyconych kwasów tłuszczowych. Brom ulega reakcji addycji – przyłącza się do atomów węgla tworzących wiązanie podwójne w cząsteczce tłuszczu. Powstaje substancja o stałym stanie skupienia.

W przemyśle proces utwardzania tłuszczów prowadzi się przez katalityczne uwodornienie olejów zgodnie ze schematem:



Przykładowe równanie reakcji uwodornienia trioleinianu glicerolu:



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. Margaryny używa się m.in. jako zamiennika masła w diecie antycholesterolowej.

Emulsja

– mieszanina niejednorodna nierozpuszczających się w sobie cieczy, z których jedna jest rozproszona w drugiej w postaci małych kropelek.



Fot. 95. Odbarwienie wody bromowej pod wpływem oliwy z oliwek.

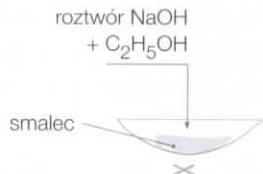
utwardzanie tłuszczu

Doświadczenie 47. NaOH

Hydroliza zasadowa tłuszczów (zmydlanie tłuszczów)

W parownicy umieść niewielki kawałek smalcu. Dodaj ok. 1 cm³ etanolu i ok. 3 cm³ 20-procentowego roztworu wodorotlenku sodu. Całość mieszaj i ostrożnie ogrzewaj ok. 10 min (schemat). Po ostudzeniu powstałej substancji sprawdź jej zapach.

Co obserwujesz?

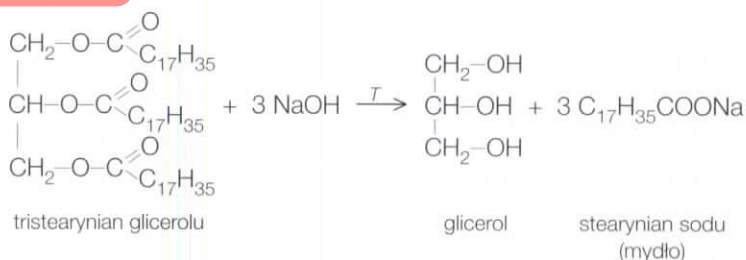


Fot. 96. Powstawanie mydła.

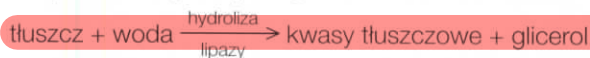
Ogrzewana w parownicy mieszanina intensywnie się pieni (fot. 96.) i wydziela charakterystyczny zapach mydlin. Produkt ma postać białej masy.

Powstała w reakcji chemicznej substancja to mydło. **Tłuszcz uległ hydrolizie zasadowej, nazywanej od jej produktu reakcją zmydlania tłuszczów:**

hydroliza zasadowa
tłuszczu



Hydroliza zasadowa tłuszczów jest stosowana w przemyśle do otrzymywania mydła. W procesie tym zużywa 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:

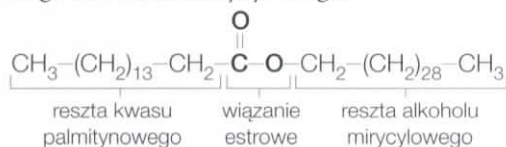


■ Lipidy

Tłuszcze należą do grupy związków organicznych zwanych **lipidami** (**tłuszczowcami**). Lipidy są to związki występujące w komórkach i tkankach organizmów. Mają bardzo zróżnicowaną budowę. Wszystkie lipidy są dobrze rozpuszczalne w rozpuszczalnikach niepolarnych, np. w benzynie, eterze, chloroformie, a nierozpuszczalne 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.: воск pszczeły, lanolina (wosk wełny owczej) i olbrot (wosk występujący w płatach czołowych wielorybów). Woski występują zarówno w świecie roślin, jak i zwierząt. Z liści i łodyg, kory drzew, owoców oraz nasion można wyizolować różnorodne woski roślinne. Pełnią one głównie funkcję ochronną (fot. 97.). 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. **Przykładem estru występującego w wosku pszczelim jest mirycyna.** To ester kwasu palmitynowego i alkoholu mirycylowego:



Tłuszcze złożone mają różną 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).

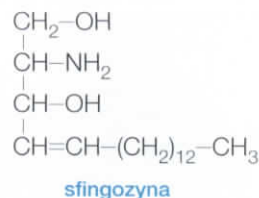
Do fosfolipidów należą także **sfigingolipidy**, które zamiast glicerolu zawierają **sfigozynę** – aminoalkohol – w którego skład wchodzi długi, nienasycony łańcuch węglowodorowy.

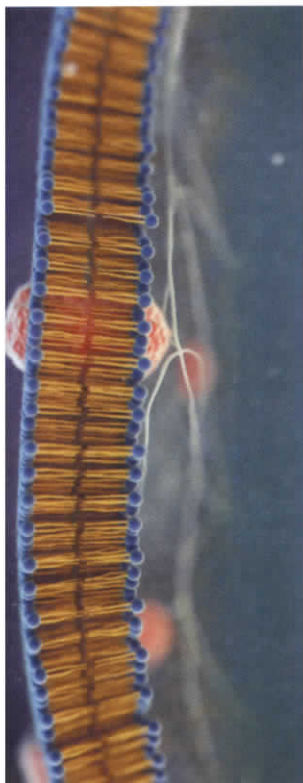
Sfigingolipidy są składnikami błon komórkowych roślinnych i zwierzęcych. W dużej ilości występują w tkance nerwowej, m.in. w mózgu.

Osobną grupę tłuszczów złożonych stanowią glikolipidy. Są to związki chemiczne zbudowane z części lipidowej i sacharydowej.



Fot. 97. Woski zabezpieczają owoce przed nadmierną utratą wody.





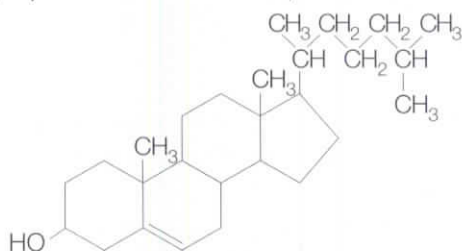
Rys. 25. Schemat budowy dwuwarstwowej błony lipidowej.

Pomimo dużych różnic w budowie strukturalnej pomiędzy poszczególnymi rodzajami fosfolipidów i glikolipidów wszystkie ich cząsteczki 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. 25.).

Ważną grupę wśród lipidów stanowią **terpeny** – węglowodory o wzorze ogólnym $(C_5H_8)_n$ i ich pochodne, wchodzące w skład intensywnie pachnących olejków eterycznych wydrebnianych 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, która umożliwia cholesterolowi „wciskanie” się między lipidy w błonie komórkowej:

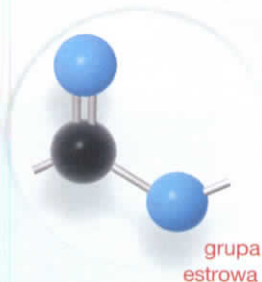
wzór cholesterolu



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 i występowanie tłuszczów

Tłuszcze są bardzo rozpowszechnione w przyrodzie. Występują w tkankach zwierzęcych i nasionach roślin. Najważniejsze tłuszcze pochodzenia zwierzęcego to: smalec, masło i jół. Tłuszcze roślinne to przede wszystkim oleje: rzepakowy, sojowy, słonecznikowy i lniany.



Przemysł chemiczny

Wosk karnauba jest jednym z najtwardszych wosków naturalnych, a jego temperatura topnienia wynosi ponad 80°C . To substancja, która nadaje połysk oraz chroni przed wodą i zabrudzeniami, dlatego stosuje się ją m.in. do produkcji past do obuwia i podłóg, smarów oraz lakierów. **Olej lniany** wykorzystuje się do produkcji preparatów impregnujących m.in. drewno.

Przemysł spożywczy

Masło kakaowe wykorzystuje się przy produkcji słodczy, m.in. czekolad. W celu obniżenia kosztów często zastępuje się je np. **lecytyną** (E 322) – fosfolipidem, który pełni funkcję emulgatora. Do produkcji czekolad używa się też **tłuszczu kokosowego** (do 5% zawartości), który jest również wykorzystywany do smażenia.



Przemysł kosmetyczny

Tłuszcz kokosowy oraz **masło kakaowe** są stosowane do produkcji preparatów, które nawilżają, odżywiają, wygładzają oraz zmiękcza skórę. Z kolei **lanoliny** używa się jako emulgatora. Nadaje ona emulsjom odpowiednią konsystencję – lepkość i ciągliwość. Ze względu na właściwości przeciwbakteryjne i przeciwgrzybiczne w kosmetykach wykorzystuje się **wosk pszczeli**.

Gdzie występują tłuszcze?

Z miąższu orzechów **palmy kokosowej** otrzymuje się olej kokosowy, który w temperaturze poniżej 25°C przechodzi w tłuszcz o stałym stanie skupienia – masło kokosowe. Z kolei wosk karnauba uzyskuje się z liści palmy nazwanej na cześć polskiego astronoma Mikołaja Kopernika – *Copernicia cerifera* – **kopernikówka woskodajna**.



Za strukturę piany w bitej śmietanie (fot. 98.) odpowiadają tłuszcze, które topią się w wysokiej temperaturze. Dlatego przed rozpoczęciem ubijania należy schłodzić śmietanę i naczynie, w którym będzie ubijana. Podczas ubijania hydrofobowe ogony ustawiają się w kierunku pęcherzyka powietrza. Kiedy zbierze się ich wystarczająca ilość, zamykają go i tworzą stabilną pianę. Jeśli zawartość tłuszczu w śmietanie jest zbyt mała, czyli poniżej 30%, wówczas będzie za mało ogonów hydrofobowych do stworzenia trwałej piany.

Fot. 98. Ubijanie śmietany dobrej jakości (przynajmniej 30-procentowej) powoduje zwiększenie jej objętości o ok. 80%.

1. Napisz wzory półstrukturalne związków chemicznych o podanych nazwach systematycznych.

2. Napisz równania reakcji chemicznych (1–4) przedstawionych na schemacie. Zastosuj wzory półstrukturalne.



3. **Oblicz**, ile moli wodoru potrzeba do utwardzenia 2 moli trioleinianu glicerolu.
4. W reakcji hydrolizy zasadowej tripalmitynianu glicerolu otrzymano 417 g palmitynianu sodu. **Oblicz**, ile gramów wodorotlenku sodu zużyto w tej reakcji chemicznej.
5. **Wyjaśnij**, dlaczego masło po dłuższym przechowywaniu w temperaturze pokojowej w oświetlonym miejscu nabiera nieprzyjemnego zapachu kwasu masłowego.
6. 200 g trioleinianu glicerolu przereagowało z jodem. Po reakcji chemicznej masa tłuszczu zwiększyła się o 101,6 g. **Oblicz wydajność przeprowadzonej reakcji chemicznej**.
7. **Oblicz, ile decymetrów sześciennych wodoru**, odmierzonego w warunkach normalnych, należy użyć do katalicznego uwodornienia 0,5 kg trioleinianu glicerolu, jeśli reakcja chemiczna zachodzi z wydajnością 90%.
8. **Ustal wzór sumaryczny tłuszczu** poddanego hydrolizie, w której wyniku otrzymano 256 g kwasu palmitynowego i 142 g kwasu stearynowego.

3.11. Aminy i amidy – związki organiczne zawierające azot

Aminy to pochodne amoniaku, w którym jeden, dwa lub trzy atomy wodoru w cząsteczce są zastąpione grupami węglowodorowymi:



NH_3
amoniak



$\text{CH}_3\text{-NH}_2$
metyloamina

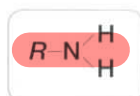
Modele:

- atomu azotu
- atomu wodoru
- atomu węgla

Cząsteczki amin zawierają grupę funkcyjną – **grupę aminową** – NH_2 .

Aminy zawierające **grupę funkcyjną** -NH_2 to aminy I-rzędowe.

Wzór ogólny amin I-rzędowych:

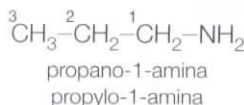
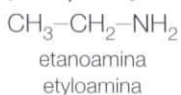
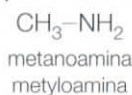


gdzie:

-R – grupa węglowodorowa (alkil lub aryl),

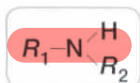
-NH_2 – grupa aminowa.

Przykładami amin I-rzędowych są m.in.:

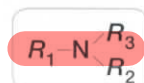


Jeżeli w cząsteczce amoniaku dwa atomy wodoru zostaną zastąpione grupami węglowodorowymi, to powstanie **amina II-rzędowa**, a gdy zastąpimy trzy atomy – **amina III-rzędowa**.

Wzór ogólny amin II-rzędowych: **Wzór ogólny amin III-rzędowych:**



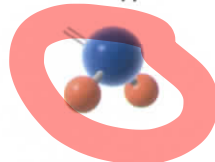
amina II-rzędowa



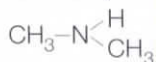
amina III-rzędowa

Rzędowość amin określa się więc w inny sposób niż rzędowość alkoholi. Kryterium rzędowości amin jest liczba grup węglowodorowych związanych z atomem azotu.

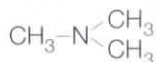
grupa aminowa:



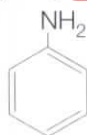
Przykładem aminy II-rzędowej jest dimetyloamina o wzorze pół-strukturalnym:



Natomiast aminą III-rzędową jest trimetyloamina o wzorze półstrukturalnym:



Przykładem I-rzędowej aminy aromatycznej jest **benzenoamina** (fenyloamina) o nazwie zwyczajowej **anilina**:

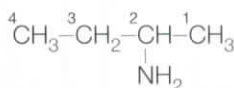


■ Nazewnictwo amin

Nazwy systematyczne amin I-rzędowych tworzy się, dodając do **nazwy węglowodoru** przyrostek **-amina**, poprzedzony łącznikiem „o” i odpowiednim lokantem. Można również dodawać przyrostek -amina do nazwy grupy alkilowej lub arylowej:



etanoamina
etyloamina

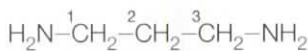


butano-2-amina
butan-2-yloamina

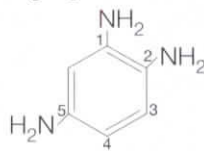


cyklopentanoamina
cyklopentyloamina

Podobnie tworzy się nazwy amin o kilku grupach aminowych, np.:



propano-1,3-diamina



benzeno-1,2,5-triamina

Dla niektórych amin, zwłaszcza aromatycznych, stosuje się nazwy zwyczajowe, np.

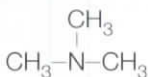


anilina

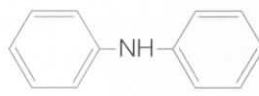
Nazwy amin II- i III-rzędowych tworzy się przez dodanie przedrost-
ów di- lub tri- do nazwy aminy, np.



dimetanoamina
dimetyloamina



trimetanoamina
trimetyloamina



difenyloamina

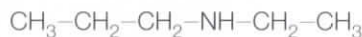
model czasowy
cząsteczki aniliny



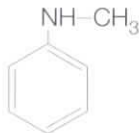
Modele:

-  atomu azotu
-  atomu wodoru
-  atomu węgla

W przypadku, gdy aminy II- lub III-rzędowe zawierają różne podstawniki przy atomie azotu, traktuje się je jako *N*-podstawione pochodne amin I-rzędowych. Jako podstawę nazwy aminy I-rzędowej wybiera się największą ze wszystkich grupę węglowodorową, np.:



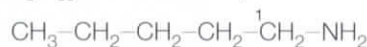
N-etylopropanoamina



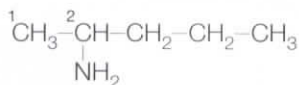
N-metylobenzoamina
N-metylofenyloamina

Izomeria amin

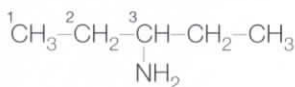
Wśród amin, podobnie jak wśród innych związków organicznych, występuje zjawisko izomerii. Na przykład amina o wzorze sumarycznym $\text{C}_5\text{H}_{13}\text{N}$ może tworzyć m.in. izomery:



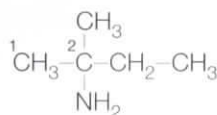
pentano-1-amina



pentano-2-amina



pentano-3-amina



2-metylobutano-2-amina

izomery $\text{C}_5\text{H}_{13}\text{N}$

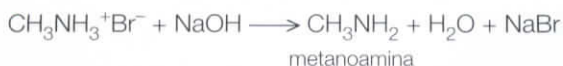
Otrzymywanie amin

Podstawową metodą otrzymywania I-rzędowych 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

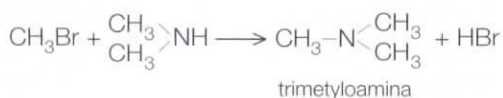


otrzymywanie CH_3NH_2

Otrzymana amina I-rzędowa może dalej reagować z nadmiarem fluorowcopochodnych alkanów. W ten sposób powstają aminy II- i III-rzędowe:



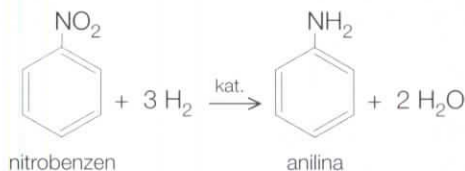
otrzymywanie $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$



otrzymywanie $(\text{CH}_3)_3\text{N}$

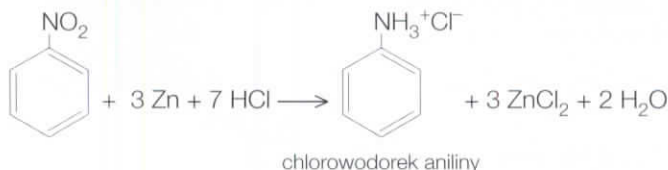
Na skalę przemysłową aminy aromatyczne otrzymuje się przez **redukcję związków nitrowych**. Są to związki aromatyczne zawierające grupę $-\text{NO}_2$. Anilinę otrzymuje się, redukując nitrobenzen wodorem w obecności katalizatora:

otrzymywanie $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$



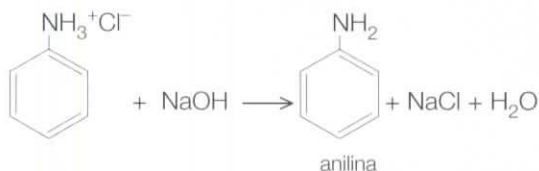
W skali laboratoryjnej do redukcji nitrobenzenu stosuje się także mieszaninę cynku, cyny lub żelaza z kwasem chlorowodorowym. Reakcja chemiczna zachodzi wtedy w dwóch etapach:

Etap I. Nitrobenzen reaguje z cynkiem i kwasem chlorowodorowym



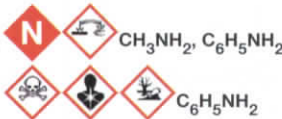
Etap II. Chlorowodorek aniliny reaguje z wodorotlenkiem sodu

otrzymywanie $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$



■ Właściwości amin

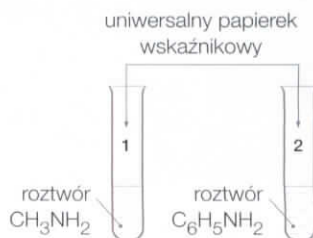
Właściwości amin zostaną przedstawione na przykładzie dwóch związków chemicznych: metyloaminy i aniliny.

Doświadczenie 48.  CH_3NH_2 , $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$  CH_3NH_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.

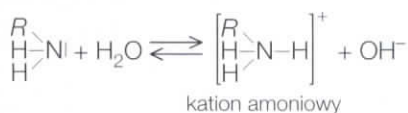
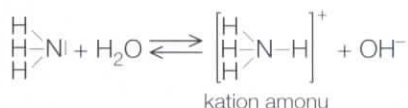
- a) Określ barwę i zapach wodnego roztworu metyloaminy oraz sprawdź jej odczyn uniwersalnym papierkiem wskaźnikowym. b) Określ stan skupienia aniliny oraz sprawdź jej barwę, zapach, odczyn (schemat) i rozpuszczalność w wodzie. Co obserwujesz?



Metyloamina jest bezbarwnym gazem o nieprzyjemnym zapachu psujących się ryb. Roztwór metyloaminy barwi uniwersalny papierek wskaźnikowy na zielononiebiesko. 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.

Wyższe aminy alifatyczne są cieczami lub substancjami stałymi i słabo rozpuszczają się w wodzie.

Podobnie jak amoniak, aminy wykazują charakter zasadowy – przyłączają proton do wolnej pary elektronowej atomu azotu w reakcji chemicznej z wodą:



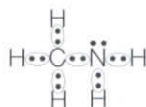
przyłączenie protonu
do NH_3

przyłączenie protonu do
 $\text{R}-\text{NH}_2$

Właściwości zasadowe zarówno amoniaku, jak i amin wynikają z obecności wolnej (niewiązanej) pary elektronowej atomu azotu w grupie $-\text{NH}_2$ (rys. 26.). Aminy, podobnie jak amoniak, mają wolną parę elektronową pochodzącą od atomu azotu, co ma znaczący wpływ na właściwości amin:



wzór elektronowy amoniaku

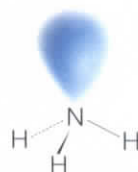


wzór elektronowy etyloaminy

Wśród amin alifatycznych metyloamina i etyloamina są słabymi zasadami, o mocy porównywalnej z mocą amoniaku. 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 $-\text{NH}_2$ z elektronami pierścienia aromatycznego:



Jest to ten sam efekt, który powoduje zwiększenie kwasowości fenoli w porównaniu z alkoholami. **Pierścień aromatyczny zwiększa właściwości kwasowe związków aromatycznych.**



Rys. 26. Rozmieszczenie wiązań N–H w amoniaku i aminach odpowiada hybrydyzacji sp^3 atomu azotu.

Doświadczenie 49.



HCl, C₆H₅NH₂



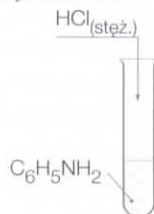
C₆H₅NH₂

Reakcja aniliny z kwasem chlorowodorowym

! Doświadczenie wykonuj w okularach ochronnych i rękawicach.

Do probówki wlej ok. 2 cm³ aniliny i dodaj ostrożnie 2 cm³ stężonego roztworu kwasu chlorowodorowego (schemat). Ostudź probówkę zimną wodą. Probówkę z zawartością wykorzystaj do wykonania doświadczenia 51.

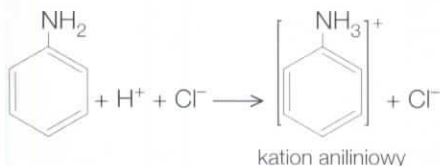
Co obserwujesz?



Po dodaniu kwasu chlorowodorowego znikają krople aniliny. Otrzymana substancja dobrze rozpuszcza się w wodzie.

Powstaje związek chemiczny – **chlorowodurek aniliny**:

reakcja C₆H₅NH₂ z HCl



Reakcja chemiczna przebiega w taki sam sposób jak reakcja powstawania soli amonowych z amoniaku i kwasu:

reakcja NH₃ 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.:

reakcja C₂H₅NH₂ z HCl



Doświadczenie 50.



Br₂, C₆H₅NH₂

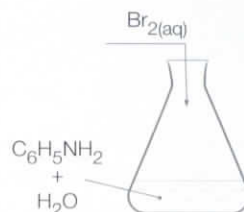


C₆H₅NH₂

Reakcja aniliny z wodą bromową

Do kolby stożkowej z ok. 20 cm³ wody dodaj 2 cm³ aniliny. Następnie dodawaj wodę bromową (schemat) aż do zaobserwowania objawów reakcji chemicznej. U wylotu kolby umieść zwilżony wodą uniwersalny papierek wskaźnikowy.

Co obserwujesz?



W kolbie wytrąca się biały osad, a woda bromowa się odbarwia. Uniwersalny papierek wskaźnikowy barwi się na czerwono.

Reakcja aniliny z bromem zachodzi łatwo już w temperaturze pokojowej. 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:



Wydzielający się w czasie tej reakcji chemicznej bromowodor HBr barwi uniwersalny papierek wskaźnikowy na czerwono.

Doświadczenie 51. NaOH, C₆H₅NH₂ C₆H₅NH₂

Reakcja chlorowodoru aniliny z wodorotlenkiem sodu

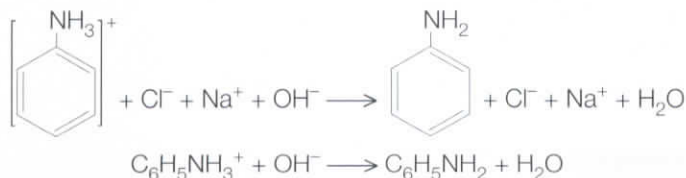
Do otrzymanego w doświadczeniu 49. chlorowodoru aniliny dodaj ok. 3 cm³ 20-procentowego roztworu wodorotlenku sodu (schemat).

Co obserwujesz?

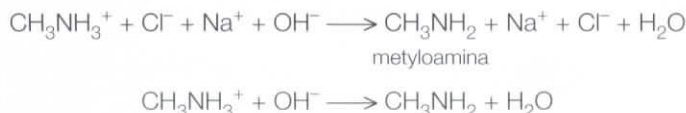


Na powierzchni roztworu tworzą się drobne kropelki cieczy (fot. 99.).

Powstające krople cieczy to anilina. Wodorotlenek sodu, jako mocna zasada, wypiera słabą zasadę – anilinę – z roztworu jej soli:



Podobne reakcje chemiczne zachodzą w roztworach soli amin alifatycznych pod wpływem mocnych zasad, np.:



bromowanie C₆H₅NH₂

W probówce powstają dwie warstwy cieczy.



Fot. 99. Produktem reakcji chemicznej jest oleista ciecz.

reakcja C₆H₅NH₃⁺Cl⁻ z NaOH

zapis jonowy

skrótowy zapis jonowy



To jest interesujące

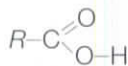
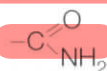
Alkaloidy to zasadowe związki organiczne zawierające atomy azotu. Zalicza się do nich niektóre aminy. Alkaloidy są jednymi z najbardziej niebezpiecznych dla człowieka grup związków chemicznych występujących w przyrodzie (fot. 100.). Większość z nich to silne trucizny, których działanie zależy od dawki. W dużych dawkach alkaloidy są silnymi truciznami, natomiast w małych mogą wykazywać działanie lecznicze, dlatego są składnikami wielu specyfików farmakologicznych. Do alkaloidów należą m.in. kofeina, nikotyna, atropina, morfina, strychnina i efedryna.

Fot. 100. Kwas ibotenowy ($C_6H_6N_2O_4$) to alkaloid, który występuje m.in. w muchomorze czerwonym.

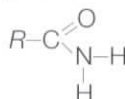
Amidy

Ważna grupa związków organicznych zawierających azot w cząsteczce to **amidy**. Są one pochodnymi kwasów karboksylowych, które zawierają grupę funkcyjną – **grupę amidową** – $CONH_2$:

grupa amidowa



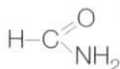
kwas karboksylowy



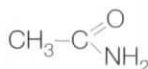
amid kwasu karboksylowego

Nazewnictwo amidów

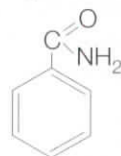
Nazwy systematyczne amidów tworzy się, podając nazwę odpowiedniego **węglowodoru**, do którego dodaje się łącznik **-o-** oraz przyrostek **-amid** (amidy alifatyczne) lub **-karboksamid** (amidy aromatyczne), np.:



metanoamid



etanoamid

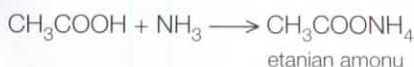


benzenokarboksamid

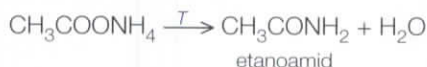
Otrzymywanie amidów

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

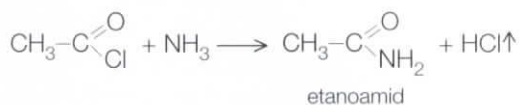


Etap II. Powstały produkt rozkłada się pod wpływem wysokiej temperatury



otrzymywanie CH_3CONH_2

Amidy otrzymuje się także w reakcji chlorków kwasów karboksylowych z amoniakiem (fot. 101.), np.:



Właściwości amidów

Doświadczenie 52.



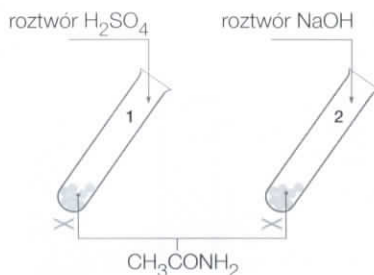
NaOH, H₂SO₄



CH₃CONH₂

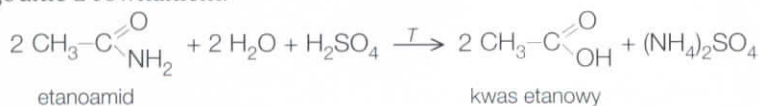
Reakcja etanoamidu (acetamidu) z wodą w środowisku kwasu siarkowego(VI) i z wodorotlenkiem sodu

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. Co obserwujesz?



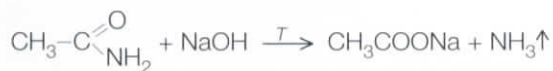
Z probówki 1. wydziela się gaz o zapachu octu, a uniwersalny papierek wskaźnikowy barwi się na czerwono (fot. 102.a). Z probówki 2. wydziela się gaz o zapachu amoniaku, a uniwersalny papierek wskaźnikowy barwi się na zielono (fot. 102.b).

Etanoamid reaguje z wodą w środowisku kwasu siarkowego(VI) zgodnie z równaniem:



Powstający w reakcji chemicznej kwas etanowy (octowy) barwi uniwersalny papierek wskaźnikowy na czerwono.

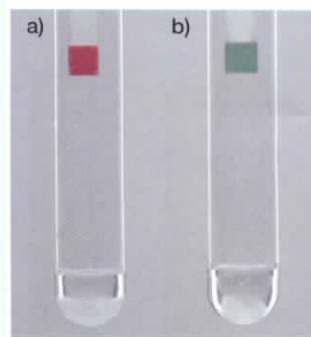
Etanoamid reaguje także z wodorotlenkiem sodu zgodnie z równaniem:



Powstający w reakcji chemicznej amoniak barwi uniwersalny papierek wskaźnikowy na zielono.



Fot. 101. W reakcji chemicznej powstaje kwas chlorowodorowy.



Fot. 102. Reakcja etanoamidu: a) z wodą w środowisku kwasu siarkowego(VI), b) z wodorotlenkiem sodu.

reakcja CH₃CONH₂ z H₂O w środowisku H₂SO₄

reakcja CH₃CONH₂ z NaOH

Barwniki

Barwniki to związki organiczne, które nadają barwę organizmom lub materiałom.

Barwniki syntetyczne są trwalsze i mają bardziej intensywne barwy w porównaniu do barwników naturalnych. Większość **barwników naturalnych** nie jest zbyt trwała, dlatego coraz częściej używa się barwników syntetycznych, które są trwalsze i mają intensywniejsze barwy.

Barwy wskaźników w roztworach

Większość barwników zmienia swój kolor w zależności od wartości pH środowiska, w jakim się znajduje. Dlatego niektóre barwniki stosuje się w chemii analitycznej jako **wskaźniki kwasowo-zasadowe**.



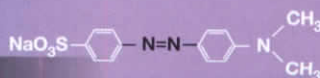
Barwniki syntetyczne

Do syntezy pierwszych barwników (np. żółcieni anilinowej) używano aniliny i jej pochodnych. Dlatego często barwniki syntetyczne są nazywane **barwnikami anilinowymi**, chociaż obecnie barwniki otrzymuje się też z innych związków aromatycznych, np. pochodnych naftalenu i antracenu.

Barwniki azowe

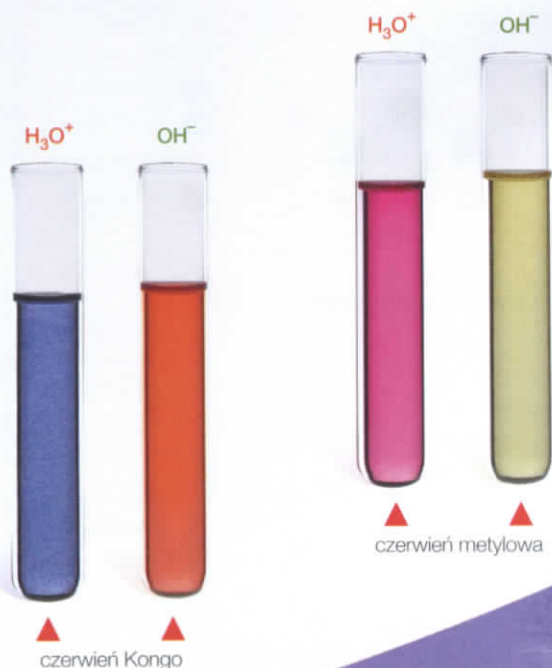
Grupa azowa $-\text{N}=\text{N}-$ występuje w cząsteczkach barwników azowych, otrzymywanych z pierwszorzędowych amin aromatycznych. Przykładem barwnika azowego jest oranż metylowy. Barwnik ten zmienia kolor w zależności od wartości pH środowiska, w jakim się znajduje.

Oranż metylowy jest stosowany do barwienia tkanin i włókien.

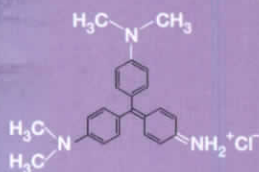


Reakcje charakterystyczne związków chemicznych

Reakcjami charakterystycznymi w chemii nieorganicznej są m.in. **zmiany barwy wskaźników kwasowo-zasadowych**. W chemii organicznej reakcje charakterystyczne są często nazywane „próbami”. Dzięki nim wykrywa się grupę funkcyjną charakterystyczną dla związku organicznego.



Fiolet metylowy jest wykorzystywany w większości tuszów do stempli i pieczętek.



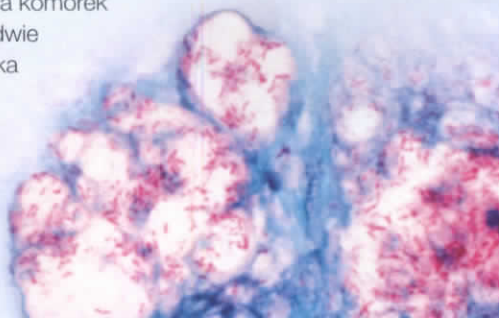
Barwniki tryfenylometanowe

Substratem do ich produkcji jest bezbarwny związek chemiczny – **tryfenylometan** $CH(C_6H_5)_3$.

Nowe barwniki syntetyczne otrzymuje się po podstawieniu atomów wodoru, w tym związku chemicznym, grupami, np.: $-NH_2$, $-SO_3Na$, $-CH_3$. Przykładem barwnika tryfenylometanowego jest fiolet metylowy.

Jak odróżnić gronkowca od salmonelli?

Fioletowe barwniki, np. fiolet krystaliczny, stosuje się do barwienia komórek bakterii **metodą Grama**. Umożliwia ona podzielenie bakterii na dwie grupy: Gram-dodatnie i Gram-ujemne. Po zastosowaniu barwnika komórki poddaje się działaniu etanolu. Bakterie Gram-dodatnie barwią się na granatowo, ponieważ etanol nie wypłukuje barwnika z ich ścian komórkowych. Bakterie Gram-ujemne odbarwiają się, ponieważ alkohol wymywa barwnik ze ściany komórkowej. W celu dokładniejszego wykrycia odpowiednich bakterii dodaje się inny barwnik, np. fuksynę.

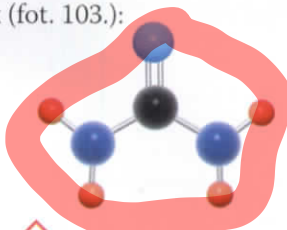
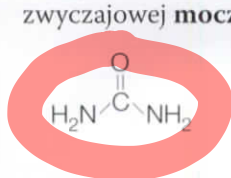




Fot. 103. Mikroskopowe zdjęcie kryształów mocznika.

Mocznik

Jednym z amidów jest karbonamid (diamid kwasu węglowego) o nazwie zwyczajowej **mocznik** (fot. 103):



Modele:

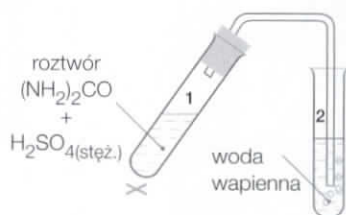
- atomu azotu
- atomu tlenu
- atomu wodoru
- atomu węgla

Doświadczenie 53. H_2SO_4

Mocznik jako pochodna kwasu węglowego

Do próbki zawierającej ok. 1 g mocznika rozpuszczonego w 3 cm³ wody dodawaj kroplami stężony roztwór kwasu siarkowego(VI). Probówkę zamknij korkiem z rurką odprowadzającą i ogrzewaj. Koniec rurki umieść w próbce z wodą wapienną (schemat).

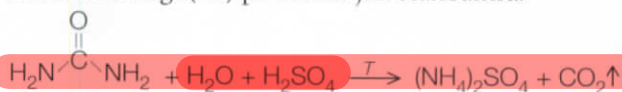
Co obserwujesz?



Z próbki wydzielą się gaz, który powoduje mętnienie wody wapiennej.

Gazem tym jest tlenek węgla(IV). Mocznik reaguje z wodą w środowisku kwasu siarkowego(VI) podobnie jak etanoamid:

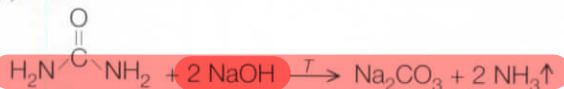
reakcja $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ z H_2O
w środowisku H_2SO_4



Wykonane doświadczenie potwierdza, że mocznik jest pochodną kwasu węglowego.

Mocznik reaguje też z wodorotlenkiem sodu. Produktem tej reakcji chemicznej jest m.in. amoniak:

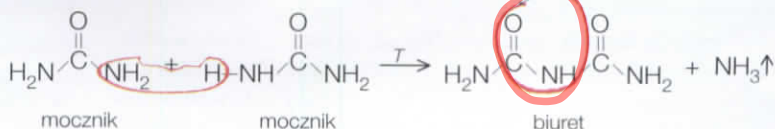
reakcja $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$
z NaOH



Cząsteczka mocznika nie zawiera grupy węglowodorowej, więc nie zawsze mocznik reaguje tak jak inne amidy.

Intensywnie ogrzewany mocznik ulega reakcji kondensacji, tworząc dimocznik, tzw. **biuret**:

Biuret
– dimer mocznika
(dimocznik).



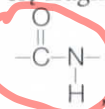
wiązanie peptydowe

Biuret zawiera wiązanie peptydowe, charakterystyczne dla białek (patrz 4.3, s. 270).

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 4.3, s. 270).

Poliamidy i poliuretany

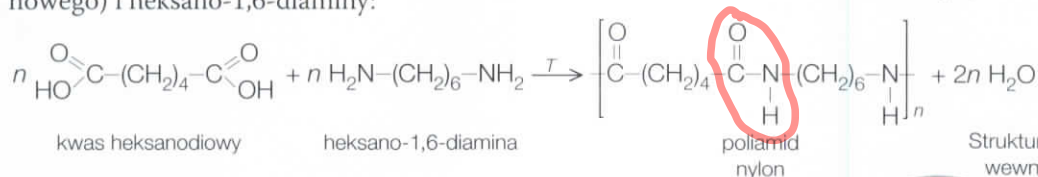
W reakcji kondensacji diamin z kwasami dikarboksylowymi powstają **poliamidy**. Częsteczki poliamidów zawierają regularnie powtarzający się fragment



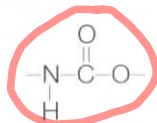
czyli **wiązanie peptydowe**.

Poliamidy służą przede wszystkim do produkcji włókien syntetycznych oraz tworzyw konstrukcyjnych.

Przykładem włókna poliamidowego jest **nylon** (fot. 104.). Otrzymuje się go w reakcji polikondensacji kwasu heksanodiowego (kwasu adypinowego) i heksano-1,6-diaminy:



Do tworzyw otrzymywanych w reakcji polikondensacji zalicza się także **poliuretany**, których cząsteczki zawierają tzw. **ugrupowanie uretanowe**:



Poliuretany to substancje o doskonałych właściwościach termoizolacyjnych i elastyczności, zależnej od ich budowy wewnętrznej (fot. 105.).



Fot. 104. Otrzymywanie nylonu na skalę laboratoryjną.



Struktura wewnętrzna pianki poliuretanowej.

Fot. 105. Poliuretany w formie spienionej to pianki poliuretanowe.

To jest interesujące

Naturalnym poliamidem, zbudowanym z reszt aminokwasów białkowych, jest **jedwab** (fot. 106.). To delikatne włókno o wytrzymałości większej od swoich syntetycznych odpowiedników. Nić jedwabna, choć niezwykle cienka, jest bardzo wytrzymała i sprężysta. Jedwab naturalny wykorzystuje się przede wszystkim do wyrobu tkanin, ale używano go też w medycynie do produkcji plastrów i nici chirurgicznych.

Fot. 106. Jedwab naturalny pozyskuje się z kokonu jedwabnika morwowego.



Zastosowania oraz występowanie amin i amidów

Aminy i amidy są wytwarzane w organizmach roślin oraz zwierząt. Zarówno te pochodzenia naturalnego, jak i wytwarzane syntetycznie, są wykorzystywane w przemyśle farmaceutycznym, kosmetycznym oraz do produkcji barwników i tworzyw sztucznych.

Przemysł farmaceutyczny

Składnikiem leków dożylnych, stosowanych m.in. w stanach wstrząsu zawałowego, jest **dopamina**. Z kolei **adrenalinę**, która silnie pobudza kurczliwość mięśnia sercowego, stosuje się w przypadku zatrzymania akcji serca. **Efedryna** zwęża naczynia krwionośne, dlatego stosuje się ją miejscowo w stanach zapalnych błon śluzowych.

Przemysł kosmetyczny

Mocznik jest składnikiem płynów po goleniu, użyty w niewielkich stężeniach przyspiesza gojenie się ran. Jego pochodna, **alantoina**, jako składnik np. kremów do rąk, wygładza skórę, zapobiega jej wysuszeniu i przyspiesza gojenie się ran podobnie jak mocznik.

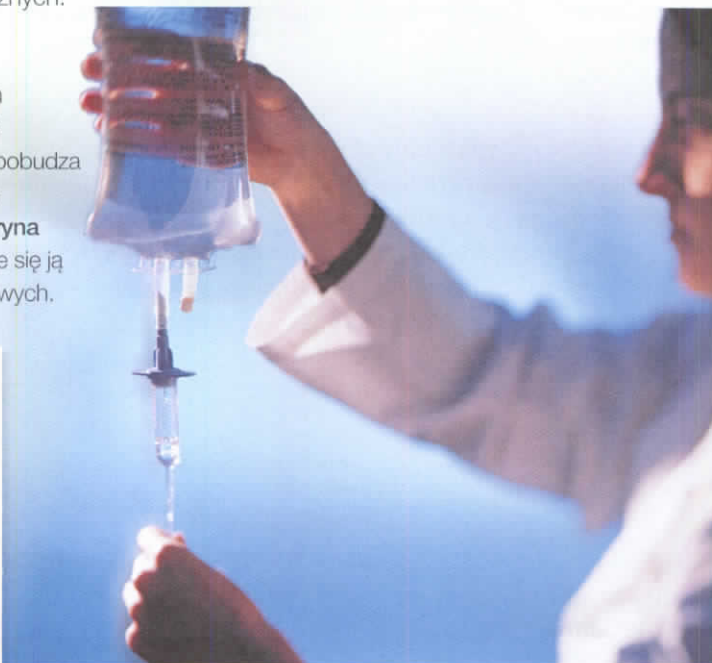


Przemysł chemiczny

Anilina jest substratem do produkcji barwników, m.in. oranżu metylowego. **Mocznik** stosuje się do produkcji tworzyw sztucznych, nazywanych żywicami mocznikowymi. Są one m.in. składnikami klejów do drewna. **Dimetyloformamid** jest używany jako rozpuszczalnik m.in. lakierów do mebli.

Gdzie występują aminy i amidy?

Źródłem wielu alkaloidów, głównie meskaliny – pochodnej fenyloetyloaminy – jest kaktus **Jazgrza Williamsa**. Inną pochodną fenyloetyloaminy jest efedryna wytwarzana przez rosnący w Azji krzew o nazwie *Ephedra* – **prześl chińska**. W **organizmie ludzi** występuje fenyloetyloamina – syntetyzowana w fazie zakochania, dopamina, która wpływa m.in. na stan napięcia mięśni i koordynację ruchową, oraz adrenalina, której stężenie zwiększa się, np. podczas stresu.



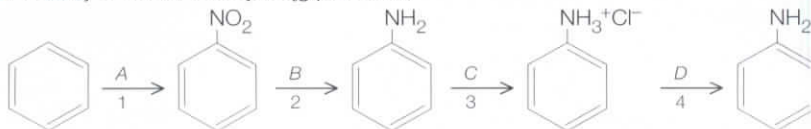
Rozwiąż zadania

- Wyjaśnij na przykładach dowolnych związków chemicznych, na czym polega różnica w rzędowości alkoholi i amin.
- Wykaż, pisząc odpowiednie równanie reakcji chemicznej, że roztwór wodny etyloaminy ma odczyn zasadowy.
- Napisz wzory strukturalne i podaj nazwy izomerów amin o wzorze sumarycznym C_3H_9N .
- Ułóż równania reakcji otrzymywania:
 - etanoaminy,
 - propano-1-aminy,
 - propano-2-aminy,
 wiedząc, że aminy alifatyczne można otrzymać w reakcji fluorowcopochodnych alkanów z amoniakiem.
- Napisz równania reakcji chemicznych przedstawionych na schematach. Zastosuj wzory półstrukturalne.
 - benzen $\xrightarrow{1}$ nitrobenzen $\xrightarrow{2}$ anilina $\xrightarrow{3}$ bromowodorek aniliny
 - etyloamina $\longrightarrow$ chlorowodorek etyloaminy
- Oblicz stężenie procentowe roztworu nasyconego aniliny w temperaturze 20°C , jeżeli jej rozpuszczalność w tej temperaturze wynosi 3,4 g.
- Do roztworu zawierającego 10 g aniliny wprowadzono 6 dm^3 chlorowodoru w warunkach normalnych. Określ odczyn powstałego roztworu.
- Oblicz objętość tlenku węgla(IV) i amoniaku (warunki normalne), które powstały w reakcjach chemicznych 120 g mocznika z kwasem siarkowym(VI) i wodorotlenkiem sodu.
- Poniższy schemat ilustruje ciąg przemian.

$$\text{toluen} \xrightarrow[1]{\text{HNO}_3} \text{X (izomer para)} \xrightarrow[2]{\text{Cl}_2, \text{światło}} \text{Y} \xrightarrow[3]{\text{H}^+} \text{Z}$$
 Podaj wzory strukturalne i nazwy systematyczne substancji oznaczonych na schemacie literami X–Z. Napisz odpowiednie równania reakcji chemicznych. Zastosuj wzory półstrukturalne.
- Aminy I-rzędowe reagują z kwasem azotowym(III) zgodnie z równaniem:

$$R\text{--CH}_2\text{NH}_2 + \text{HNO}_2 \longrightarrow R\text{--CH}_2\text{OH} + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$$
 Napisz równania reakcji chemicznych propyloaminy z HNO_2 . Oblicz, ile gramów aminy przereagowało, wiedząc, że w reakcji chemicznej wydzielili się 2 dm^3 azotu, odcierzonego w warunkach normalnych, a wydajność tej reakcji chemicznej wynosiła 80%.
- Oblicz stężenie molowe roztworu o objętości $0,5\text{ dm}^3$, który powstał przez rozpuszczenie 20 g mocznika w wodzie.
- Poniższy schemat ilustruje ciąg przemian.

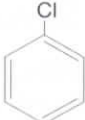
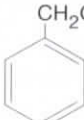
$$\text{A} \xrightarrow[1]{\text{Cl}_2, \text{światło}} \text{B} \xrightarrow[2]{\text{NaOH(aq)}} \text{CH}_3\text{--CH}_2\text{OH} \xrightarrow[3]{\text{CuO}} \text{C} \xrightarrow[4]{\text{Ag}_2\text{O}} \text{D} \xrightarrow[5]{\text{NH}_3} \text{E} \xrightarrow[6]{\text{T}} \text{CH}_3\text{CONH}_2$$
 - Podaj wzory półstrukturalne i nazwy systematyczne substancji oznaczonych literami A–E.
 - Napisz w formie cząsteczkowej równania zachodzących reakcji chemicznych (1–6). Zastosuj wzory półstrukturalne.
- Poniższy schemat ilustruje ciąg przemian.



- Podaj wzory i nazwy substancji oznaczonych literami A–D.
- Napisz równania reakcji chemicznych oznaczonych cyframi 1–4. Zastosuj wzory półstrukturalne.

Zamiast repetytorium

- Budowa i nazewnictwo jednofunkcyjnych pochodnych węglowodorów.

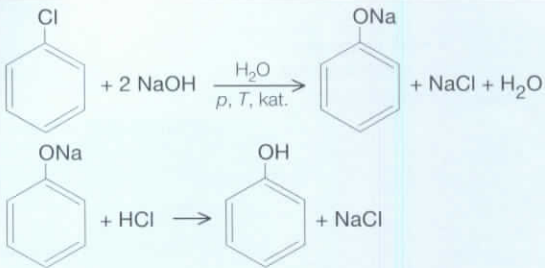
Nazwa grupy związków chemicznych – szereg homologiczny	Wzór ogólny – grupa funkcyjna	Charakterystyka szeregu homologicznego	Przykłady związków chemicznych
Fluorowcopochodne	$R-X$ grupa funkcyjna: $-X$ atom fluorowca	atom fluorowca związany z grupą węglowodorową (alifatyczną lub aromatyczną)	CH_3Cl chlorometan  chlorobenzen
Alkohole monohydroksylowe	$R-OH$ grupa funkcyjna: $-OH$ grupa hydroksylowa	alkohole łańcuchowe nasycone I-rzędowe III-rzędowe	CH_3OH metanol $CH_3-CH_2-\underset{\substack{ \\ CH_3}}{CH}-OH$ butan-2-ol $\underset{\substack{ \\ CH_3}}{CH_3}-\underset{\substack{ \\ CH_3}}{C}-OH$ 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	$\underset{\substack{ \\ OH}}{CH_2}-\underset{\substack{ \\ OH}}{CH_2}$ etano-1,2-diol $\underset{\substack{ \\ CH-OH}}{CH_2}-OH$ propano-1,2,3-triol
Fenole	$Ar-OH$ grupa funkcyjna: $-OH$ grupa hydroksylowa	grupa hydroksylowa $-OH$ związana z atomem węgla pierścienia aromatycznego	 benzenol
Aldehydy	$R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-H$ grupa funkcyjna: $-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-H$ grupa aldehydowa	grupa aldehydowa jest połączona z łańcuchem węglowym nasyconym lub nienasyconym	$H-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-H$ metanal $CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-H$ propanal

Nazwa grupy związków chemicznych – szereg homologiczny	Wzór ogólny – grupa funkcyjna	Charakterystyka szeregu homologicznego	Przykłady związków chemicznych
Ketony	$\begin{array}{c} R_1 \\ \diagdown \\ C=O \\ \diagup \\ R_2 \end{array}$ grupa funkcyjna: $\begin{array}{c} O \\ \\ -C- \end{array}$ grupa karbonylowa	grupa karbonylowa jest połączona z grupami węglowodorowymi (alifatycznymi lub aromatycznymi)	$\begin{array}{c} O \\ \\ CH_3-C-CH_3 \end{array}$ propanon
Kwasy karboksylowe	$\begin{array}{c} O \\ \\ R-C \\ \\ OH \end{array}$ grupa funkcyjna: $\begin{array}{c} O \\ \\ -C \\ \\ OH \end{array}$ grupa karboksylowa	grupa karboksylowa jest połączona z łańcuchem węglowym nasyconym lub nienasyconym	$\begin{array}{c} O \\ \\ CH_3-C \\ \\ OH \end{array}$ kwas etanowy $\begin{array}{c} O \\ \\ CH_2=CH-C \\ \\ OH \end{array}$ kwas propenowy
Estry	$\begin{array}{c} O \\ \\ R_1-C \\ \\ O-R_2 \end{array}$ grupa funkcyjna: $\begin{array}{c} O \\ \\ -C- \\ \\ O- \end{array}$ grupa estrowa	grupa estrowa łączy dwie grupy węglowodorowe (wyjątek: estry kwasu metanowego)	$\begin{array}{c} O \\ \\ CH_3-C \\ \\ O-CH_2-CH_3 \end{array}$ etanian etylu
Estry kwasów tłuszczowych – tłuszcze	$\begin{array}{c} CH_2-O-C=O \\ \\ CH-O-C=O \\ \\ CH_2-O-C=O \end{array}$ grupa funkcyjna: $\begin{array}{c} O \\ \\ -C- \\ \\ O- \end{array}$ grupa estrowa	estry glicerolu i kwasów karboksylowych najczęściej o długich łańcuchach węglowych (nazywanych kwasami tłuszczowymi)	$\begin{array}{c} CH_2-O-C=O \\ \\ CH-O-C=O \\ \\ CH_2-O-C=O \end{array}$ tristearnian glicerolu
Estry kwasów nieorganicznych	$R-O-NO_2$	estry kwasu azotowego(V)	$\begin{array}{c} CH_2-O-NO_2 \\ \\ CH-O-NO_2 \\ \\ CH_2-O-NO_2 \end{array}$ triazotan(V) glicerolu
Aminy	$R-NH_2$ grupa funkcyjna: $-NH_2$ grupa aminowa $\begin{array}{c} R_1 \\ \diagdown \\ NH \\ \diagup \\ R_2 \end{array}$	aminy I-rzędowe zawierają grupę funkcyjną $-NH_2$ aminy II-rzędowe zawierają grupę funkcyjną $\begin{array}{c} NH \\ \diagup \quad \diagdown \\ \quad \quad \quad \end{array}$	CH_3-NH_2 metyloamina $\begin{array}{c} NH_2 \\ \\ \text{benzenowy pierścień} \end{array}$ fenyloamina $\begin{array}{c} CH_3 \\ \diagdown \\ NH \\ \diagup \\ CH_3 \end{array}$ dimetyloamina

Nazwa grupy związków chemicznych – szereg homologiczny	Wzór ogólny – grupa funkcyjna	Charakterystyka szeregu homologicznego	Przykłady związków chemicznych
	$\begin{array}{c} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{array} \text{N}$	aminy III-rzędowe zawierają grupę funkcyjną >N	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \text{CH}_3 \\ \text{CH}_3 \end{array} \text{N}$ trimetyloamina
Amidy	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{N}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$ grupa funkcyjna: $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{NH}_2 \end{array}$ grupa amidowa	pochodne kwasów karboksylowych, które zawierają grupę amidową	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})\text{NH}_2$ 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 fluorowcem grupy –OH	$\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{światło}} \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$ $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{Cl} \quad \text{Cl} \end{array}$ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{HCl} \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$
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	$\text{R}-\text{C}(=\text{O})\text{H} + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{kat.}} \text{R}-\text{CH}_2-\text{OH}$ $2 \text{CH}_4 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{kat.}} 2 \text{CH}_3\text{OH}$ $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\rho, T]{\text{H}^+} \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ $\text{CH}_3-\text{CH}_2\text{Cl} + \text{KOH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{CH}_3-\text{CH}_2\text{OH} + \text{KCl}$ $\text{CO} + 2 \text{H}_2 \xrightarrow{\text{kat.}} \text{CH}_3\text{OH}$ $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \xrightarrow{\text{enzymy}} 2 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2 \text{CO}_2 \uparrow$ $\text{R}_1-\text{C}(=\text{O})\text{O}-\text{R}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons{\text{kat.}} \text{R}_1-\text{C}(=\text{O})\text{OH} + \text{R}_2-\text{OH}$

Nazwa grupy związków chemicznych	Metoda otrzymywania	Równanie reakcji otrzymywania
Alkohole	- utlenianie etylenu i hydroliza w środowisku kwasowym (otrzymywanie glikolu etylenowego) - zmydianie tłuszczów (otrzymywanie glicerolu)	$2 \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow[250^\circ\text{C}]{\text{Ag}} 2 \text{CH}_2-\underset{\text{O}}{\text{CH}_2}$ $\text{CH}_2-\underset{\text{O}}{\text{CH}_2} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{H}^+} 2 \text{CH}_2-\underset{\text{OH}}{\text{CH}_2}$ tłuszcz + zasada $\longrightarrow$ mydło + glicerol $(\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COO})_3\text{C}_3\text{H}_5 + 3 \text{NaOH} \xrightarrow{T} 3 \text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa} + \text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$
Fenole	hydroliza fluorowco-pochodnych węglowodorów aromatycznych	 fenole oraz ich homologi powstają podczas suchej destylacji węgla i są wydrebniane ze smoły węglowej
Aldehydy	- utlenianie alkoholi I-rzędowych - addycja wody do etynu (otrzymywanie etanal) - katalityczne utlenianie etenu (otrzymywanie etanal)	z zastosowaniem łagodnych utleniaczy $2 \text{CH}_3\text{OH} + \text{O}_2 \xrightarrow[\text{T}, \text{kat.}]{T = 600^\circ\text{C}} 2 \text{HCHO} + 2 \text{H}_2\text{O}$ $\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{HgSO}_4, \text{H}_2\text{SO}_4} \text{CH}_3\text{CHO}$ $2 \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow[\text{T}, \text{p}]{\text{kat.}} 2 \text{CH}_3\text{CHO}$
Ketony	- utlenianie alkoholi II-rzędowych - addycja wody do alkinów	reakcja z zastosowaniem łagodnych utleniaczy $\text{CH}_3-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_3 \xrightarrow[\text{H}_2\text{O}]{[\text{O}]} \text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{CH}_3$ $\text{HC}\equiv\text{C}-\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{kat.}} \text{H}-\text{C}=\text{C} \begin{matrix} \text{CH}_3 \\ \text{OH} \end{matrix} \rightleftharpoons \text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{ }}{\text{C}}}-\text{CH}_3$
Kwasy karboksylowe	- utlenianie alkoholi I-rzędowych - katalityczne utlenianie węglowodorów - utlenianie aldehydów	reakcja z zastosowaniem mocnych utleniaczy, np. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $\text{R}-\text{CH}_2\text{OH} + 2 [\text{O}] \xrightarrow{\text{kat.}} \text{R}-\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$ $2 \text{CH}_4 + 3 \text{O}_2 \xrightarrow{\text{kat.}} 2 \text{HCOOH} + 2 \text{H}_2\text{O}$ próby Tollensa i Trommera $\text{HCHO} + \text{Ag}_2\text{O} \longrightarrow \text{HCOOH} + 2 \text{Ag}\downarrow$ $\text{HCHO} + 2 \text{Cu}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{HCOOH} + \text{Cu}_2\text{O}\downarrow + 2 \text{H}_2\text{O}$

Nazwa grupy związków chemicznych	Metoda otrzymywania	Równanie reakcji otrzymywania
Kwasy karboksylowe	• synteza z CO i węglowodorów nienasyconych • hydroliza estrów i soli • działanie H_2SO_4 na HCOONa	metoda przemysłowego otrzymywania niższych kwasów karboksylowych $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{kat.}} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{COOH}$ $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH} + \text{NaOH}$ otrzymywanie kwasu metanowego $\text{CO} + \text{NaOH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{HCOONa}$ $2 \text{HCOONa} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow 2 \text{HCOOH} + \text{Na}_2\text{SO}_4$
Estry	• reakcja kwasów z alkoholami lub fenolami	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})\text{OH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \xrightleftharpoons{\text{stęż. H}_2\text{SO}_4} \text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})\text{O}-\text{C}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$ $\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{OH} \\ \\ \text{CH}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2-\text{OH} \end{array} + 3 \text{HO}-\text{NO}_2 \xrightarrow{\text{stęż. H}_2\text{SO}_4} \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{O}-\text{NO}_2 \\ \\ \text{CH}-\text{O}-\text{NO}_2 \\ \\ \text{CH}_2-\text{O}-\text{NO}_2 \end{array} + 3 \text{H}_2\text{O}$ w reakcji kwasów tłuszczowych z glicerolem powstają tłuszcze
Aminy	• reakcja fluorowcopochodnych węglowodorów z amoniakiem • redukcja związków nitrowych	$\text{CH}_3\text{Br} + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{CH}_3\text{NH}_3^+\text{Br}^-$ $\text{CH}_3\text{NH}_3^+\text{Br}^- + \text{NaOH} \longrightarrow \text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NaBr}$ stosuje się głównie do otrzymywania amin aromatycznych $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 + 3 \text{H}_2 \xrightarrow{\text{kat.}} \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
Amidy	• rozkład termiczny soli amonowych kwasów karboksylowych	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{CH}_3\text{COONH}_4$ $\text{CH}_3\text{COONH}_4 \xrightarrow{T} \text{CH}_3\text{CONH}_2 + \text{H}_2\text{O}$

• Właściwości jednofunkcyjnych pochodnych węglowodorów

Nazwa grupy związków chemicznych	Równanie charakterystycznych reakcji chemicznych
Fluorowcopochodne	• reakcja substytucji, której produktami są: - alkohole $\text{CH}_3-\text{CH}_2\text{Cl} + \text{KOH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{CH}_3-\text{CH}_2\text{OH} + \text{KCl}$ - aminy $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{Cl} + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{NH}_2 + \text{HCl}$ • reakcja z sodem – reakcja Würtza $2 \text{CH}_3\text{Cl} + 2 \text{Na} \longrightarrow \text{CH}_3-\text{CH}_3 + 2 \text{NaCl}$

Nazwa grupy związków chemicznych	Równanie charakterystycznych reakcji chemicznych
Fluorowcopochodne	- reakcja eliminacji $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{Cl} + \text{KOH} \xrightarrow{\text{alkohol}} \text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ - polimeryzacja $n \text{CH}_2=\text{CHCl} \longrightarrow \left[\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{--CH} \\ \\ \text{Cl} \end{array} \right]_n$
Alkohole monohydroksylowe	- reakcje z metalami aktywnymi chemicznie (K, Na, Mg) – rozerwanie wiązania RO–H $2 \text{CH}_3\text{--CH}_2\text{OH} + 2 \text{Na} \longrightarrow 2 \text{CH}_3\text{--CH}_2\text{ONa} + \text{H}_2\uparrow$ - reakcja estryfikacji $\text{CH}_3\text{--C}(=\text{O})\text{OH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \xrightleftharpoons{\text{stęż. H}_2\text{SO}_4} \text{CH}_3\text{--C}(=\text{O})\text{O--C}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$ - reakcje z fluorowcowodorami $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{OH} + \text{HCl} \longrightarrow \text{CH}_3\text{--CH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$ - eliminacja wody (dehydratacja) – rozerwanie wiązania R–OH $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H--C--C--H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{OH} \end{array} \xrightarrow[\text{T}]{\text{Al}_2\text{O}_3} \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} + \text{H}_2\text{O}$
Alkohole polihydroksylowe	- reakcje z metalami aktywnymi chemicznie (K, Na, Mg) $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{--OH} \\ \\ 2 \text{CH--OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{--OH} \end{array} + 6 \text{Na} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{--ONa} \\ \\ 2 \text{CH--ONa} \\ \\ \text{CH}_2\text{--ONa} \end{array} + 3 \text{H}_2\uparrow$ - reakcja z Cu(OH)₂ – odróżnianie alkoholi polihydroksylowych od monohydroksylowych $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{--OH} \\ \\ \text{CH--OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{--OH} \end{array} + \text{Cu(OH)}_2 \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{--O} \quad \text{H} \\ \quad \diagup \\ \text{CH--O} \quad \text{Cu} \quad \text{OH} \\ \quad \diagdown \quad \diagup \\ \text{CH}_3\text{OH} \quad \text{H} \quad \text{OH} \end{array}$
Fenole	- dysocjacja jonowa – reakcje wynikają z obecności grupy –OH $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} \xrightleftharpoons{\text{H}_2\text{O}} \text{C}_6\text{H}_5\text{O}^- + \text{H}^+$ - reakcje z mocnymi zasadami i metalami aktywnymi $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{ONa} + \text{H}_2\text{O}$

Nazwa grupy związków chemicznych	Równanie charakterystycznych reakcji chemicznych
Fenole	$2 \text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + 2 \text{Na} \longrightarrow 2 \text{C}_6\text{H}_5\text{ONa} + \text{H}_2\uparrow$ reakcje charakterystyczne dla związków aromatycznych: fluorowcowanie, nitrowanie, sulfonowanie – reakcje wynikają z obecności pierścienia aromatycznego
Aldehydy	- reakcja redukcji z H_2 $\text{H}-\text{C}\begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H} \end{smallmatrix} + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{kat.}} \text{CH}_3-\text{OH}$ - utlenianie w próbie Tollensa – wykazują właściwości redukujące $2 [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{HCHO} + 3 \text{OH}^- \longrightarrow 2 \text{Ag}\downarrow + \text{HCOO}^- + 4 \text{NH}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$ $\text{HCHO} + \text{Ag}_2\text{O} \longrightarrow \text{HCOOH} + 2 \text{Ag}\downarrow$ - utlenianie w próbie Trommera $\text{HCHO} + 2 \text{Cu}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{HCOOH} + \text{Cu}_2\text{O}\downarrow + 2 \text{H}_2\text{O}$ - polimeryzacja - otrzymywanie poliformaldehydu $n \text{HCHO} \longrightarrow [\text{CH}_2-\text{O}]_n$ - otrzymywanie żywicy fenolowo-formaldehydowej $n \left[\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{H} + \text{CH}_2=\text{O} + \text{H}-\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH}) \right] \longrightarrow \left[\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH}) \right]_n + n \text{H}_2\text{O}$
Ketony	- reakcja redukcji z H_2 $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_3-\overset{\text{OH}}{\underset{ }{\text{CH}}}-\text{CH}_3$ - nie wykazują właściwości redukujących, nie ulegają reakcjom Tollensa i Trommera
Kwasy karboksylowe	- dysocjacja jonowa – ulegają tylko kwasy rozpuszczalne w wodzie $\text{HCOOH} \xrightleftharpoons{\text{H}_2\text{O}} \text{HCOO}^- + \text{H}^+$ - reakcje z metalami aktywnymi chemicznie, tlenkami metali oraz wodorotlenkami metali – sole sodowe i potasowe wyższych kwasów karboksylowych to mydła $2 \text{CH}_3\text{COOH} + \text{Mg} \longrightarrow (\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Mg} + \text{H}_2\uparrow$ $2 \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CuO} \longrightarrow (\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$ - tworzenie estrów $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} + \text{CH}_3-\text{CH}_2\text{OH} \xrightleftharpoons{\text{stęż. H}_2\text{SO}_4} \text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Nazwa grupy związków chemicznych	Równanie charakterystycznych reakcji chemicznych
Kwasy karboksylowe	- reakcja redukcji $R-COOH \xrightarrow{[H]} R-CHO \xrightarrow{[H]} R-CH_2OH$ [H] – reduktor - kwasy nienasycone ulegają reakcjom addycji (np. H_2)
Estry	- hydroliza kwasowa $CH_3COOC_2H_5 + H_2O \xrightleftharpoons{H^+} CH_3COOH + C_2H_5OH$ - hydroliza zasadowa – hydrolizę tłuszczu w środowisku zasadowym nazywa się zmydleniem $CH_3COOC_2H_5 + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + C_2H_5OH$
Aminy	- tworzenie soli (np. w reakcji z HCl) $\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} + \text{H}^+ + \text{Cl}^- \longrightarrow \left[\begin{array}{c} \text{NH}_3^+ \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right] + \text{Cl}^-$ - reakcja z wodą $\begin{array}{c} R \\ \\ \text{H}-\text{N}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \left[\begin{array}{c} R \\ \\ \text{H}-\text{N}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array} \right]^+ + \text{OH}^-$ - aminy aromatyczne, np. anilina, ulegają fluorowcowaniu i nitrowaniu $\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} + 3 \text{Br}_2 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{Br}-\text{C}_6\text{H}_2-\text{Br} \\ \\ \text{Br} \end{array} + 3 \text{HBr}$
Amidy	- reakcja z wodą w środowisku H_2SO_4 $2 \text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})\text{NH}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{T} 2 \text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})\text{OH} + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - reakcja z wodorotlenkiem sodu $\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})\text{NH}_2 + \text{NaOH} \xrightarrow{T} \text{CH}_3\text{COONa} + \text{NH}_3 \uparrow$

Z zakresu podstawowego

Fermentacja octowa to proces polegający na utlenieniu alkoholu do kwasu etanowego zgodnie z równaniem reakcji chemicznej:



Fermentacja octowa zachodzi pod wpływem enzymów wytwarzanych przez bakterie kwasu octowego.

Roztwór kwasu propanowego (E 280) jest stosowany do utrwalania pieczywa paczkowanego i krojonego oraz wyrobów ciastkarskich. Dodaje się go także do pasz zwierzęcych jako środek zapobiegający powstawaniu pleśni.

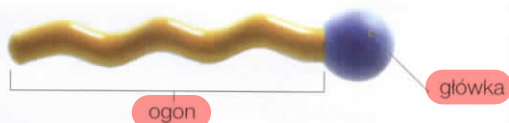
Kwas benzoesowy (E 210) jest substancją krystaliczną. Występuje w owocach jagodowych oraz w cynamonie. Ze względu na jego słabą rozpuszczalność w wodzie częściej stosuje się **benzoosan sodu** (E 211), który hamuje rozwój drożdży i pleśni. Substancje te dodaje się głównie do marynat, dżemów i napojów orzeźwiających. Spożywanie produktów konserwowanych E 210 czy E 211 może spowodować drapanie w gardle, podrażnienie nabłonka żołądka oraz zakwaszenie organizmu.

Roztwór kwasu etanowego (E 260), nazywany powszechnie octem, stosuje się jako substancję konserwującą i regulującą kwasowość. Do celów spożywczych używa się wyłącznie kwasu etanowego otrzymywanego w procesie fermentacji octowej. Skutecznie chroni on żywność przed działaniem drożdży i bakterii.

Reakcja zmydlania tłuszczów to reakcja tłuszczu ze stężonym roztworem wodorotlenku sodu lub potasu, w której wyniku powstaje mydło, np.:



Substancje powierzchniowo czynne (surfaktanty, detergenty) zmniejszają napięcie powierzchniowe cieczy. Cząsteczka substancji powierzchniowo czynnej składa się z części hydrofilowej i części hydrofobowej:

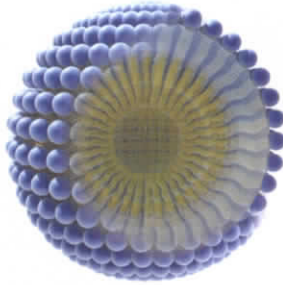


Najbardziej znaną substancją powierzchniowo czynną jest mydło.

Z zakresu podstawowego

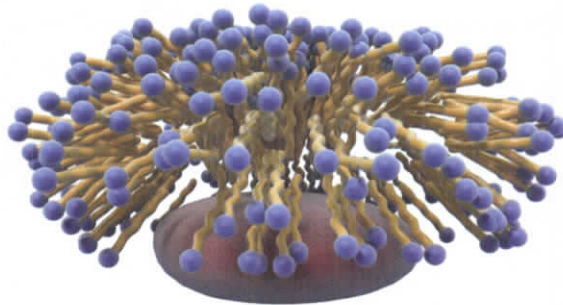
Mechanizm usuwania brudu:

- Napowietrzanie wody z dodatkiem mydła powoduje, że jony mydła grupują się, tworząc micelle. Wewnątrz miceli są zamknięte pęcherzyki powietrza – powstaje **piana**.



We wnętrzu miceli jest zamknięty pęcherzyk powietrza.

- Podobnie zachowują się jony mydła podczas usuwania brudu. Łańcuchy węglowodorowe jonu wnikają w cząsteczkę tłuszczu, a grupy polarne są skierowane w kierunku wody.



Hydrofobowe ogony jonów mydła wnikają w cząsteczkę tłuszczu.

- Po mechanicznym oderwaniu brudu, spowodowanym m.in. przez tarcie, jony mydła tworzą z tłuszczem trwałą **emulsję**, którą łatwo spłukuje się wodą.

Twardość nadają wodzie obecne w niej jony Ca^{2+} i Mg^{2+} . Z jonami wyższych kwasów karboksylowych tworzą one trudno rozpuszczalne sole, które wytrącają się w postaci osadu.

Termoplasty – tworzywa sztuczne, które w podwyższonej temperaturze miękną i topią się, a po ochłodzeniu twardnieją. Takie przemiany mogą zachodzić kilkakrotnie, np. polietylen, polipropylen, polistyren, poli(chlorek winylu).

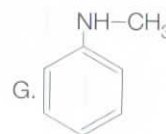
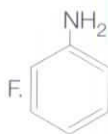
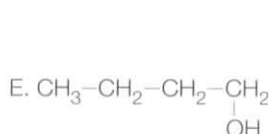
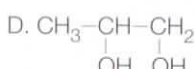
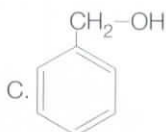
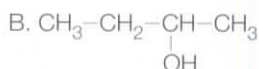
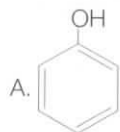
Duroplasty – tworzywa sztuczne, które raz ukształtowane nie mogą być ponownie topione. Ukształtowany duroplast można obrabiać metodami mechanicznymi, ale nie przez ogrzewanie, np. poliuretany oraz silikon.

Zadania maturalne



Informacja do zadań 1.–8.

Poniżej przedstawiono wzory półstrukturalne lub uproszczone alkoholi, fenoli i amin.



Zadanie 1.

Wskaż wzory związków chemicznych (A–G), które nie są alkoholami.

Zadanie 2.

Podaj nazwy systematyczne związków chemicznych oznaczonych literami C, E i G.

C. E. G.

Zadanie 3.

Wskaż wzór związku chemicznego, który jest alkoholem II-rzędowym oraz wzór związku chemicznego będącego aminą II-rzędową.

alkohol II-rzędowy: amina II-rzędowa:

Zadanie 4.

Wskaż 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, dlaczego możliwa jest ich identyfikacja.

więcej zadań
w Maturalnych Kartach Pracy

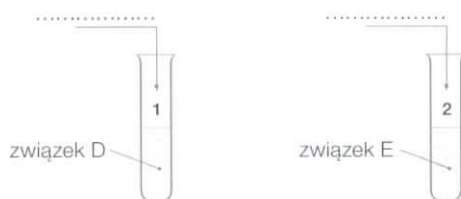
Zadanie 7.

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) Uzupełnij schemat doświadczenia chemicznego, wpisując 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.

Probówka 1.
Probówka 2.

Zadanie 8.

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 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, reakcję redukcji wodorem. Wyniki z 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

Zadania maturalne



Na podstawie informacji umieszczonych w tabeli zidentyfikuj związki chemiczne znajdujące się w probówkach (1–3). Wpisz ich wzory półstrukturalne.

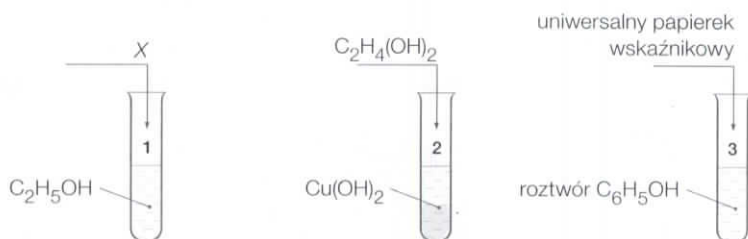
Probówka 1.

Probówka 2.

Probówka 3.

Zadanie 10.

Przeprowadzono doświadczenia chemiczne przedstawione na schemacie.



a) Uzupełnij schemat doświadczenia, podając wzór substancji X oraz formułując obserwacje w tabeli.

Nazwa lub symbol chemiczny substancji X

Probówka	Obserwacje
1.	Wydziela się bezbarwny, palny gaz.
2.	
3.	

b) Napisz równanie reakcji chemicznej zachodzącej w probówce 1.

.....

Zadanie 11.

Poniżej podano wzory półstrukturalne wybranych związków organicznych (A–D) zawierających trzy atomy węgla w cząsteczce.



a) Napisz ich nazwy systematyczne.

A.

C.

B.

D.

b) Wskaż pary związków chemicznych będących izomerami. Określ rodzaj izomerii występujący w tych związkach chemicznych.

Pary izomerów:

Nazwa izomerii:

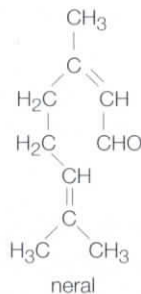
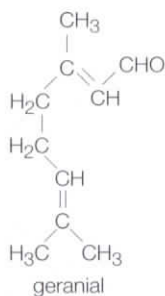
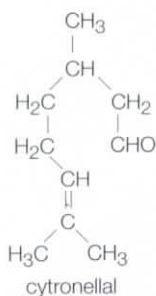
więcej zadań
w MATURALNYCH KARTACH PRACY



Informacja do zadania 12.



Najważniejszym składnikiem biologicznie czynnym melisy lekarskiej jest olejek melisowy występujący w liściach. Zawartość olejku w świeżym ziele wynosi maksymalnie 0,1%, zaś w ziele wysuszonym do 0,3%. Mieszanek ziołowe zawierające olejek melisowy są stosowane w stanach ogólnego pobudzenia nerwowego, zaburzeniach rytmu serca oraz zmianach ciśnienia krwi. Olejek melisowy jest stosowany również w kremach jako składnik kojący i łagodzący. Historia badań nad składem tego olejku sięga początku XX w. Zidentyfikowano wówczas jego główne składniki: cytronellal o ziołowym zapachu z zieloną, cytrusową nutą oraz cytral o intensywnym, cytrynowym zapachu, będący mieszaniną geranialu i neralu. Wzory uproszczone tych związków chemicznych zostały przedstawione poniżej.



Zadanie 12.

Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wpisz literę P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub literę F, jeśli jest fałszywe.

a) Cechy budowy cząsteczek geranialu i neralu.

1.	Geranial i neral to izomery, które różnią się wzorami strukturalnymi, ale mają taki sam wzór sumaryczny.	
2.	W cząsteczkach obu związków chemicznych pięciu atomom węgla można przypisać hybrydyzację sp^2 , a pięciu atomom węgla – hybrydyzację sp^3 .	
3.	W cząsteczkach obu związków chemicznych występują po dwa wiązania chemiczne typu π .	

b) Właściwości chemiczne cytronellalu.

1.	Cytronellal jest związkiem nienasyconym, więc odbarwia wodę bromową.	
2.	W reakcji tego związku chemicznego z amoniakalnym roztworem tlenku srebra(I) na ściankach probówki osadza się metaliczne srebro.	
3.	W reakcji redukcji wodorem cytronellalu powstaje odpowiedni kwas karboksylowy.	
4.	Cytronellal reaguje z kwasami karboksylowymi, tworząc estry.	

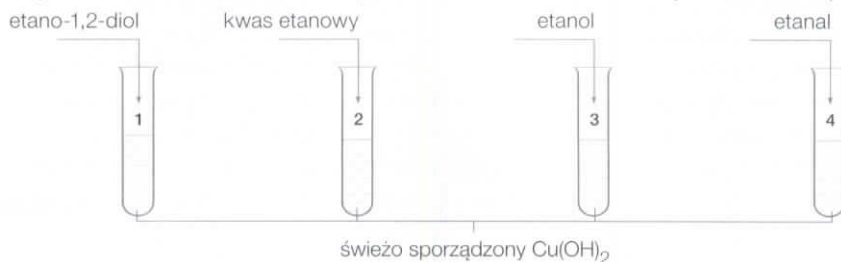
Zadania maturalne



Informacja do zadań 13.–15.

W celu porównania właściwości etanolu, etano-1,2-diolu, etanal i kwasu etanowego przeprowadzono dwuetapowe doświadczenie chemiczne.

Etap I. Doświadczenie chemiczne przedstawione na schemacie wykonano w temperaturze pokojowej.



Zmiany zaobserwowano tylko w probówce 1.

Etap II. Zawartość każdej probówki ogrzano. Stwierdzono, że w jednej z czterech probówek powstał ceglastoczerwony osad, a w dwóch czarny. W jednej z probówek powstał roztwór o niebieskiej barwie.

Zadanie 13.

- a) Przeanalizuj przebieg doświadczenia chemicznego i wyjaśnij, porównując budowę cząsteczek związków chemicznych, które znajdowały się w probówkach 1–4, dlaczego w pierwszym etapie doświadczenia, tylko w probówce 1. zaszła reakcja chemiczna.

.....

.....

.....

- b) Jakie zmiany zaobserwowano w probówce 1. w etapie I doświadczenia chemicznego?

.....

Zadanie 14.

Wpisz numery probówek, w których w drugim etapie doświadczenia:

- a) powstał osad o ceglastoczerwonej barwie,
- b) powstał roztwór o niebieskiej barwie,
- c) powstał osad o czarnej barwie

Zadanie 15.

Napisz równania reakcji chemicznych zachodzących we wskazanych przez Ciebie probówkach:

Numer probówki	Równanie reakcji chemicznej

To było na maturze!

Egzamin maturalny z chemii
Poziom rozszerzony

Źródło: CKE (PR) 2012

Zadanie 34. (2 pkt)

Etanol w reakcji z sodem wykazuje właściwości kwasowe. W wyniku tej reakcji powstaje etanolan sodu o wzorze $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}^-\text{Na}^+$, który jest związkiem o charakterze soli.

Mając do dyspozycji etanolan sodu, zaplanuj doświadczenie, w którym, wykonując jedną próbę, wykażesz, że etanol ma bardzo słabe właściwości kwasowe.

a) Uzupełnij poniższy schemat doświadczenia, wpisując nazwy potrzebnych odczynników wybranych spośród następujących:

- etanol
- woda destylowana
- wodny roztwór wodorotlenku sodu
- wodny roztwór oranżu metylowego
- etanolowy roztwór fenoloftaleiny

wybrane odczynniki:

.....
.....

kryształy
etanolanu sodu

b) Opisz możliwe do zaobserwowania w czasie doświadczenia zmiany potwierdzające fakt, że właściwości kwasowe etanolu są bardzo słabe.

.....
.....

Źródło: CKE (PR) 2012

Zadanie 32. (2 pkt)

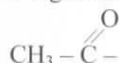
Uzupełnij poniższą charakterystykę glicerolu (propano-1,2,3-triolu), wybierając jedno określenie spośród podanych w każdym nawiasie. Wybrane określenia podkreśl.

1. W warunkach panujących w laboratorium glicerol jest cieczą, która (miesza się / nie miesza się) z wodą i z innymi rozpuszczalnikami polarnymi, a z rozpuszczalnikami niepolarnymi, np. z benzenem, może tworzyć (emulsje / zawiesiny).
2. Ponieważ atomom węgla i tlenu w cząsteczkach glicerolu można przypisać hybrydyzację sp^3 , cząsteczki glicerolu (są / nie są) płaskie.

Źródło: CKE (PR) 2010

Zadanie 27. (3 pkt)

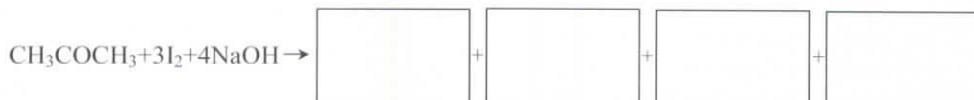
Reakcją pozwalającą wykryć w związkach organicznych grupę



jest próba jodoformowa. Polega ona na reakcji związku organicznego z jodem w obecności NaOH w podwyższonej temperaturze. Po oziębieniu mieszaniny poreakcyjnej do temperatury pokojowej powstaje żółty, krystaliczny osad o charakterystycznym zapachu.

Jeżeli badanym związkiem jest propanon (aceton), produktami próby jodoformowej są: trijodometan, etanian sodu (octan sodu), jodek sodu i woda.

a) Korzystając z powyższych informacji, uzupełnij schemat, tak aby przedstawiał równanie opisanej reakcji w formie cząsteczkowej (wpisz wzory produktów reakcji i odpowiednie współczynniki stechiometryczne).



b) Napisz wzór tego produktu przemiany, który tworzy żółty, krystaliczny osad o charakterystycznym zapachu.

.....

c) Napisz, czy próba jodoformowa pozwala na odróżnienie propanonu (acetonu) od etanal, i uzasadnij swoje stanowisko.

.....

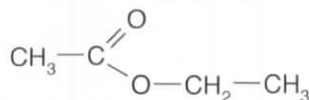
.....

.....

Źródło: CKE (PR) 2009

Zadanie 27. (2 pkt)

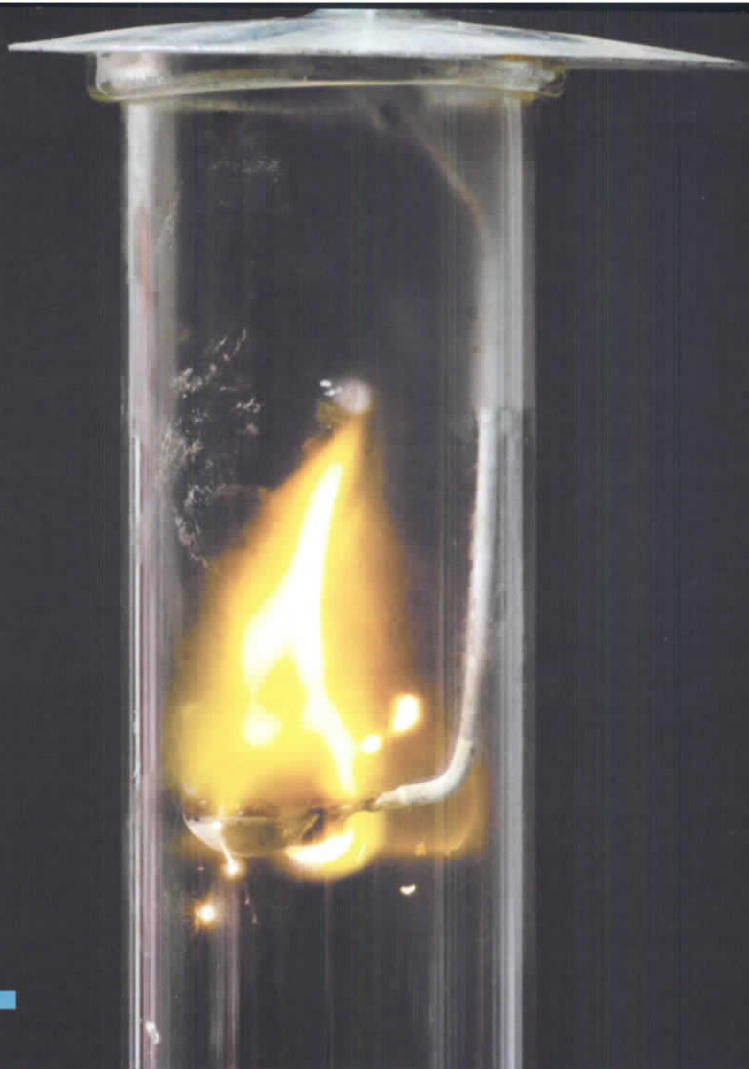
Poniżej przedstawiono wzór półstrukturalny (grupowy) etanianu (octanu) etylu.



Zapisz wzory półstrukturalne (grupowe) jednego estru i jednego kwasu będących izomerami octanu etylu.

Wzór estru	Wzór kwasu

4



Wielofunkcyjne pochodne węglowodorów

4.1. Izomeria optyczna

4.2. Hydroksykwasy

4.3. Aminokwasy

4.4. Białka

4.5. Sacharydy (cukry)

4.5.1. Monosacharydy – cukry proste

4.5.2. Disacharydy – dwucukry

4.5.3. Polisacharydy – wielocukry

To było w gimnazjum

- Określanie składu produktów spożywczych.
- Określanie składu pierwiastkowego oraz właściwości białek i sacharydów.
- Wykrywanie białek oraz sacharydów w produktach spożywczych.
- Stosowanie wzorów sumarycznych sacharydów.

Do izomerii

4.1. Izomeria optyczna

Izomeria optyczna to typ izomerii konfiguracyjnej, w której kolejność, jak i sposób powiązania atomów w cząsteczce są jednakowe, a różne jest przestrzenne usytuowanie fragmentów cząsteczek względem siebie.

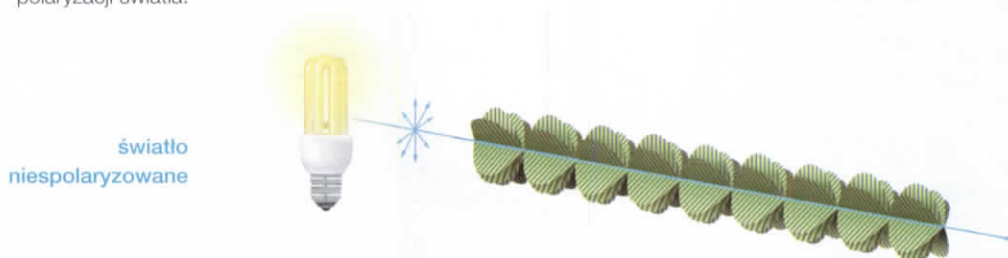
■ Czynność optyczna cząsteczek

Izomeria optyczna

(zaliczana do stereoizomerii) to zjawisko występowania związku chemicznego czynnego optycznie w postaci stereoizomerów różniących się kierunkiem lub wielkością kąta skręcania płaszczyzny polaryzacji światła.

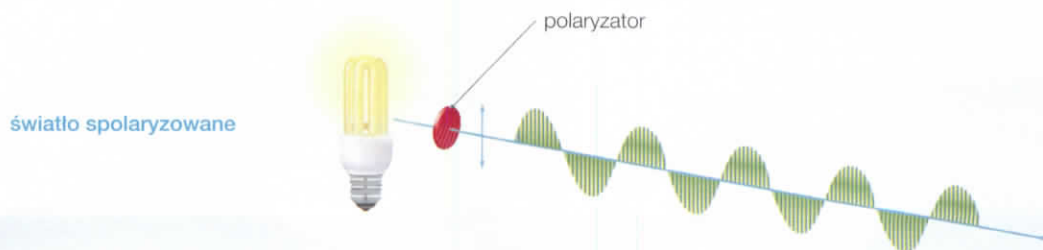
Niektóre związki chemiczne mają zdolność **skręcania płaszczyzny światła spolaryzowanego**, tzn. odchylania go o pewien kąt w prawo lub w lewo. Właściwość ta nosi nazwę **czynności optycznej**, a takie związki chemiczne nazywa się **optycznie czynnymi**.

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:



światło
niespolaryzowane

Po przejściu wiązki światła przez **polaryzator** otrzymuje się **światło spolaryzowane**, tzn. takie, w którym drgania fal zachodzą w jednej płaszczyźnie:

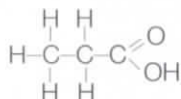


światło spolaryzowane

Czynność optyczną, czyli zdolność do skręcania płaszczyzny światła spolaryzowanego, wykazują niektóre substancje. Należą do nich krystaliczne związki nieorganiczne, np. kwarc, oraz niektóre związki organiczne, np. sacharydy, występujące w postaci kryształów, roztworów wodnych i par. Oznacza to, że **czynność optyczna związku chemicznego wynika z budowy cząsteczek związków chemicznych**, a nie sieci krystalicznych.

Asymetryczny atom węgla

Izomeria optyczna związku chemicznego jest związana z różnym ułożeniem atomów w przestrzeni wokół **asymetrycznego atomu węgla**. Jest to atom węgla o hybrydyzacji sp^3 związany z czterema różnymi podstawnikami. Taki atom oznacza się gwiazdką C^* . Na przykład cząsteczka kwasu propanowego nie ma asymetrycznego atomu węgla, ponieważ żaden atom węgla w cząsteczce nie jest połączony z czterema różnymi podstawnikami:



Natomiast w cząsteczce pentan-2-olu występuje asymetryczny atom węgla, czyli atom węgla połączony z czterema różnymi podstawnikami:



Asymetryczny atom węgla

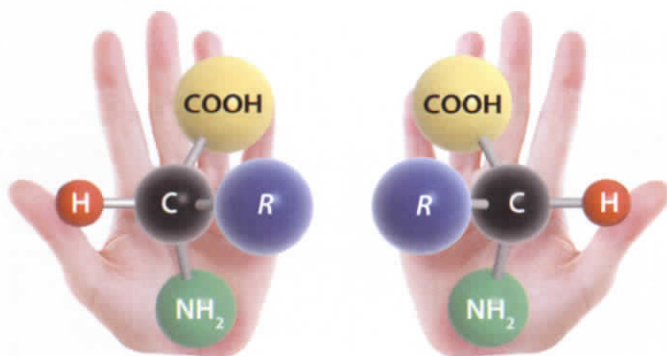
– atom węgla połączony z czterema różnymi podstawnikami w cząsteczce.

Chiralność

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. 27.).

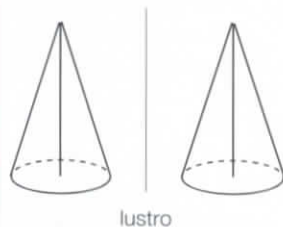
Chiralne są także cząsteczki niektórych związków chemicznych, które są względem siebie lustrzanymi odbiciami:



Chiralne związki chemiczne są nazywane **enancjomerami** [gr. *enantio* ‘przeciwny’]. Przyczyną chiralności związku chemicznego jest obecność asymetrycznego atomu węgla w jego cząsteczce.

Chiralność

– właściwość przedmiotu polegająca na tym, że nie nakłada się on ze swoim odbiciem lustrzanym.



Rys. 27. Przykład przedmiotu achiralnego.

Każdej cząsteczce chiralnej odpowiada druga, **przestrzennie nieidentyczna** z nią cząsteczka, będąca jej **lustrzanym odbiciem**.

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 Źródło światła

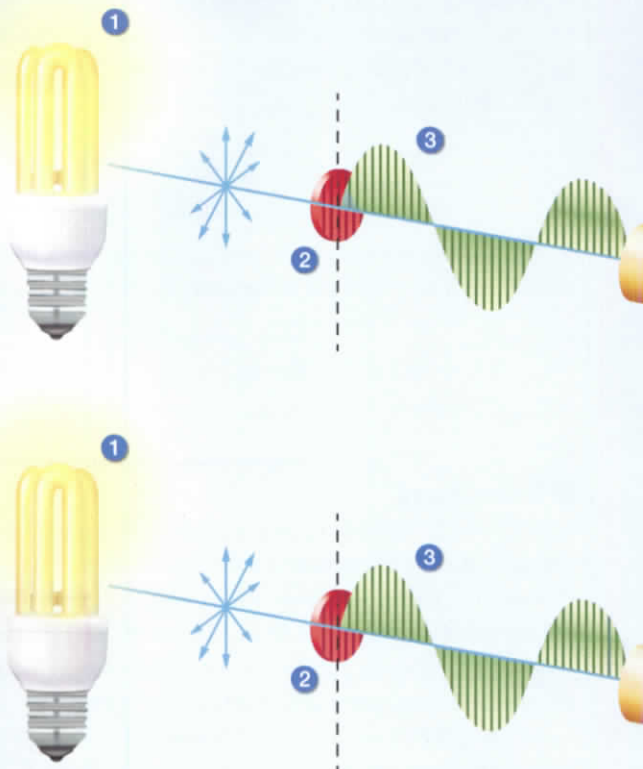
Światło pochodzące np. od żarówki jest niespolaryzowane.

2 Polaryzator

Po przejściu wiązki światła przez polaryzator otrzymuje się światło spolaryzowane. Najczęściej jako polaryzator stosuje się polaroid. Jest to folia z tworzywa sztucznego rozciągana podczas produkcji w jednym kierunku, a następnie naklejana na szkło.

3 Światło spolaryzowane

Drgania wiązek światła spolaryzowanego zachodzą w jednej płaszczyźnie, np. pionowej.



Substancja czynna optycznie

Światło spolaryzowane przechodzące przez roztwór fruktozy ma różne barwy, w zależności od kąta skręcania płaszczyzny.



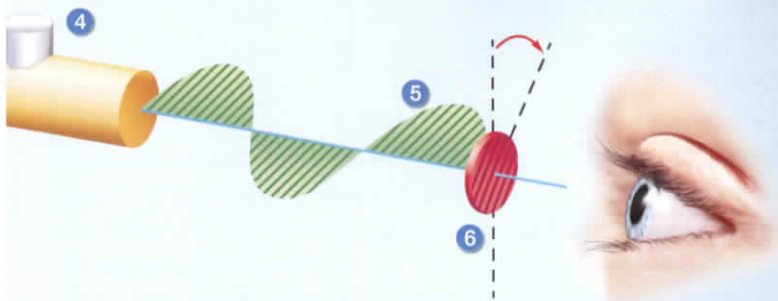
Barwa światła spolaryzowanego odchylonego o kąt 75° .



Barwa światła spolaryzowanego odchylonego o kąt 50° .

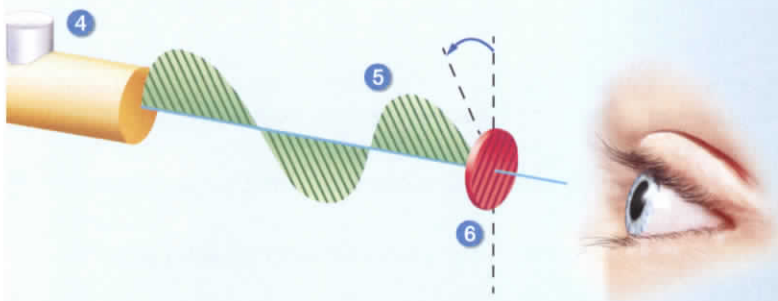
Jak działają szkła polaryzacyjne?

Zaletą wielu okularów przeciwsłonecznych, docenianą szczególnie przez kierowców, są ich właściwości polaryzujące. Oznacza to, że do oka dociera tylko światło o określonej płaszczyźnie polaryzacji – światło pochodzące tylko bezpośrednio ze źródła. Wszelkie odbicia światła, np. od karoserii samochodu czy od szyb, są całkowicie eliminowane przez soczewki.



Substancja prawoskrętna

Substancje skręcające płaszczyznę światła spolaryzowanego w prawo określa się jako prawoskrętne. Kierunek skręcania płaszczyzny w prawo oznacza się znakiem (+).



Substancja lewoskrętna

Substancje skręcające płaszczyznę światła spolaryzowanego w lewo określa się jako lewoskrętne. Kierunek skręcania płaszczyzny w lewo oznacza się znakiem (-).

4 Rurka polarymetryczna

Rurka z roztworem substancji czynnej optycznie, przez którą przechodzi światło spolaryzowane.

5 Odchylone światło spolaryzowane

Roztwór substancji czynnej optycznie, znajdujący się w rurce polarymetrycznej, odchyła płaszczyznę światła spolaryzowanego o pewien kąt. Zmniejsza się intensywność światła, które dociera do obserwatora.

6 Analizator

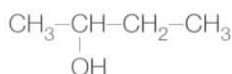
Ustawienie analizatora, tzn. obrócenie go o odpowiedni kąt, powoduje, że światło ponownie dociera do obserwatora. Ten kąt obrotu jest zarazem kątem skręcania płaszczyzny polaryzacji i miarą czynności optycznej badanego związku chemicznego.

Gdy **polaryzator** i **analizator**

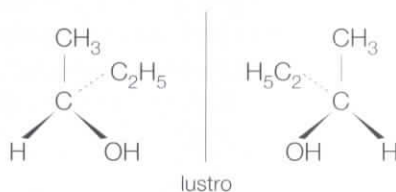
są odpowiednio ustawione względem siebie i nie ma między nimi substancji czynnej optycznie, to niezaburzona wiązka światła dociera do oka obserwatora.

Jeśli między polaryzatorem a analizatorem znajduje się substancja czynna optycznie, to do obserwatora dociera światło o mniejszym natężeniu, gdyż **następuje skręcenie płaszczyzny polaryzacji.**

Wzory strukturalne, które były stosowane do tej pory, pokazywały jedynie sposób rozmieszczenia poszczególnych atomów w cząsteczce. Natomiast nie pokazywały ich przestrzennego ułożenia względem siebie. Wzór butan-2-olu do tej pory był przedstawiany w następujący sposób:



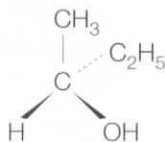
Zgodnie z założeniami rysowania wzorów stereochemicznych cząsteczkę butan-2-olu można przedstawić w następujący sposób:



wzór półstrukturalny
butan-2-olu

wzory perspektywiczne
butan-2-olu

Wzory strukturalne zapisane w ten sposób to tzw. **wzory perspektywiczne**:



- wiązanie leżące w płaszczyźnie kartki
- wiązanie skierowane „za kartkę”
- wiązanie skierowane „przed kartkę”

W izomerii optycznej stosuje się także **wzory projekcyjne**. Wzór projekcyjny (rzutowy), wprowadzony przez wybitnego niemieckiego chemika **Emila Fischera**, 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**:



przecięcie linii – chiralne atomy węgla
linie poziome – wiązania „przed kartką”
linie pionowe – wiązania „za kartką”

wzór projekcyjny
pentan-2-olu

Umiejętność stosowania wzorów Fischera jest konieczna, zwłaszcza do odwzorowania budowy cząsteczek aminokwasów, sacharydów oraz innych cząsteczek, które mają centra chiralności.

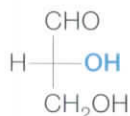
Konfiguracja

– przestrzenne rozmieszczenie podstawników wokół asymetrycznego atomu węgla w cząsteczce.

Konfiguracja względna enancjomerów

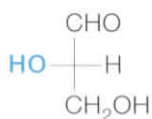
Enancjomery mają taką samą strukturę, ale różnią się rozmieszczeniem podstawników w przestrzeni, czyli **konfiguracją**. Skracają również płaszczyznę polaryzacji światła o ten sam kąt w przeciwnych kierunkach: w lewo i w prawo. W nazwach enancjomerów konfigurację określamy jako **prawą – oznaczaną literą D** [łac. *dexter* 'prawy'] lub **lewą – oznaczaną literą L** [łac. *laevus* 'lewy']. W cząsteczkach enancjomerów o konfiguracji D podstawnik przy asymetrycznym atomie węgla 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**. Jest nim cząsteczka aldehydu glicerynowego – najprostszego sacharydu wykazującego izomerię optyczną.

Przyjęto, że enancjomer, który skręca płaszczyznę światła spolaryzowanego w prawo (+), ma konfigurację:



grupa –OH po prawej stronie asymetrycznego atomu węgla

i nazwano go aldehydem **D-glicerynowym**. Natomiast enancjomer skręcający płaszczyznę światła spolaryzowanego w lewo (–) ma konfigurację:

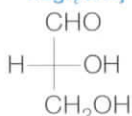


grupa –OH po lewej stronie asymetrycznego atomu węgla

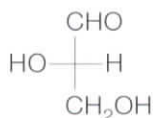
i nazwano go aldehydem **L-glicerynowym**.

Oznaczenia D i L stosuje się głównie do określania konfiguracji hydroksykwasów, aminokwasów i monosacharydów (patrz s. 259, s. 266, s. 288).

wzorzec konfiguracji względnej



aldehyd D-glicerynowy



aldehyd L-glicerynowy

Konfiguracja absolutna enancjomerów

Oprócz konfiguracji względnej enancjomerów wyznacza się również tzw. **konfigurację absolutną**. Określa ona rzeczywiste rozmieszczenie podstawników wokół asymetrycznego atomu węgla 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**.

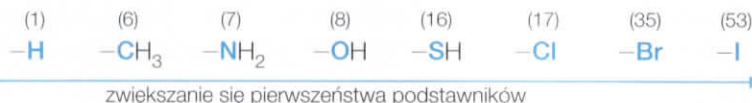
Ani symbole *R* i *S*, ani symbole *D* i *L* nie określają znaku skręcalności optycznej, tylko konfigurację centrum chiralności. Natomiast skręcalność płaszczyzny polaryzacji światła (którą wyznacza się doświadczalnie) w prawo oznacza się (+), a w lewo (–). Należy pamiętać, że cząsteczka o konfiguracji absolutnej *R* może mieć konfigurację względną D lub L. Tak samo cząsteczka o konfiguracji absolutnej *S* może mieć konfigurację względną D lub L.

Bardzo ważne jest, aby **zapisując wzór enancjomeru, pierwszy atom węgla w łańcuchu umieścić na górze. O przynależności do szeregu konfiguracyjnego D lub L decyduje bowiem konfiguracja asymetrycznego atomu węgla o najwyższym lokancie.**

Obecnie do określania konfiguracji enancjomerów stosuje się **system *R, S*** oparty na regułach **pierwszeństwa podstawników** przy centrum chiralności (chiralnym atomie węgla). Częsteczkę „ustawia się” tak, aby podstawnik o najniższej liczbie atomowej był najdalej od obserwatora.

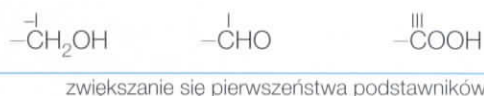
Pierwszeństwo podstawników określają następujące reguły:

1. O pierwszeństwie podstawników decyduje liczba atomowa. Pierwszeństwo ma atom o większej liczbie atomowej, np. atom tlenu ma pierwszeństwo przed atomem wodoru. 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:

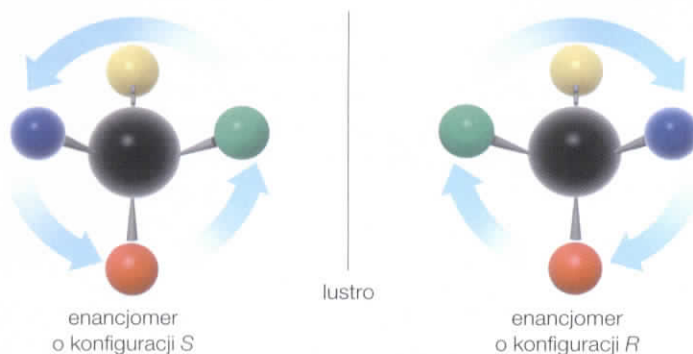


Grupa –C₂H₅ ma pierwszeństwo przed grupą –CH₃, ponieważ grupa etylowa zawiera dwa atomy węgla.

2. Jeżeli z centrum chiralności są połączone atomy węgla związane z tlenem, pierwszeństwo ma grupa z atomem węgla o wyższym stopniu utlenienia, np.:

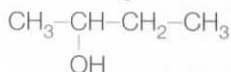


Jeżeli przemieszczamy się od podstawnika o najwyższym pierwszeństwie przez podstawnik o niższym pierwszeństwie do podstawnika o najniższym pierwszeństwie, zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara, to konfigurację takiego enancjomeru określamy jako ***R***. Jeśli kierunek jest przeciwny – enancjomer oznaczamy jako ***S***:

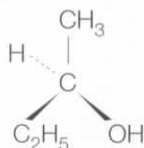


Przykład 1.**Narysuj konfiguracje *R* i *S* cząsteczki butan-2-olu**

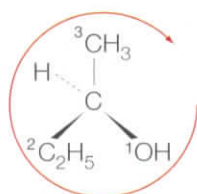
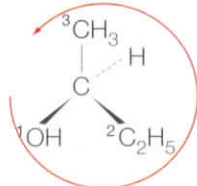
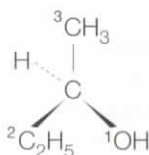
W butan-2-olu centrum chiralności (chiralny atom węgla) jest połączone z czterema podstawnikami: $-\text{CH}_3$, $-\text{OH}$, $-\text{C}_2\text{H}_5$, $-\text{H}$:



Cząsteczkę orientuje się tak, by **atom o najniższym pierwszeństwie był najbardziej oddalony od obserwatora** (linia przerywana). W tym przykładzie jest to atom wodoru. Przy oznaczaniu konfiguracji *R* i *S* uwzględnia się pozostałe trzy podstawniki:



Atom tlenu ma większą liczbę atomową od atomów węgla i wodoru, a więc jest podstawnikiem o najwyższym pierwszeństwie; zgodnie z regułą 1. we wzorze otrzymuje on numer 1. Zgodnie z regułą 1. grupa etylowa $-\text{C}_2\text{H}_5$ ma pierwszeństwo przed grupą metylową $-\text{CH}_3$:

*R*-butan-2-ol*S*-butan-2-ol

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 *S*.

To jest interesujące

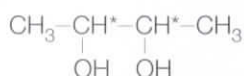
Enancjomery, ze względu na różną budowę przestrzenną, w odmienny sposób oddziałują z chiralnymi receptorami organizmów. Mają więc różne zapachy, barwy oraz właściwości lecznicze. Konfiguracja absolutna ma ogromne znaczenie w medycynie. Od konfiguracji *R* i *S* cząsteczki leku zależy skuteczność jego działania. **Ibuprofen** jest składnikiem większości leków przeciwbólowych. Jednak tylko izomer *S* tego związku chemicznego ma działanie terapeutyczne. Może też zdarzyć się, że jeden z izomerów leku ma działanie lecznicze, a drugi jest szkodliwy dla organizmu. Przykładem takiego leku jest **talidomid** (fot. 107.). Izomer *R* tego związku chemicznego ma działanie przeciwbólowe. Natomiast izomer *S* powoduje m.in. powstawanie wad płodu.

Fot. 107. Izomer *R* talidomidu stosuje się m.in. w leczeniu nowotworów.



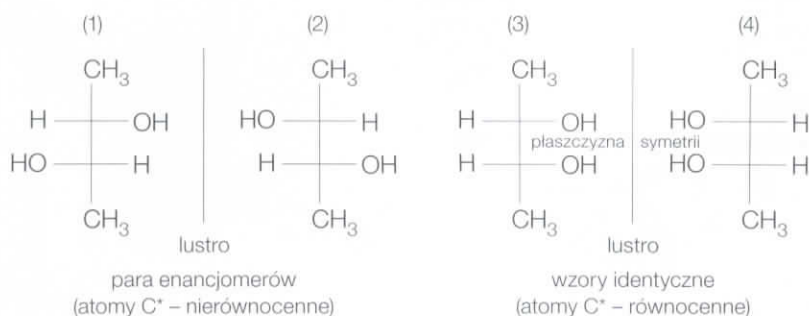
W przypadku związków chemicznych, których cząsteczki zawierają kilka centrów chiralności, może istnieć większa liczba stereoizomerów, ale nie większa od 2^n , gdzie n oznacza liczbę chiralnych atomów węgla w cząsteczce.

Należy zaznaczyć, że wzór 2^n sprawdza się jedynie wówczas, gdy chiralne atomy węgla w cząsteczce są **nierównocenne**, tzn. takie, w których zestawy podstawników przy asymetrycznych atomach węgla są **różne**. Gdy zestawy podstawników przy asymetrycznych atomach węgla są **identyczne**, a w cząsteczce enancjomeru występuje **płaszczyzna symetrii**, takie atomy noszą nazwę **równocennych**. Związkiem chemicznym o równocennych asymetrycznych atomach węgla jest np. butano-2,3-diol:



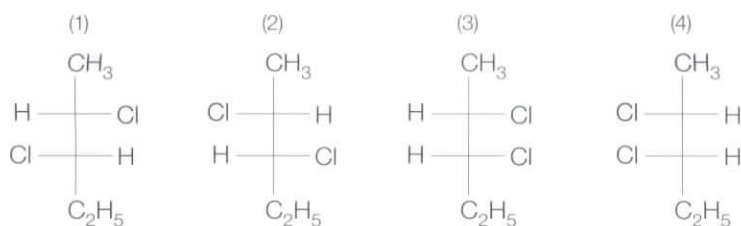
wzór półstrukturalny
butano-2,3-diolu

Wzory projekcyjne Fischera izomerów butano-2,3-diolu:



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*.

Związek 2,3-dichloropentan ma 2 nierównocenne centra chiralności, czyli 4 stereoizomery:



wzory projekcyjne
Fischera
2,3-dichloropentanu

Cząsteczki (1) i (2) są enancjomerami, cząsteczki (3) i (4) także są enancjomerami; w obu przypadkach cząsteczki stanowią swoje lustrzane odbicia.

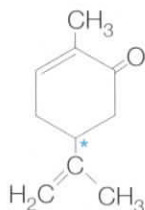
Diastereoizomery

– stereoizomery danego związku chemicznego, które nie są względem siebie enancjomerami (odbiciami lustrzanymi).

Cząsteczki (1) i (3), (2) i (3), (1) i (4) oraz (2) i (4) nie są parami enancjomerów. 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 asymetrycznych atomach węgla. Do diastereoizomerów zaliczają się też izomery *cis-trans*.

Zasadnicza różnica między enancjomerami i diastereoizomerami polega na tym, że enancjomery mają identyczne właściwości, z wyjątkiem chiralnych. Natomiast diastereoizomery mogą różnić się wszystkimi właściwościami, zarówno chiralnymi, jak i achiralnymi. Mogą więc zachowywać się jak zupełnie różne substancje. Przykładowo zapachy związku chemicznego o nazwie zwyczajowej karwon (fot. 108.) są różne w zależności od budowy przestrzennej jego cząsteczki.

wzór półstrukturalny
karwonu



a)



b)



Fot. 108. Zapachy izomerów ketonu o nazwie zwyczajowej karwon: 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. Są nieczynne optycznie, gdyż każdy z asymetrycznych atomów węgla skręca płaszczyznę polaryzacji o taki sam kąt, ale w przeciwnym kierunku.

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.

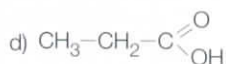
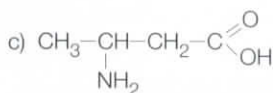
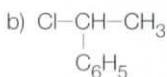
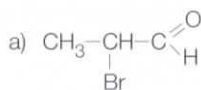
Równomolowe mieszaniny enancjomerów noszą nazwę **mieszanin racemicznych** lub **racematów**.

Mieszanina racemiczna
(racemat)

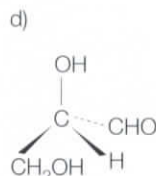
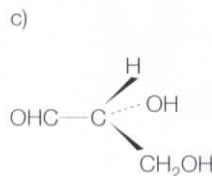
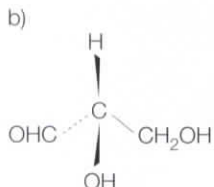
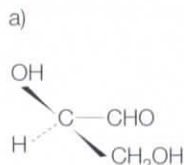
– równomolowa
mieszanina
enancjomerów.

Rozwiąż zadania

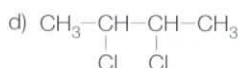
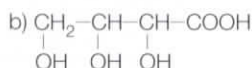
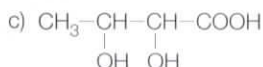
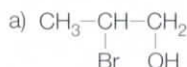
1. Wskaż związki chemiczne, które mogą występować w postaci enancjomerów. Uzasadnij odpowiedź.



2. Narysuj wzory projekcyjne Fischera cząsteczek aldehydu glicerynowego przedstawionych za pomocą wzorów perspektywicznych.



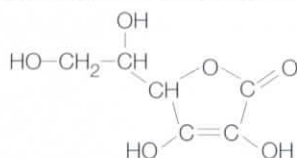
3. Podaj liczbę stereoizomerów poniższych związków chemicznych.



4. Napisz wzory strukturalne jednej pary enancjomerów związku chemicznego o wzorze sumarycznym $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$.

5. Podaj nazwy podstawników przy asymetrycznym atomie węgla w 1,2-dichlorobutanie.

6. Witamina C (kwas askorbinowy) to związek chemiczny o wzorze półstrukturalnym:



Określ, czy ten związek chemiczny jest optycznie czynny. Uzasadnij odpowiedź.

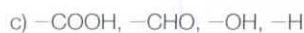
7. Określ, czy 1,2-dichloroetan zawiera asymetryczne atomy węgla. Uzasadnij odpowiedź.

8. Określ, ile asymetrycznych atomów węgla znajduje się w cząsteczce 2,3-dichlorobutanu.

9. Określ, ile asymetrycznych atomów węgla znajduje się w cząsteczce 2,3-dichloro-2,3-dimetylopentanu.

10. Napisz wzory półstrukturalne enancjomerów 3-bromo-2,3-dimetyloheksanu.

11. Uszereguj podane podstawniki zgodnie z regułami pierwszeństwa stosowanymi przy oznaczaniu konfiguracji absolutnej.



Uzasadnij odpowiedzi.

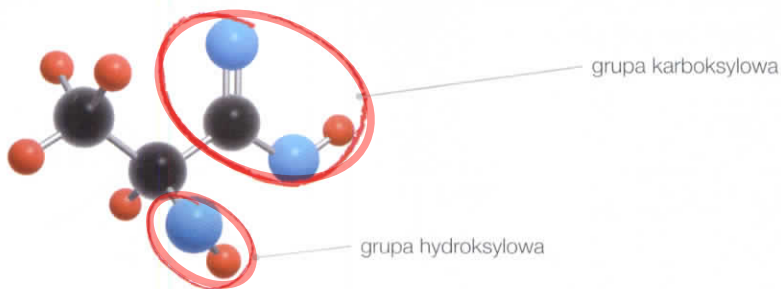
4.2. Hydroksykwasy

Hydroksykwasy

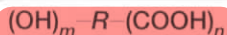
– wielofunkcyjne
pochodne węglowodorów,
zawierające
w cząsteczkach dwie
grupy funkcyjne:
–OH i –COOH.

Hydroksykwasy są pochodnymi węglowodorów, które w cząsteczce zawierają dwie grupy funkcyjne:

- hydroksylową –OH,
- karboksylową —C(=O)OH .



Wzór ogólny hydroksykwasów:



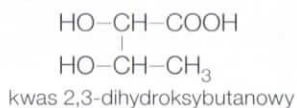
gdzie:

- OH – grupa hydroksylowa,
- COOH – grupa karboksylowa,
- R – grupa węglowodorowa,
- m, n – liczby naturalne; $m, n > 0$.

Oprócz **hydroksykwasów monokarboksylowych**, czyli zawierających jedną grupę karboksylową –COOH w cząsteczce, występują też **hydroksykwasy polikarboksylowe** o kilku grupach karboksylowych w cząsteczce, np.:

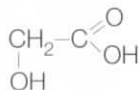


Hydroksykwasy, które zawierają więcej niż jedną grupę hydroksylową –OH w cząsteczce, to **hydroksykwasy polihydroksylowe**:

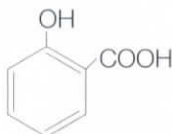


Nazewnictwo hydroksykwasów

Nazwy systematyczne hydroksykwasów monokarboksylowych tworzy się, dodając przedrostek hydroksy- i lokant do nazwy systematycznej kwasu karboksylowego.

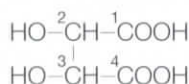


kwas hydroksyetanowy

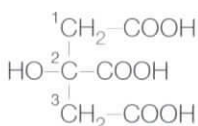


kwas o-hydroksybenzoesowy

W nazwach systematycznych hydroksykwasów polikarboksylowych uwzględnia się dodatkowo numer atomu węgla, przy którym znajdują się grupy hydroksylowe oraz krotność grup hydroksylowych i karboksylowych (przedrostki di-, tri- itp.), np.:

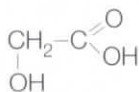


kwas 2,3-dihydroksybutanodiowy

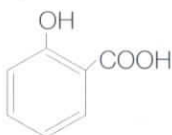


kwas 2-hydroksypropano-1,2,3-trikarboksylowy

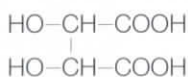
W przypadku hydroksykwasów bardzo często zamiast nazw systematycznych stosuje się nazwy zwyczajowe:



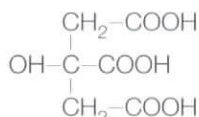
kwas hydroksyoctowy



kwas salicylowy



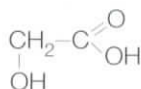
kwas winowy



kwas cytrynowy

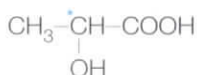
Izomeria hydroksykwasów

Najprostszym hydroksykwasem jest kwas hydroksyetanowy (hydroksyoctowy):



Cząsteczka tego związku chemicznego nie zawiera asymetrycznego atomu węgla – nie jest więc związkiem chiralnym i nie wykazuje czynności optycznej.

Homologiem kwasu hydroksyetanowego jest kwas 2-hydroksypropanowy (mlekowy), który jest związkiem chiralnym, ponieważ w jego cząsteczce znajduje się asymetryczny atom węgla:



Wzory stereochemiczne (perspektywiczne) enancjomerów kwasu mlekowego mają postać:



Zapisane za pomocą wzorów projekcyjnych Fischera enancjomery kwasu mlekowego mają postać:



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:



kwas D(–)-mlekowy

kwas L(+)-mlekowy

Znak (–) oznacza, że płaszczyzna polaryzacji światła, które przejdzie przez roztwór 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 kwasu mlekowego, odchyli się o pewien kąt w prawo, a litera L oznacza, że jest to związek chemiczny o konfiguracji względnej L (fot. 109.).

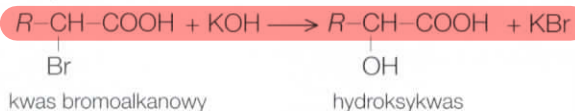
Przedstawiciel hydroksykwasów aromatycznych – kwas *o*-hydroksybenzoesowy (kwas salicylowy) – nie jest związkiem chemicznym czynnym optycznie. Jego cząsteczka jest achiralna, czyli nie zawiera asymetrycznych atomów węgla. Występuje w niej też płaszczyzna symetrii, którą stanowi pierścień aromatyczny.



Fot. 109. 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.

Otrzymywanie hydroksykwasów

Ogólną metodą otrzymywania hydroksykwasów alifatycznych jest reakcja podstawienia atomu fluorowca w kwasie fluorowcokarboksylowym grupą hydroksylową –OH:



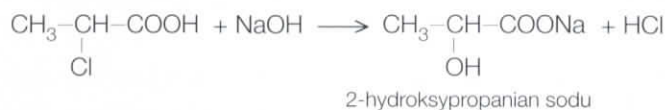
ogólne równanie reakcji
otrzymywania
hydroksykwasy

Kwas 2-hydroksypropanowy (kwas mlekowy) można otrzymać z kwasu propanowego w trzech etapach:

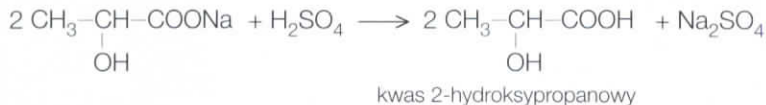
Etap I. Kwas propanowy reaguje z chlorem



Etap II. Kwas 2-chloropropanowy reaguje wodorotlenkiem sodu



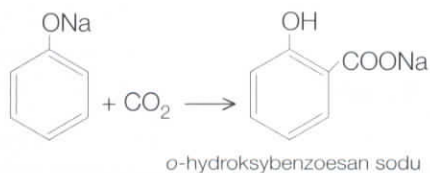
Etap III. 2-hydroksypropanian sodu reaguje z kwasem siarkowym(VI)



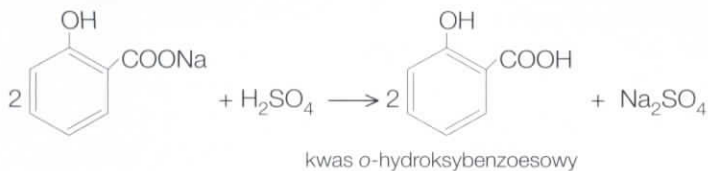
otrzymywanie kwasu
2-hydroksypropanowego

Kwas *o*-hydroksybenzoesowy (kwas salicylowy) można otrzymać z fenolanu sodu w dwóch etapach:

Etap I. Reakcja fenolanu sodu z tlenkiem węgla(IV)



Etap II. Powstały produkt reaguje z kwasem siarkowym(VI)



otrzymywanie kwasu
o-hydroksybenzoesowego

Właściwości hydroksykwasów

Hydroksykwasy są najczęściej substancjami stałymi o budowie krystalicznej, na ogół dobrze rozpuszczalnymi w wodzie.

Ze względu na obecność dwóch różnych grup funkcyjnych cząsteczki hydroksykwasów ulegają reakcjom charakterystycznym dla kwasów karboksylowych oraz alkoholi lub fenoli.

Hydroksykwasy

zawiera grupę hydroksylową,
więc:

- reaguje z metalami aktywnymi chemicznie
- ulega reakcji estryfikacji w obecności odpowiedniego kwasu
- ulega odwodnieniu

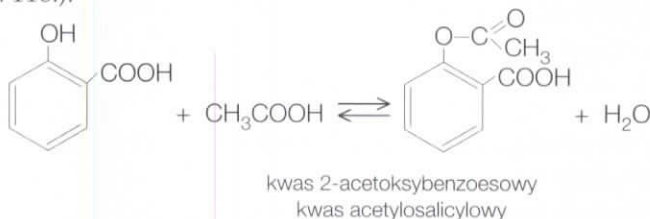
zawiera grupę karboksylową,
więc:

- reaguje z metalami aktywnymi, tlenkami metali, wodorotlenkami
- ulega reakcji estryfikacji w obecności odpowiedniego alkoholu
- ulega dekarboksylacji



Fot. 110. Aspiryna była pierwszym lekiem syntetycznym. Zsyntetyzował ją w 1887 r. Felix Hoffmann.

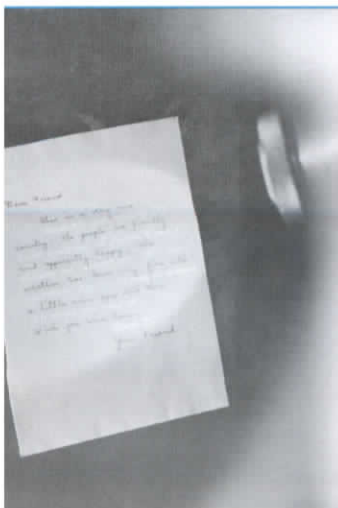
Produktem reakcji estryfikacji kwasu *o*-hydroksybenzoesowego (salicylowego) z kwasem etanowym (octowym) jest kwas 2-acetoksybenzoesowy, nazywany **kwasem acetylosalicylowym**, aspiryną lub polopiryną (fot. 110.):



To jest interesujące

Roztwór kwasu salicylowego, np. spirytus salicylowy, może być stosowany jako **atrament sympatyczny** (fot. 111.). Wiadomość zapisana takim atramentem ujawnia się dopiero po zastosowaniu odpowiedniego czynnika, np. związku chemicznego, który tworzy barwne połączenie z użytym atramentem. W przypadku kwasu salicylowego jako odczynnika wywołującego napis stosuje się roztwór chlorku żelaza(III) FeCl_3 o stężeniu ok. 5%. Pocieranie kartki papieru z wiadomością napisaną roztworem kwasu salicylowego, np. płatkim bawełnianym nasączonym roztworem FeCl_3 , doprowadzi do reakcji chemicznej. W jej wyniku utworzy się barwne połączenie i ukryty napis ujawni się w postaci ciemnofioletowych liter.

Fot. 111. Napis ujawnia się też pod wpływem światła UV lub ogrzewania.



Zastosowania i występowanie hydroksykwasów

Nazwy zwyczajowe hydroksykwasów często informują o miejscu występowania, np. kwas cytrynowy występuje w soku z cytryn.



grupy
hydroksylowa
i karboksylowa

Przemysł kosmetyczny

Kwasy owocowe **AHA** [ang. *Alpha Hydroxy Acid*], m.in.: mlekowy, cytrynowy i migdałowy, powszechnie stosuje się w przemyśle kosmetycznym. W małym stężeniu do ok. 8% znajdują się w kremach, peelingach i maseczkach. Preparaty o wyższych stężeniach są stosowane w gabinetach kosmetycznych.

Przemysł farmaceutyczny

Kwas salicylowy ma działanie przeciwbakteryjne i przeciwgrzybiczne. Dlatego stosuje się go m.in. do produkcji **kwasu acetylosalicylowego** (kwasu 2-acetoksybenzoesowego) – składnika czynnego leków przeciwgorączkowych i przeciwzapalnych (np. aspiryny). Jest też substratem do produkcji środka dezynfekcyjnego – spirytusu salicylowego.

Przemysł spożywczy

Topniki – substancje nadające gotowemu produktowi gładką konsystencję, wykorzystywane podczas produkcji serów topionych, to m.in. **kwas cytrynowy** oraz jego sole. Jako substancje konserwujące stosuje się **kwas jabłkowy** (E 296), np. do produkcji soków owocowych, a także **kwas mlekowy** (E 270), zapobiegający rozwojowi grzybów.



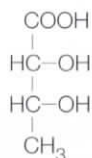
Gdzie występują hydroksykwasy?

Jednym z głównych składników owoców **granatu** jest kwas galusowy (kwas 3,4,5-trihydroksybenzoesowy), który występuje też w kłaczach **rdestowca japońskiego** oraz **liściach herbaty**. Na smak **miodu** wpływają występujące w nim hydroksykwasy, m.in.: kwas glukonowy (kwas 2,3,4,5,6-pentahydroksyheksanowy), jabłkowy, cytrynowy, mlekowy i winowy. Z kolei w korze **wierzby** występuje kwas salicylowy – związek chemiczny zaliczany do hormonów roślinnych (fitohormonów).



Rozwiąż zadania

1. Napisz wzory półstrukturalne i nazwy systematyczne wszystkich możliwych hydroksykwasów o wzorze sumarycznym $C_4H_8O_3$. Zaznacz gwiazdką asymetryczne atomy węgla w cząsteczkach.
2. Napisz nazwy systematyczne lub wzory półstrukturalne poniższych związków chemicznych.
 - a) kwas 2,3-dihydroksybutanodiowy
 - b) kwas 2-hydroksy-2,3-dimetylobutanowy
 - c) $HOOC-CH_2-\underset{\substack{| \\ OH}}{CH}-COOH$
 - d) $HOOC-CH_2-\underset{\substack{| \\ OH}}{CH}-CH_2-COOH$
3. Oblicz objętość 0,1-molowego roztworu wodorotlenku sodu użytego do całkowitego zubożenia 200 cm³ 0,2-molowego roztworu kwasu hydroksyetanowego.
4. Napisz równanie reakcji chemicznej kwasu hydroksyetanowego z roztworem wodorotlenku sodu, stosując wzory półstrukturalne.
5. Napisz wzór półstrukturalny produktu reakcji utleniania kwasu hydroksyetanowego silnym utleniaczem.
6. Hydroksykwasy o wzorze półstrukturalnym:



występuje w czterech odmianach konfiguracyjnych, różniących się rozmieszczeniem przestrzennym podstawników.

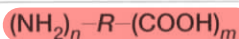
- a) Zaznacz asymetryczne atomy węgla w cząsteczce tego związku chemicznego.
- b) Napisz nazwy odmian konfiguracyjnych tego związku chemicznego.
- c) Wskaż pary enancjomerów oraz pary diastereoizomerów.

4.3. Aminokwasy

Aminokwasy to pochodne węglowodorów, które zawierają w cząsteczce dwie grupy funkcyjne:

- aminową $-\text{N} \begin{smallmatrix} \text{H} \\ \diagup \\ \text{H} \end{smallmatrix}$,
- karboksylową $-\text{C} \begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$.

Wzór ogólny aminokwasów:

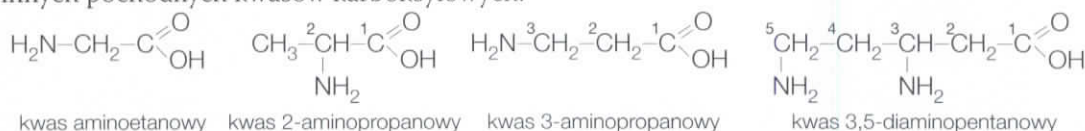


gdzie:

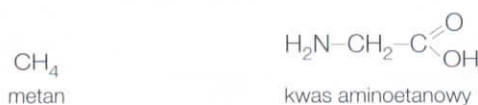
- $-\text{NH}_2$ – grupa aminowa,
- $-\text{COOH}$ – grupa karboksylowa,
- $-\text{R}$ – grupa węglowodorowa,
- n, m – liczby naturalne; $n, m > 0$.

Nazewnictwo aminokwasów

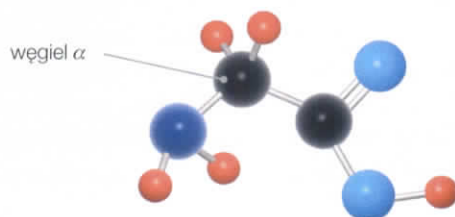
Nazwy systematyczne aminokwasów tworzy się przez dodanie przedrostka amino- do nazwy systematycznej kwasu karboksylowego. Lokant i liczbę grup aminowych $-\text{NH}_2$ zaznacza się w sposób stosowany przy innych pochodnych kwasów karboksylowych:



Najprostszym aminokwasem jest **kwas aminoetanowy** (kwas aminooctowy), nazywany potocznie **glicyną**. Można go traktować jako pochodną metanu, w którego cząsteczce dwa atomy wodoru podstawiono grupami: aminową $-\text{NH}_2$ i hydroksylową $-\text{COOH}$:



Glicyna jest przykładem **α -aminokwasu**, w którym grupy karboksylowa i aminowa są związane z tym samym atomem węgla, tzw. węglem α :



Modele: ● atomu tlenu ● atomu azotu ● atomu wodoru ● atomu węgla

Aminokwasy – związki organiczne, zawierające w cząsteczkach dwie grupy funkcyjne: $-\text{COOH}$ i $-\text{NH}_2$, połączone grupą węglowodorową.

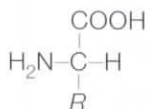
α -aminokwasy

– aminokwasy, w których cząsteczkach grupy $-\text{COOH}$ i $-\text{NH}_2$ są związane z atomem α .

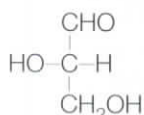
Izomeria aminokwasów

Cząsteczki wszystkich aminokwasów białkowych (patrz s. 269) są chiralne, ponieważ zawierają asymetryczny atom węgla. Wyjątkiem jest glicyna, której **cząsteczka nie zawiera asymetrycznego atomu węgla**.

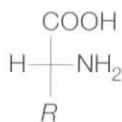
Aminokwasy białkowe (poza glicyną) mogą więc występować w odmianach czynnych optycznie. Podobnie jak w przypadku innych tego typu związków chemicznych, ich konfiguracje są określane względem konfiguracji aldehydu glicerynowego. Tworzą też szeregi D i L, np.



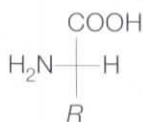
jest aminokwasem o konfiguracji L, gdyż rozmieszczenie grupy aminowej $-\text{NH}_2$ odpowiada aldehydowi L-glicerynowemu:



Posługując się wzorami projekcyjnymi, ogólne wzory enancjomerów α -aminokwasów można przedstawić w postaci:



konfiguracja D



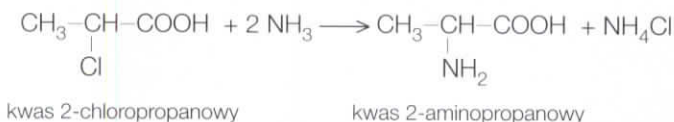
konfiguracja L

Wszystkie aminokwasy białkowe 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



Inną metodą syntezy aminokwasów jest **synteza Streckera** (cyjanohydrynowa). Jest to reakcja aldehydów z amoniakiem i cyjanowodorem. Jej produktami są aminonitryle, z których powstają aminokwasy. Aminokwasy są także syntetyzowane przez rośliny oraz niektóre drobnoustroje, które mają zdolność wiązania w cząsteczki organiczne azotu atmosferycznego i azotu pochodzącego ze związków nieorganicznych.

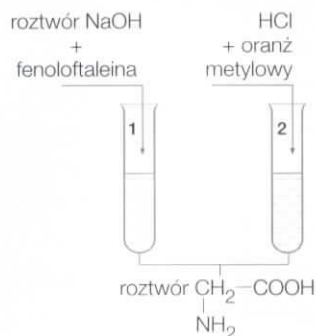
Właściwości aminokwasów

Doświadczenie 55. NaOH, HCl

Badanie właściwości kwasu aminoetanowego (glicyny)

a) Określ stan skupienia i barwę kwasu aminoetanowego oraz jego rozpuszczalność w wodzie i odczyn wodnego roztworu. b) Do roztworu otrzymanego przez rozpuszczenie ok. 0,5 g kwasu aminoetanowego w ok. 3 cm³ wody dodawaj kroplami 5-procentowego roztworu wodorotlenku sodu z dodatkiem roztworu fenoloftaleiny (schemat). c) Do roztworu zawierającego ok. 0,5 g kwasu aminoetanowego w ok. 3 cm³ wody dodawaj kroplami 5-procentowego roztworu kwasu chlorowodorowego z dodatkiem roztworu oranżu metylowego (schemat).

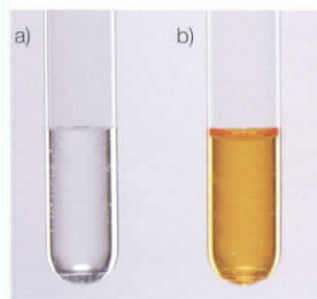
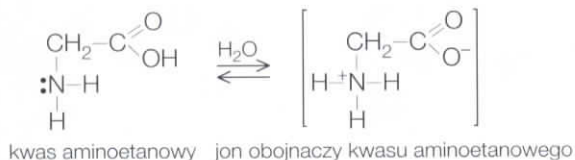
Co obserwujesz?



Kwas aminoetanowy jest krystaliczną substancją stałą. Dobrze rozpuszcza się w wodzie. Roztwór wodorotlenku sodu z fenoloftaleiną odbarwia się po dodaniu do roztworu glicyny (fot. 112.a). Roztwór kwasu chlorowodorowego z oranżem metylowym po dodaniu do roztworu glicyny zmienia barwę z czerwonej na żółtą (fot. 112.b).

Ze względu na obecność w cząsteczce aminokwasu grup karboksylowej –COOH (charakter kwasowy) i aminowej –NH₂ (charakter zasadowy), **aminokwasy są jednocześnie kwasami i zasadami, czyli związkami amfoterycznymi.**

Wodny roztwór kwasu aminoetanowego ma **odczyn obojętny**. Obecne w cząsteczce kwasu aminoetanowego grupy aminowa –NH₂ i karboksylowa –COOH ulegają w wodnym roztworze wzajemnemu zobojętnieniu. Dzieje się tak wskutek przeniesienia kationu H⁺ z grupy –COOH do grupy –NH₂. Powstaje wówczas **sól wewnętrzna**, tzw. **jon obojnaczy**:



Fot. 112. Reakcja kwasu aminoetanowego:
a) z roztworem NaOH,
b) z roztworem HCl.

Sól wewnętrzna (jon obojnaczy) zawiera w cząsteczce zarówno grupy kwasowe, jak i zasadowe.

Równowaga tej reakcji chemicznej w wodzie destylowanej jest przesunięta w prawo. Kwas aminoetanowy występuje więc prawie w całości w postaci soli wewnętrznej.

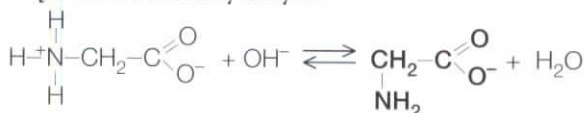
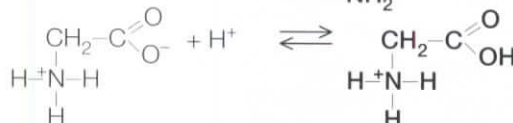
Punkt izoelektryczny (pI)

– wartość pH roztworu,
przy którym aminokwas
występuje w postaci soli
wewnętrznej.

Jony obojnacze w roztworach aminokwasów powstają tylko przy określonych wartościach pH. Wartość pH, przy której aminokwas występuje w postaci soli wewnętrznej, to **punkt izoelektryczny lub izoionowy** oznaczany skrótem **pI**.

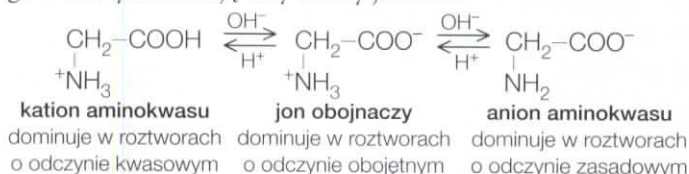
Kwas aminoetanowy reaguje zarówno z zasadami, jak i z kwasami. Jest więc **związkiem amfoterycznym**:

anion aminoetanowy

kation
karboksymetanoamionowy

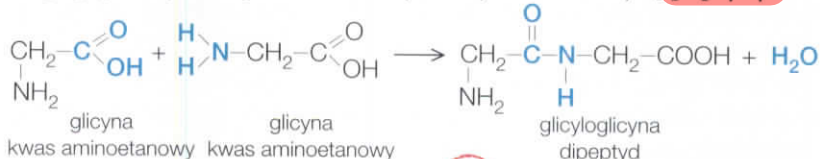
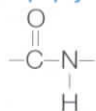
Dodatkowo naładowana grupa: $-\text{NH}_3^+$ oddaje proton w roztworze o odczynie zasadowym. Natomiast anion: $-\text{COO}^-$ przyłącza proton w roztworze o odczynie kwasowym.

W wodnym roztworze kwasu aminoetanowego ustala się stan równowagi, w którym istnieją trzy formy jonowe:



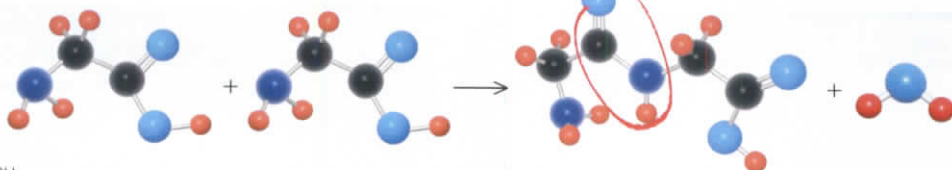
W środowisku silnie kwasowym równowaga przesuwa się w kierunku tworzenia kationów. W środowisku silnie zasadowym – w kierunku tworzenia anionów.

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**:

wiązanie peptydowe

Modele:

- atomu tlenu
- atomu azotu
- atomu wodoru
- atomu węgla



Reakcja dwóch aminokwasów jest przykładem **reakcji kondensacji**, gdyż równocześnie wydzielą się produkt uboczny o małej masie cząsteczkowej – woda. **Wiązania peptydowe są charakterystyczne dla wszystkich peptydów oraz białek.**

Aminokwasy białkowe

Aminokwasy, które wchodzą w skład białek naturalnych, to **aminokwasy białkowe** (patrz s. 320–321). 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 12 z nich. Pozostałe, nazywane **aminokwasami niezbędnymi (egzogennymi)**, są dostarczane organizmowi wraz z pokarmem.

W przypadku aminokwasów białkowych najczęściej stosuje się nazwy zwyczajowe (tabela 22.). Niekiedy zamiast pełnych nazw zwyczajowych podaje się ich skróty tryliterowe, np. Gly oznacza glicynę.

Aminokwasy białkowe
– aminokwasy wchodzące
w skład białek.

Tabela 22. Wzory i nazwy wybranych aminokwasów białkowych

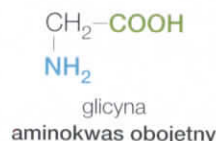
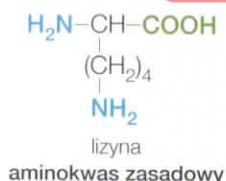
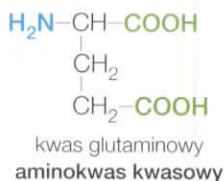
wszystkie

Wzór półstrukturalny	Nazwa zwyczajowa	Skrót nazwy zwyczajowej*
$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	glicyna	Gly, G
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N---CH---COOH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	alanina	Ala, A
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N---CH---COOH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	seryna	Ser, S
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N---CH---COOH} \\ \\ \text{CH}_2\text{---SH} \end{array}$	cysteina	Cys, C
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N---CH---COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2\text{---S---CH}_3 \end{array}$	metionina	Met, M
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N---CH---COOH} \\ \\ \text{CH}_2\text{---COOH} \end{array}$	kwas asparaginowy	Asp, D
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N---CH---COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2\text{---COOH} \end{array}$	kwas glutaminowy	Glu, E
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N---CH---COOH} \\ \\ (\text{CH}_2)_4 \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	lizyna	Lys, K
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N---CH---COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{OH} \end{array}$	tyrozyna	Tyr, Y

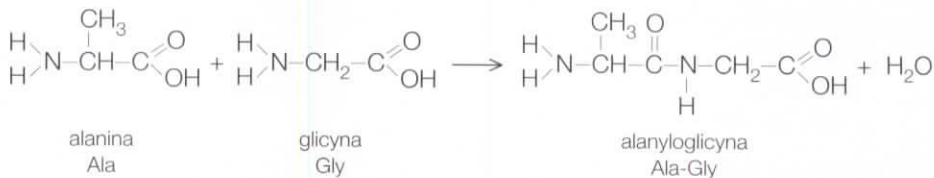
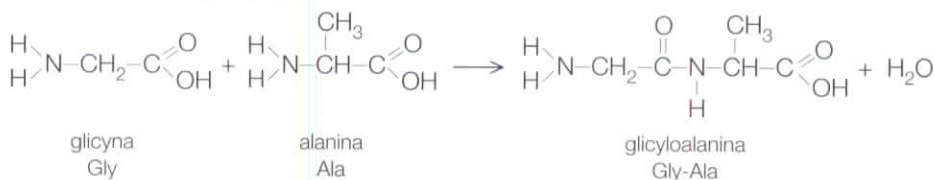
*Międzynarodowe skróty stosowane dla aminokwasów białkowych.

Niektóre aminokwasy białkowe, oprócz typowych dla nich grup $-\text{COOH}$ i $-\text{NH}_2$, zawierają w cząsteczce również inne grupy, m.in. hydroksylową $-\text{OH}$ (np. seryna) i tiolową $-\text{SH}$ (np. cysteina).

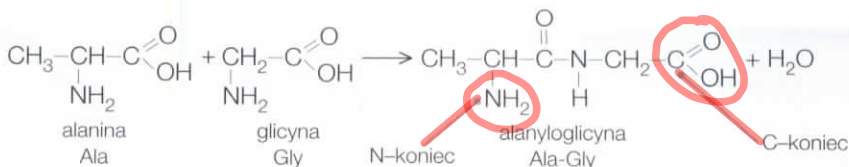
Aminokwasy z przewagą grup karboksylowych (kwas asparaginowy, kwas glutaminowy) zalicza się do **aminokwasów kwasowych**. Gdy przeważa liczba grup aminowych (np. w cząsteczce lizyny), aminokwasy zalicza się do **aminokwasów zasadowych**. Jednakowa liczba obu grup w cząsteczce aminokwasu, np. w cząsteczkach: alaniny, cysteiny czy seryny, jest charakterystyczna dla **aminokwasów obojętnych**:



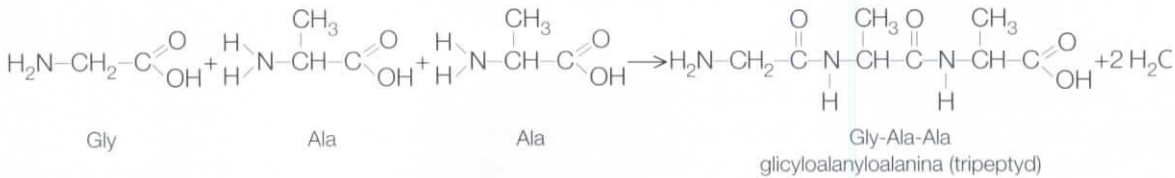
W wyniku reakcji kondensacji aminokwasów białkowych powstają **peptydy**. Na przykład z glicyny i alaniny mogą powstać dwa dipeptydy, które są względem siebie izomerami:



W każdym z peptydów można wyróżnić **koniec zawierający grupę aminową, nazywany od atomu azotu N-koncem**, oraz **koniec z wolną grupą karboksylową, nazywany od atomu węgla C-koncem**. Nazwy peptydów tworzy się, wymieniając nazwy reszt aminokwasowych, począwszy od N-konca 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:



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.

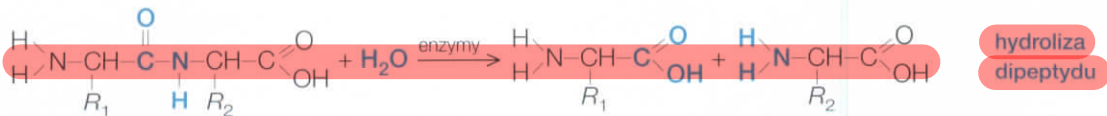
Ze względu na liczbę reszt aminokwasowych peptydy dzielimy na:



Hydroliza peptydu, 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:



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 żywej.

Zastosowania oraz występowanie aminokwasów

Aminokwasy są podstawowym składnikiem budulcowym peptydów. Występują w komórkach roślinnych i zwierzęcych oraz w bakteriach.



Przemysł farmaceutyczny

Tryptofan jest przekształcany w organizmie w serotoninę, czyli „hormon szczęścia”. Dodaje się go do preparatów poprawiających jakość snu i nastroj.

Lizyna jest stosowana w preparatach łagodzących objawy przeziębienia oraz hamujących rozwój opryszczki. **Metionina** występuje w preparatach działających ochronnie na mięsz wątroby i nerek.

Przemysł spożywczy

Kwas asparaginowy oraz **fenyloalanina**

biorą udział w syntezie aspartamu – niskokalorycznego słodzika znajdującego się m.in. w gumach do żucia. Aminokwasy, np. **lizyna** czy **metionina**, są stosowane jako dodatki do żywności, gdyż podnoszą jej wartość odżywczą. **Kwas glutaminowy** jest popularnym dodatkiem spożywczym, poprawiającym smak m.in. potraw mięsnych w konserwach.



Przemysł kosmetyczny

Prolina jest wykorzystywana w kremach przeciwzmarszczkowych, ponieważ odbudowuje i regeneruje komórki. Natomiast w preparatach do włosów wzmacnia ich komórki. **Arginina** ma działanie nawilżające oraz łagodzące podrażnienia. Dzięki temu znalazła zastosowanie w kremach, np. do suchej skóry.



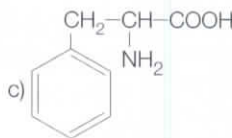
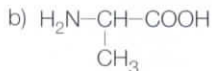
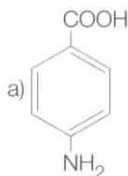
Gdzie występują aminokwasy?

Kwas glutaminowy to jeden z podstawowych aminokwasów białek roślinnych i zwierzęcych. Został wyizolowany z **pszenicy** oraz **listownicy japońskiej** – wodorostu stosowanego w kuchni japońskiej do przyrządzania sushi. Aminokwas ten występuje również w serach typu **parmezan** oraz **pomidorach**. W trakcie dojrzewania serów i warzyw wzrasta jego zawartość w tych produktach. W **białku mleka** ssaków – kazeinie oraz w **białku jaj** znajduje się metionina. Glicyna występuje w **żelatynie** oraz **kolagenie** – białku budulcowym tkanki łącznej.

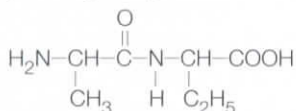


Rozwiąż zadania

1. Napisz równania reakcji powstawania jonu obojnego dla poniższych aminokwasów.



2. Napisz wzory półstrukturalne i nazwy systematyczne aminokwasów, które powstaną podczas hydrolizy podanego związku chemicznego.



3. Napisz równania reakcji powstawania peptydów o podanych nazwach.

a) glicyloseryna

b) seryloglicyna

4. Napisz wzory strukturalne i podaj nazwy systematyczne wszystkich aminokwasów o wzorze sumarycznym $\text{C}_4\text{H}_9\text{O}_2\text{N}$. Zaznacz gwiazdką asymetryczne atomy węgla.

5. Wyjaśnij, dlaczego aminokwas – glicyna – nie jest związkiem chiralnym.

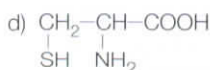
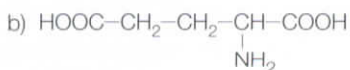
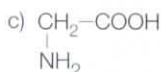
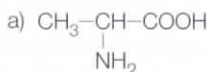
6. Wyjaśnij amfoteryczny charakter alaniny. Napisz odpowiednie równania reakcji chemicznych.

7. Napisz równanie reakcji powstawania dipeptydu Ala-Ala.

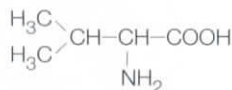
8. Oblicz, ile moli glicyny potrzeba do przygotowania 400 g jej 5-procentowego roztworu.

9. Napisz równanie reakcji powstawania tripeptydu Gly-Cys-Glu. Zaznacz w jego wzorze wiązania peptydowe.

10. Ustal, które z podanych aminokwasów są czynne optycznie.



11. Walina to aminokwas białkowy o wzorze półstrukturalnym



Punkt izoelektryczny waliny wynosi $\text{pI} = 5,97$. Napisz wzory jonów waliny występujących w przewodzie w wodnych roztworach, gdy:

a) $\text{pH} = 2,1$,

b) $\text{pH} = 10,5$.

4.4. Białka

Białka

– naturalne polimery
zbudowane z łańcuchów
polipeptydowych
połączonych wiązaniami
peptydowymi.



Rys. 28. W rybosomach (model rybosomu) odbywa się łączenie aminokwasów wiązaniem peptydowym.

Białka stanowią jedną z najważniejszych grup naturalnych związków wielocząsteczkowych. Są podstawowym budulcem wszystkich organizmów. Biorą także udział w złożonych procesach biochemicznych zachodzących w komórkach. 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 powstają w komórkach przy udziale rybosomów (rys. 28.). Łańcuchy białkowe zawierają powyżej 100 elementów aminokwasowych. Kolejność elementów aminokwasowych w łańcuchu peptydowym ma duże znaczenie dla biologicznych funkcji białka. Na przykład zastąpienie w hemoglobinie krwi, składającej się z ponad 500 reszt aminokwasowych, tylko 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. Ta liczba daje wyobrażenie o ogromnej różnorodności białek. Są one najbardziej złożonymi związkami chemicznymi występującymi w przyrodzie.

Ustalenie budowy wielu z nich należy do najważniejszych osiągnięć naukowych XX w. Prace nad poznaniem ich budowy i właściwości trwają nadal. Współcześni chemicy pracują też nad niezmiernie trudnym zagadnieniem, jakim jest synteza białek. Niektóre polipeptydy, np. insulinę, udało się otrzymać w laboratorium. Jednak synteza bardziej złożonych białek pozostaje w fazie badań.

W 1984 roku **Bruce Robert Merrifield** otrzymał Nagrodę Nobla za opracowanie metody syntezy białka na polimerach stosowanych jako matryce. Przyszłość w tej dziedzinie należy do inżynierii genetycznej i biotechnologii, które m.in. próbują wykorzystać proste organizmy (np. bakterie) do syntezy peptydów o określonej strukturze. Daje to nadzieje na powstanie leków przeciw chorobom, które są obecnie nieuleczalne.

To jest interesujące

Białka znajdują się m.in. w **jadzie węży** (fot. 113.). Mieszaniną białek jest także jad kielbasiany (botulina) – jedna z najsilniejszych trucizn. Toksyna ta powstaje między innymi w niewłaściwie sporządzonych i przechowywanych konserwach. Spożycie zakażonej żywności prowadzi do zatrucia jadem kielbasianym. Odpowiednie dawki botuliny mogą mieć działanie terapeutyczne. W przeszłości stosowano ją m.in. w leczeniu zęza. Obecnie wykorzystuje się ją m.in. w medycynie estetycznej jako substancję bardziej znaną pod nazwą **botoks**.

Fot. 113. Jad węży jest mieszaniną białek, które w różny sposób działają na ofiarę.



Rodzaje białek

Ze względu na skład łańcucha polipeptydowego białka można podzielić na:



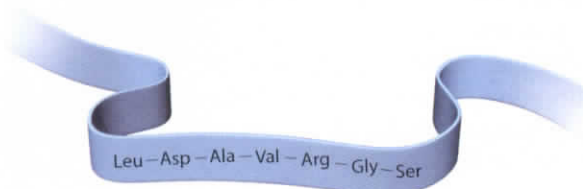
Uznając za kryterium podziału zdolność białek do rozpuszczania się w wodzie, można wyróżnić:



Struktury białek

Białka mają niezwykle złożoną strukturę. 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. Wraz z kolejnością ułożenia aminokwasów, czyli z **sekwencją aminokwasów** w łańcuchu, decydują one o charakterystycznych właściwościach i funkcjach białek w organizmach.

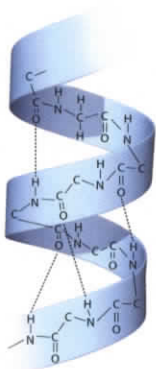
Struktura pierwszorzędowa określa sekwencję aminokwasów w łańcuchu peptydowym. Informuje też, w jaki sposób atomy są połączone wiązaniami kowalencyjnymi w cząsteczce. Jest to stosunkowo trwała struktura (rys. 29.). Działanie enzymów i kwasów powoduje hydrolizę wiązań peptydowych i podział łańcucha na aminokwasy, które go tworzą.



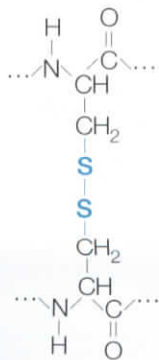
Rys. 29. Struktura pierwszorzędowa jest stabilizowana przez wiązania peptydowe.



Fot. 114. Pajęcza sieć jest utworzona z białek włóknistych.

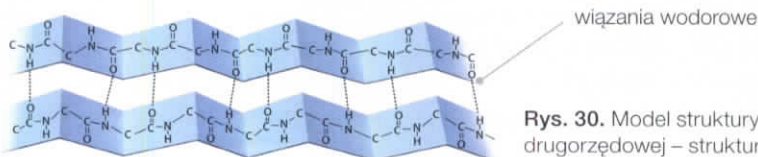


Rys. 31. Model struktury drugorzędowej – struktury α .



mostki disulfidowe (disiarczkowe)

Struktura drugorzędowa wskazuje, jaki układ przestrzenny, stabilizowany wiązaniami wodorowymi (konformacjami), tworzą łańcuchy polipeptydowe. Rozróżnia się dwie podstawowe struktury drugorzędowe. Jedną z nich jest **struktura pofalowanej kartki**, czyli **struktura β** . Występuje m.in. w białku jedwabiu lub pajęczyny (fot. 114.). W tej strukturze łańcuchy polipeptydowe są ułożone równolegle. Układ stabilizują wiązania wodorowe między łańcuchami polipeptydowymi, co upodabnia całość do pofalowanej kartki papieru (rys. 30.).



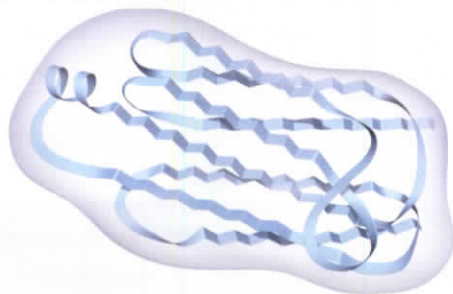
Rys. 30. Model struktury drugorzędowej – struktury β .

Inną strukturą drugorzędową jest **struktura helisy** [gr. *heliks* 'skręcony'], czyli **struktura α** . W tym przypadku każdy łańcuch polipeptydowy jest zwinięty wokół osi, czyli przyjmuje kształt linii śrubowej (rys. 31.). Struktura helisy jest typowa dla keratyny, białka wełny, włosów i paznokci.

Struktura trzeciorzędowa białka (rys. 32.) to ułożenie poszczególnych odcinków łańcucha polipeptydowego względem siebie w przestrzeni. Powstaje głównie w wyniku oddziaływań między łańcuchami bocznymi peptydów. Największe znaczenie w powstawaniu struktur trzeciorzędowych mają wiązania tworzące się między grupami funkcyjnymi należącymi do łańcuchów bocznych, np. wiązania:

- jonowe $-\text{COO}^-$,
- wodorowe,
- disulfidowe (disiarczkowe) $-\text{S}-\text{S}-$.

Są to oddziaływania stabilizujące strukturę przestrzenną łańcuchów polipeptydowych.

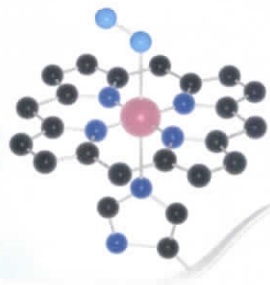
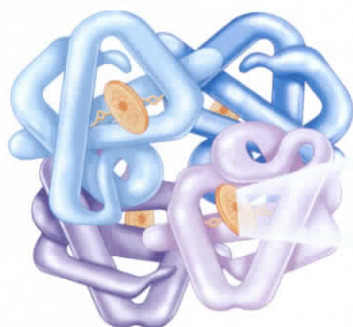


Rys. 32. Model struktury trzeciorzędowej białka.

Każde białko charakteryzuje się właściwą sobie strukturą trzeciorzędową. Jej zniszczenie powoduje utratę właściwości białka, np. enzym przestaje katalizować daną reakcję chemiczną.

Struktura czwartorzędowa dotyczy białek zbudowanych z dwóch lub więcej łańcuchów peptydowych. Każdy z nich tworzy swój kłębek struktury trzeciorzędowej. Kilka lub nawet kilkanaście kłębów łączą

się ze sobą i powstają tzw. **podjednostki**. Zespoły podjednostek tworzą strukturę czwartorzędową, np. hemoglobina składa się z czterech podjednostek (rys. 33).



Każda podjednostka zawiera cząsteczkę hemu, w której znajduje się jon żelaza Fe^{2+} .

Rys. 33. Model struktury czwartorzędowej hemoglobiny.

Modele:

- atomu węgla
- atomu tlenu
- atomu azotu
- atomu żelaza

Właściwości białek

Doświadczenie 56.

Badanie procesu wysalania białka

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. Co obserwujesz?

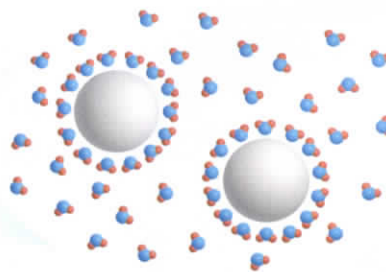


Po dodaniu roztworu chlorku sodu NaCl do roztworu mieszaniny białka z wodą wytrąca się biały osad (fot. 115.). Dodanie wody powoduje, że osad się rozpuszcza.

Białka z wodą tworzą układy koloidalne – zole. W ich cząstkach białka są otoczone cząsteczkami wody, tworzącymi tzw. **otoczkę solwatacyjną**. Jest to warstwa cząsteczek wody, która zapobiega łączeniu się drobin białek (fot. 116.).



Fot. 116. Koloid białka z wodą.



W otoczkę solwatacyjnej cząsteczki wody ustawiają się biegunem ujemnym w stronę cząstki białka.

Modele: ● cząstki białka ● cząsteczki wody

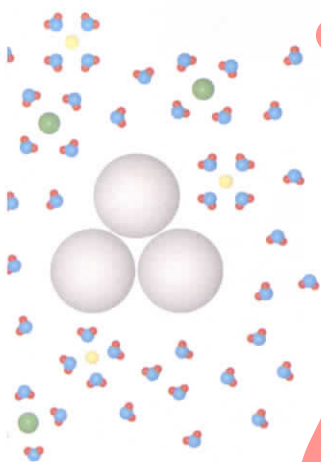


Fot. 115. Mieszanina białka z wodą zmienia się pod wpływem działania chlorku sodu.

Zol – układ koloidalny białka z wodą.

Koloid

– mieszanina, w której cząstki substancji rozpuszczonej mają rozmiary od 10^{-9} m do 10^{-7} m .

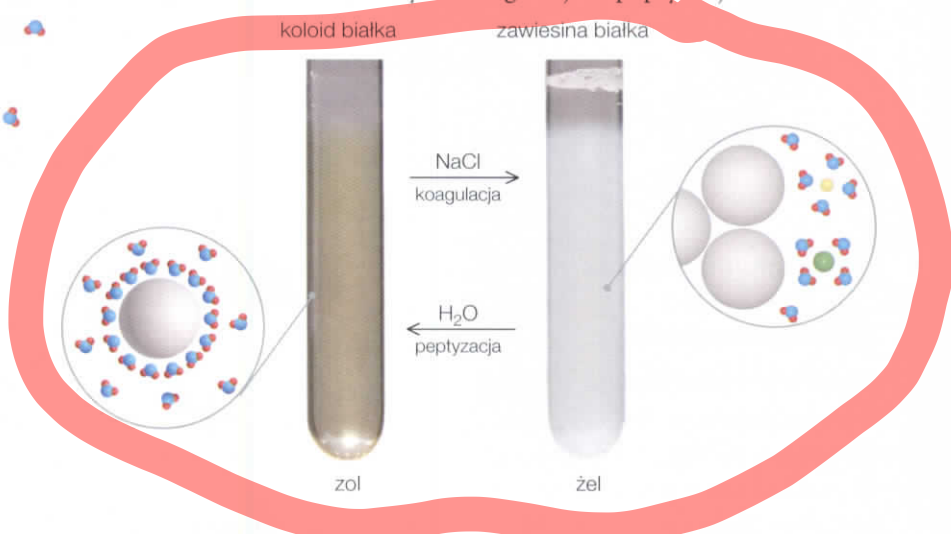


Modele:
 ● cząstki białka
 ● cząsteczki wody
 ● jonu Cl^-
 ● jonu Na^+

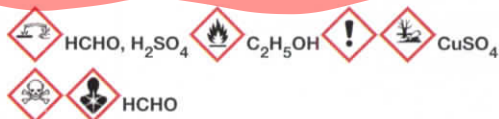
Rys. 34. Koagulacja białka pod wpływem NaCl .

Po dodaniu chlorku sodu do koloidu następuje strącenie, czyli **koagulacja białka**. Oddziaływanie cząsteczek wody z jonami soli jest silniejsze niż cząsteczek wody z cząstkami białka. Jony wprowadzone do koloidu są otaczane przez cząsteczki wody. Następuje zniszczenie otoczki solwacyjnej, a cząstki białka łączą się w większe zespoły (rys. 34.).

Koagulacja białka pod wpływem soli NaCl to **wysalanie białka**. Jest procesem odwracalnym, czyli nie narusza struktury przestrzennej cząsteczki białka. Proces odwrrotny do koagulacji to **peptyzacja**:



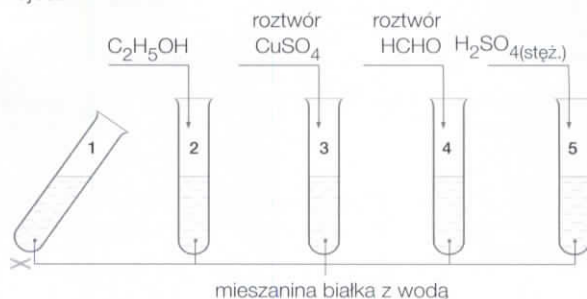
Doświadczenie 57.



Badanie działania różnych substancji i wysokiej temperatury na mieszankę białka z wodą

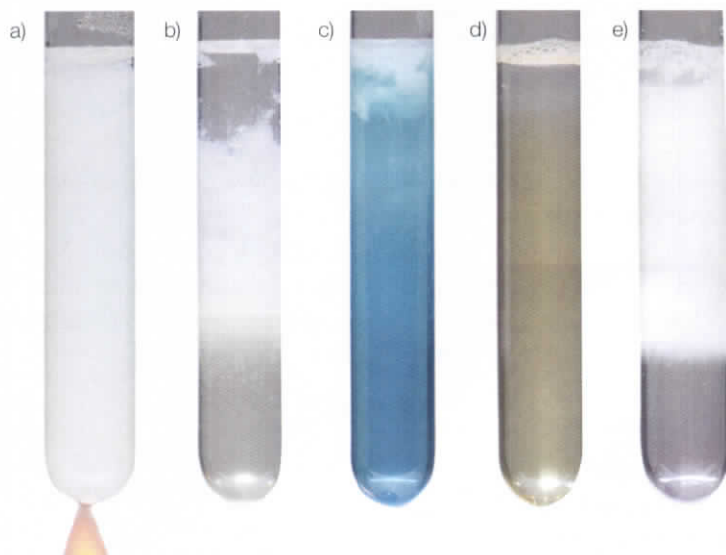
Do pięciu probówek nalej po ok. 3 cm^3 mieszaniny białka jaja z wodą. Probówkę 1. ogrzej w płomieniu palnika lub dodaj do niej niewielką ilość wrzącej wody. Do pozostałych probówek dodaj po kilka kropel roztworów: do probówki 2. – etanolu, 3. – 5-procentowego roztworu siarczanu(VI) miedzi(II), 4. – metanal, 5. – stężonego roztworu kwasu siarkowego(VI) (schemat). Następnie do każdej probówki dodaj ok. 10 cm^3 wody destylowanej i wymieszaj ich zawartość.

Co obserwujesz?



We wszystkich probówkach powstał osad, który nie rozpuszcza się po dodaniu wody.

Pod wpływem temperatury i dodanych odczynników chemicznych nastąpił nieodwracalny proces ścinania białka, nazywany **denaturacją białka** (fot. 117.).

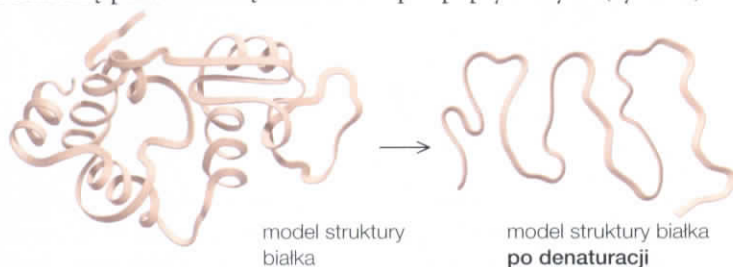


Fot. 117. Fot. Wpływ na białko: a) podwyższonej temperatury, b) C_2H_5OH , c) roztworu $CuSO_4$, d) roztworu $HCHO$, e) stężonego roztworu H_2SO_4 .

Denaturacja białka polega na trwałym zniszczeniu wyższych struktur białka przy zachowaniu jedynie struktury pierwszorzędowej, a niekiedy również i drugorzędowej. Takie białko nie traci swoich wartości odżywczych, ale zanika jego czynność biologiczna. Nieodwracalne ścinanie białka powodują:

- wysoka temperatura (fot. 117.a),
- alkohole (fot. 117.b),
- sole metali ciężkich (fot. 117.c),
- formalina (fot. 117.d),
- stężone roztwory kwasów (fot. 117.e).

Te czynniki powodują rozerwanie wiązań wodorowych, jonowych i mostków disiarczkowych, czyli niszczą oddziaływania stabilizujące strukturę przestrzenną łańcuchów polipeptydowych (rys. 35.).



Rys. 35. Model denaturacji białek.



Fot. 118. Reakcja biuretowa: a) dodanie wodorotlenku miedzi(II) do białka; b) ciemnofioletowe zabarwienie roztworu.

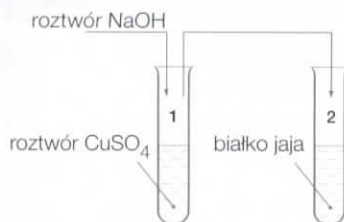
Doświadczenie 58.



Reakcja biuretowa

Do białka jaja w próbówce 2. dodaj wodorotlenek miedzi(II), otrzymany w próbówce 1. w reakcji roztworu siarczynu(VI) miedzi(II) z roztworem wodorotlenku sodu (schemat).

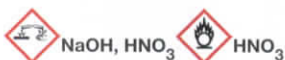
Co obserwujesz?



W próbówce 2. białko ścina się (fot. 118.a) i powstaje ciemnofioletowe zabarwienie (fot. 118.b).

W reakcji białka z wodorotlenkiem miedzi(II), powstałym z NaOH i CuSO_4 , tworzy się związek kompleksowy o fioletowej barwie. Jest to **reakcja charakterystyczna** dla związków chemicznych, w których występuje wiązanie peptydowe (patrz s. 270).

Doświadczenie 59.



Reakcja ksantoproteinowa

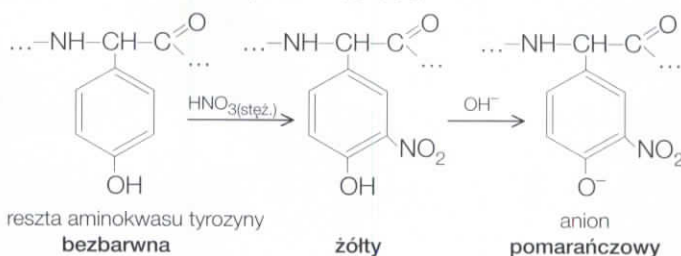
Do ok. 3 cm^3 wodnego roztworu białka jaja dodaj 2 krople stężonego roztworu kwasu azotowego(V) (schemat), a następnie kilka kropli rozcieńczonego roztworu wodorotlenku sodu.

Co obserwujesz?



Pod wpływem stężonego roztworu kwasu azotowego(V) białko zmienia barwę na żółtą.

Jest to reakcja chemiczna nazywana **reakcją ksantoproteinową** [gr. *xanthos* 'żółty']. Pod wpływem stężonego roztworu kwasu azotowego(V) zachodzi nitrowanie pierścieni aromatycznych w niektórych resztach aminokwasów białkowych. Powstające związki chemiczne mają żółtą barwę (fot. 119.). Dodanie zasady sodowej zwiększa intensywność barwy – pojawia się pomarańczowa barwa. Powstałe nitrozwiazki tworzą aniony o następujących barwach:



Fot. 119. Reakcja ksantoproteinowa z próbą mleka.

Obecnie reakcje biuretowa i ksantoproteinowa mają niewielkie znaczenie w analizie białek, które bada się przede wszystkim metodami spektroskopowymi.

Zastosowania i występowanie białek

Białka stanowią jedną z najważniejszych grup naturalnych związków wielkocząsteczkowych. Kolagen to białko fibrylarne, które jest głównym składnikiem białka **tkanki łącznej, kości** oraz **chrząstek**. Keratyna jest składnikiem **włosów i paznokci**.



Przemysł spożywczy

Gluten, czyli mieszanina białek roślinnych, odgrywa ważną rolę podczas wypieku pieczywa (mąka zawiera do 18% glutenu), ponieważ zapewnia produktom kleistość i ciągliwość. **Żelatyna** to mieszanina białek i peptydów, która powstaje w reakcji hydrolizy kolagenu. Pełni funkcję emulgatora oraz środka żelującego, np. w galaretkach.

Taumatyna (E 957) jest wykorzystywana jako substancja słodząca m.in. w bezcukrowych gumach do żucia oraz w produktach cukierniczych bez dodatku cukru. Przedłuża czas odczuwania słodkiego smaku.

Przemysł chemiczny

Z **żelatyny** produkuje się amunicję stosowaną do gry w paintball.

Gluten wykorzystuje się do produkcji klejów, m.in. do drewna. Z **kazeiny** – fosfoproteiny otrzymuje się np. klej do tapet.

Przemysł kosmetyczny

Kolagen jest stosowany w kosmetykach zmniejszających zmarszczki, blizny oraz rozstępy. Stanowi też składnik preparatów wstrzykiwanych w głąb skóry, ponieważ odpowiada za jej nawilżenie, nadaje sprężystość oraz jędrność. **Keratyna** jest stosowana w szamponach i odżywkach do włosów, ponieważ wbudowując się w ich strukturę, działa regenerująco.



Gdzie znajdują się białka?

Keratyna występuje w **welnie, sierści, kopytach i rogach zwierzęcych**. Składnikiem naturalnego jedwabiu, uzyskiwanego z kokonów **jedwabników morwowego i dębowego**, jest fibroina – białko proste. W nasionach **rącznika pospolitego** występuje trujące białko – rycyna (toksalbumina). W roślinie rosnącej w Afryce – *Synsepalum dulcificum* – znajduje się mirakulina, która zamienia odczucia smaku kwaśnego na słodki.



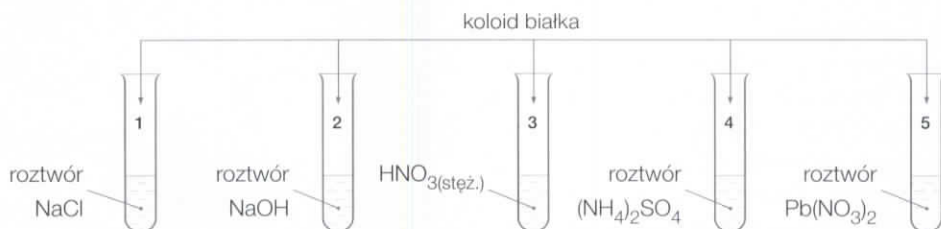
To jest interesujące

W środowisku kwasowym białka zawarte w pocie ulegają denaturacji. Dlatego w **antyperspirantach** (fot. 120.) stosuje się substancje o tym 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.

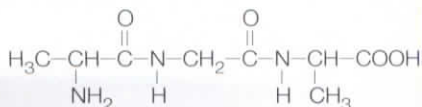
Fot. 120. Antyperspiranty to kosmetyki, które zmniejszają wydzielanie potu z gruczołów potowych.

Rozwiąż zadania

1. **Oblicz**, ile gramów wody należy dodać do 0,2 kg 25-procentowego roztworu siarczanu(VI) miedzi(II), aby otrzymać 12-procentowy roztwór tego związku chemicznego przydatny do przeprowadzenia reakcji biuretovej.
2. Hemoglobina krwi zawiera 0,355% żelaza. **Oblicz masę cząsteczkową hemoglobiny**, jeżeli jej cząsteczka zawiera jeden atom żelaza.
3. **Określ**, w których probówkach zajdzie wysalanie białka, a w których denaturacja.



4. Poniżej przedstawiono wzór pewnego peptydu.



- a) **Napisz równanie reakcji hydrolizy** tego peptydu.
 - b) **Wskaż**, który z produktów hydrolizy jest związkiem czynnym optycznie. **Odpowiedź uzasadnij.**
- 5*. **Wymień przykłady białek katalitycznych, hormonalnych i transportowych** na podstawie wiadomości z biologii. **Wyjaśnij**, jakie funkcje spełniają w organizmie.
 - 6*. **Uzasadnij słuszność stwierdzenia:** Życie jest formą istnienia białka.

4.5. Sacharydy (cukry)

Sacharydy, nazywane potocznie cukrami, to kolejna grupa wielofunkcyjnych pochodnych węglowodorów.

Doświadczenie 60. H_2SO_4

Badanie składu pierwiastkowego sacharydów

Do zlewki wsyp łyżkę cukru i dodawaj stężonego roztworu kwasu siarkowego(VI) aż do całkowitego zwilżenia cukru.

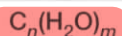
Co obserwujesz?

Cukier żółknie (fot. 121.a). Po kilku minutach jego barwa zmienia się na ciemniejszą, aż staje się czarna. Mieszanina cukru ze stężonym roztworem kwasu siarkowego(VI) pęcznieje (fot. 121.b).

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 wchodzi: węgiel, wodór oraz tlen.

Sacharydy są nazywane potocznie cukrami lub węglowodanami.

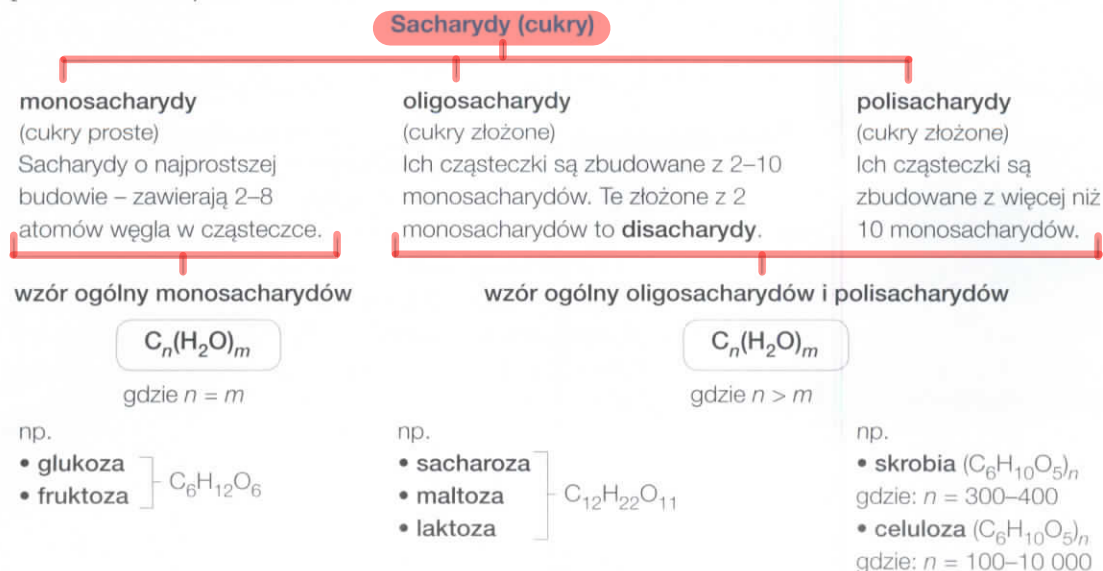
Wzór ogólny sacharydów:



gdzie:

n i m – liczby naturalne; $n \geq m$.

Ze względu na budowę cząsteczek można dokonać następującego podziału sacharydów:



Fot. 121. Zachowanie cukru pod wpływem stężonego roztworu H_2SO_4 : a) żółknięcie, b) zwęglenie.

Sacharydy (cukry, węglowodany)

– związki organiczne zbudowane z węgla, wodoru i tlenu, o wzorze ogólnym $C_n(H_2O)_m$.

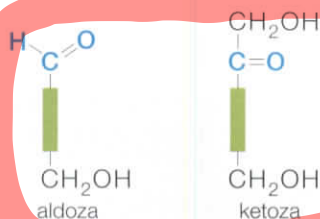
4.5.1. Monosacharydy – cukry proste

Aldozy zawierają
w cząsteczce grupę
–CHO, ketozy – grupę
–CO–.

Cząsteczki
monosacharydów mają
kilka grup
hydroksylowych –OH
i jedną grupę
karbonylową:
aldehydową –CHO lub
ketonową –CO–.

Monosacharydy (cukry proste) to dzielą się na:

- **aldozy** (polihydroksyaldehydy), które w cząsteczce zawierają grupy hydroksylowe –OH i grupę aldehydową –CHO,
- **ketozy** (polihydroksyketony), zawierające w cząsteczce grupy hydroksylowe –OH i grupę ketonową –CO–:



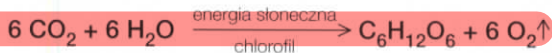
■ Nazewnictwo monosacharydów

Nazwy systematyczne sacharydów są zbyt długie i skomplikowane, więc nie stosuje się ich. Zwykle używa się nazw zwyczajowych sacharydów, z charakterystyczną dla nich końcówką **-oza**, np. glukoza, galaktoza, fruktoza.

■ Otrzymywanie monosacharydów

Glukoza powstaje w reakcji **fotosyntezy**. Jest to złożony proces fotochemiczny, polegający na przekształcaniu tlenku węgla(IV) i wody w glukozę. 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:

proces fotosyntezy

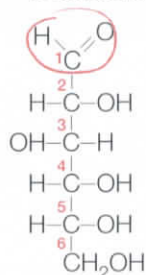


Fotosynteza to ciąg reakcji chemicznych zachodzący pod wpływem światła. W ich efekcie następuje zamiana energii słonecznej w energię wiązań chemicznych. Wiązanie CO₂ i wytwarzanie glukozy to jeden z najważniejszych procesów w cyklicznym obiegu węgla w przyrodzie.

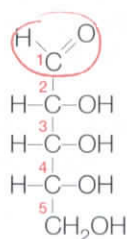
Fotosynteza jest złożonym, wieloetapowym procesem, w którym uczestniczą liczne pośrednie związki chemiczne. Ocenia się, że w tym procesie w ciągu roku powstaje na Ziemi 10¹¹ t (100 mld t) glukozy. Żaden inny związek chemiczny, naturalny czy syntetyczny, nie powstaje na taką skalę.

Klasyfikacja monosacharydów

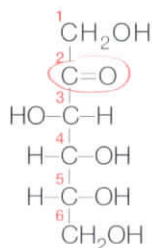
Klasyfikacja monosacharydów uwzględnia liczbę atomów węgla w cząsteczce (tabela 23.). Triozy zawierają 3 atomy węgla w cząsteczce, **tetrozy** – 4, **pentozy** – 5, **heksozy** – 6. **Glukoza jest aldoheksozą, a fruktoza – ketoheksozą.**



glukoza
aldohexsoza



ryboza
aldopentoza



fruktoza
ketohekssoza

Tabela 23. Klasyfikacja monosacharydów ze względu na liczbę atomów węgla w cząsteczce

Nazwa systematyczna	Wzór sumaryczny	Nazwa systematyczna	Wzór sumaryczny
trioza	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$	hekssoza	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
tetroza	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_4$	heptoza	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_7$
pentoza	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$	oktoza	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_8$

To jest interesujące

Glukoza dostarcza organizmowi energii niezbędnej do przeprowadzania wszystkich procesów życiowych. Każdy narząd potrzebuje jej, aby poprawnie funkcjonować (mózg zużywa ok. 120 g glukozy do podtrzymania przez dobę podstawowego metabolizmu). Dlatego bardzo ważne jest odpowiednie stężenie tego monosacharydu we krwi. Za zrównoważoną gospodarkę cukrową organizmu odpowiada m.in. hormon trzustki – insulina. Zaburzenia w działaniu trzustki lub produkcji insuliny powodują przewlekłe podwyższenie stężenia cukru we krwi (fot. 122.), co określa się jako cukrzycę. Jej następstwem są zaburzenia funkcjonowania wielu narządów. Zbyt małe stężenie glukozy – **hipoglikemia**, może być wynikiem długotrwałego głodzenia się połączonego z wysiłkiem fizycznym. Zbyt duże stężenie glukozy – **hiperglikemia** – występuje przy cukrzycy.

Fot. 122. Stężenie glukozy we krwi można zbadać glukometrem.



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.

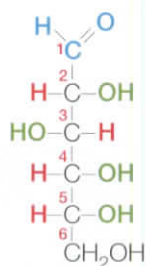
Konfiguracje łańcuchowe monosacharydów przedstawia się za pomocą **wzorów Fischera**. Ich **przestrzenne struktury pierścieniowe** przedstawia się za pomocą **wzorów Hawortha**.

zasady zapisywania
cząsteczek wzorami
Fischera

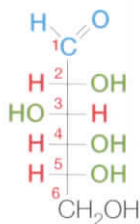
Zapisując wzory cząsteczek monosacharydów, należy pamiętać, że we wzorach Fischera:

- **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;

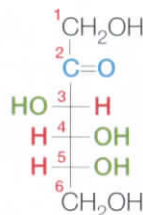
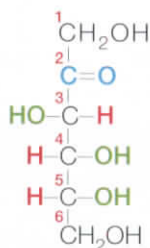
wzory Fischera
monosacharydów



glukoza

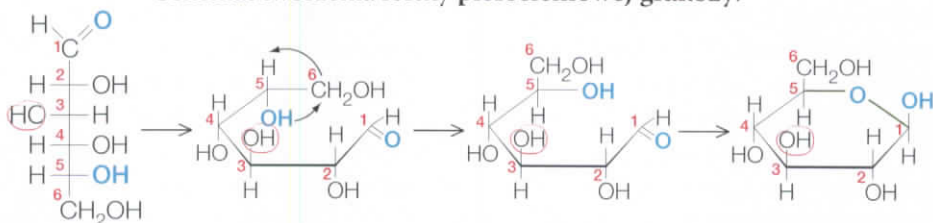


fruktoza

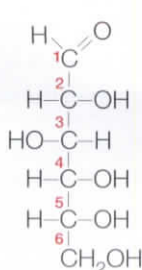


Grupa aldehydowa (lub ketonowa) może reagować z grupą hydroksylową związaną z czwartym atomem węgla lub piątym atomem węgla w cząsteczce monosacharydu. Wówczas między atomami węgla C_1 i najczęściej C_5 w aldoheksozach (lub C_2 i C_5 w ketoheksozach) tworzy się tzw. **wiązanie półacetalowe** (hemiacetalowe).

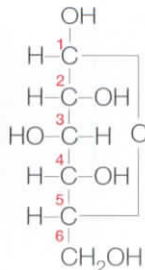
Schemat tworzenia formy **pierścieniowej glukozy**:



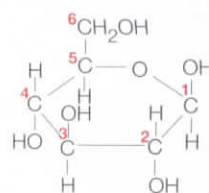
— wiązanie
półacetalowe



wzór liniowy glukozy



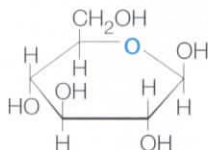
wzór pierścieniowy glukozy



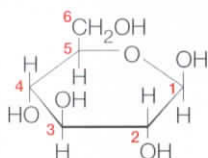
wzór taflowy glukozy

Przestrzenne struktury pierścieniowe przedstawia się za pomocą **wzorów Hawortha**, nazywanych **wzorami taflowymi**, które tworzy się zgodnie z zasadami:

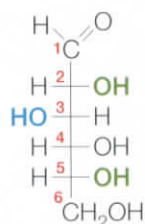
- w pierścieniach sześcioczłonowych **atom tlenu umieszcza się w prawym górnym rogu**:



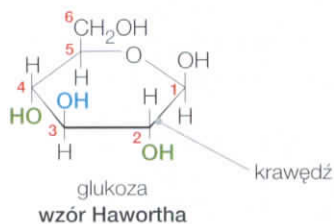
- **najdalej na prawo w pierścieniu znajduje się atom węgla C₁**. Pozostałe atomy węgla numeruje się od C₁, zgodnie z ruchem wskazówek zegara:



- 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.

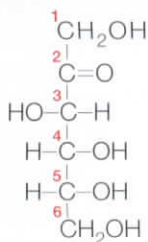


glukoza
wzór Fischera

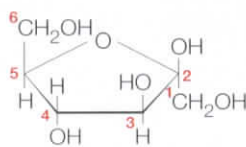


wzory cząsteczki
glukozy

Cząsteczka aldoheksozy (np. glukozy) przyjmuje formę pierścienia sześcioczłonowego, natomiast cząsteczka ketoheksozy (np. fruktozy) – formę pierścienia pięcioczłonowego:



fruktoza
wzór Fischera



fruktoza
wzór Hawortha

zasady zapisywania
cząsteczek wzorami
Hawortha

model cząsteczki
glukozy



wzory cząsteczki
fruktozy

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.

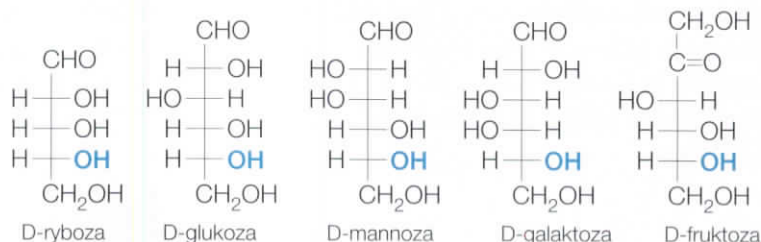
Monosacharydy w stanie krystalicznym występują jedynie w postaci cząsteczek o budowie pierścieniowej. Forma ta przeważa również w ich wodnych roztworach, w których jednak często cząsteczki pierścieniowe współistnieją z izomerami łańcuchowymi.

Izomeria monosacharydów

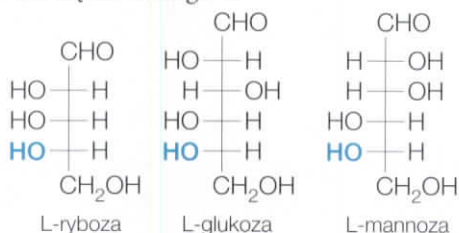
Aldopentoza o trzech asymetrycznych atomach węgla w cząsteczce, zgodnie ze wzorem 2ⁿ (patrz s. 255), może tworzyć osiem izomerów optycznych, a aldohexoza, mająca cztery asymetryczne atomy węgla w cząsteczce, aż szesnaście.

Za podstawę podziału monosacharydów na izomery D i L przyjmuje się rozmieszczenie grupy hydroksylowej –OH przy **ostatnim asymetrycznym atomie węgla** w cząsteczce sacharydu. **Odmiana D** ma tę grupę **po prawej stronie**, a **odmiana L** – po lewej stronie:

W środowisku przyrodniczym występują głównie sacharydy o konfiguracji D.

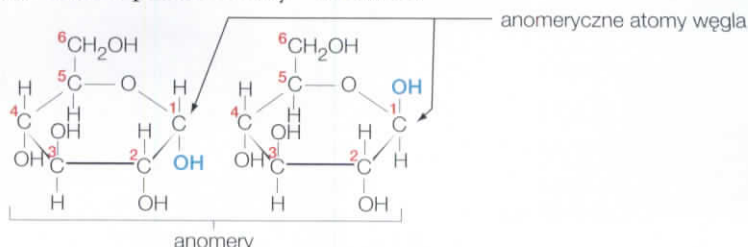


Lustrzane odbicia – enancjomery – związków chemicznych szeregu D należą do szeregu L:

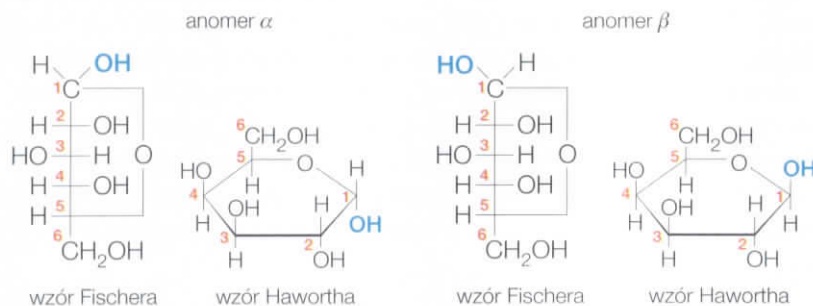


W pierścieniowej formie cząsteczki glukozy pojawił się jeszcze jeden (C₁) asymetryczny atom węgla, tzw. **anomeryczny atom węgla**. Powstał izomer pierścieniowy – **anomer**:

Anomery
– stereoizomery różniące się rozmieszczeniem podstawników –H i –OH przy anomerycznym atomie węgla w cyklicznych odmianach sacharydów.



Różne rozmieszczenie nowej grupy hydroksylowej $-OH$ przy pierwszym atomie węgla C_1 w aldozach i drugim atomie węgla C_2 w ketozach jest podstawą do określania form izomerycznych 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:

- skręcalności,
- konfiguracji względnej,
- położenia grupy hydroksylowej $-OH$ przy anomerycznym atomie węgla w cząsteczce.

Ilustruje to zapis nazwy glukozy:

α -D-(+) glukoza



W wodnym roztworze ponad 99% cząsteczek glukozy występuje w jednej z form cyklicznych.

Odmiany α i β można otrzymać w procesie krystalizacji (patrz s. 26–27) wodnych roztworów glukozy w różnych temperaturach. Odmiany te różnią się wartością kąta skręcania płaszczyzny polaryzacji światła przez ich wodne roztwory (tabela 24.).

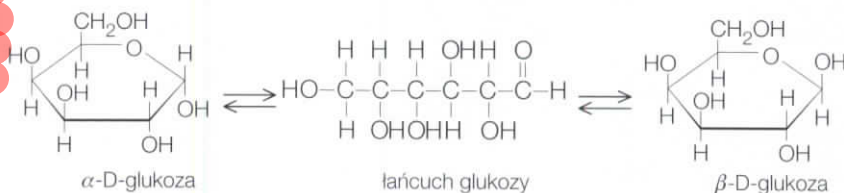
Tabela 24. Skręcalność właściwa izomerów glukozy

Odmiana izomeryczna	α -D-(+) glukoza	β -D-(+) glukoza
Skręcalność właściwa	+112° zmniejsza się stopniowo do +53°	+19° zwiększa się stopniowo do +53°

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 odmiany α w odmianę β i odwrotnie, aż do ustalenia się równowagi. Stan równowagi między formą α -D-glukozy i formą β -D-glukozy poprzez formę łańcuchową 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 anometrycznych α i β nosi nazwę **mutarotacji** [łac. *mutare* 'zmieniać', *rotatio* 'obróć'] i jest charakterystyczną właściwością monosacharydów:

Mutarotacja

– zmiana wartości liczbowej kąta skręcania płaszczyzny światła spolaryzowanego spowodowana stopniowym przechodzeniem anomeru α w anomer β



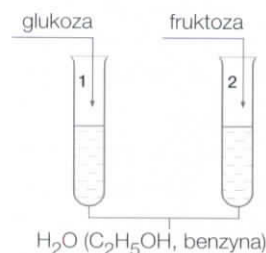
Właściwości monosacharydów

Doświadczenie 61.

Badanie właściwości glukozy i fruktozy

- Określ stan skupienia, barwę, zapach oraz rozpuszczalność glukozy i fruktozy w wodzie, etanolu i benzynie (schemat).
- Zbadaj odczyn roztworów glukozy i fruktozy.

Co obserwujesz?



Fot. 123. Glukoza – często zauważalna biała barwa tej substancji zależy od stopnia jej rozdrobnienia.

Glukoza i fruktoza są bezbarwnymi substancjami stałymi (fot. 123.) 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.

Odczyn wodnych roztworów glukozy i fruktozy jest obojętny. Dobra rozpuszczalność tych związków chemicznych świadczy o budowie polarnej ich cząsteczek.

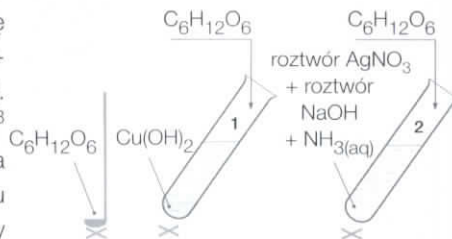
Doświadczenie 62.



Reakcje charakterystyczne glukozy i fruktozy

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 wkrapłaj 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 kroplami dodawaj wody amoniakalnej, aż do rozpuszczenia się powstałej substancji. Do otrzymanego roztworu wlej ok. 3 cm^3 stężonego roztworu glukozy i całość lekko ogrzewaj (schemat). Doświadczenia powtórz, używając fruktozy.

Co obserwujesz?



Podczas ogrzewania glukoza (fot. 124.) 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 dla fruktozy.

Glukoza i fruktoza ulegają reakcji spalania zgodnie z równaniem:



W reakcji CuSO_4 z NaOH powstaje niebieski, galaretowaty osad wodorotlenku miedzi(II) $\text{Cu}(\text{OH})_2$:



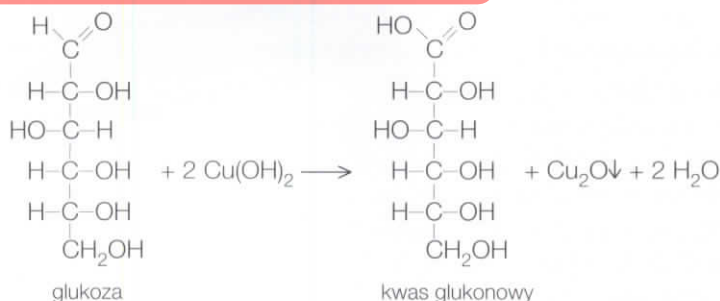
Pod wpływem ogrzewania wodorotlenku miedzi(II) z roztworem glukozy tworzy się ceglastoczerwony osad tlenku miedzi(I). Jest to reakcja chemiczna charakterystyczna dla aldehydów, nazywana próbą Trommera (patrz s. 165). Pozytywny wynik tej reakcji chemicznej w wodnym roztworze glukozy wskazuje na obecność w jej cząsteczce grupy aldehydowej.



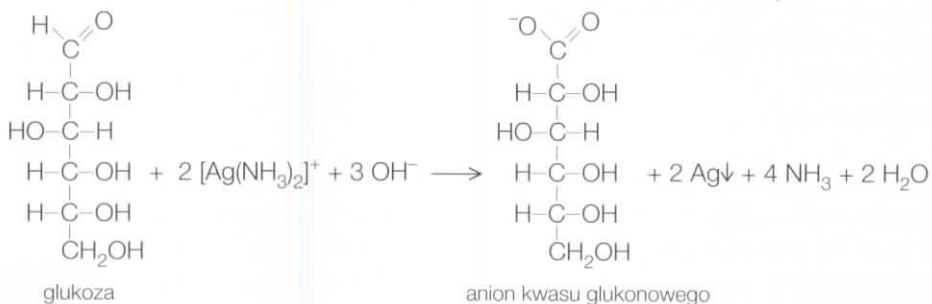
Fot. 124. Spalanie glukozy.

Pod wpływem glukozy nastąpiła redukcja miedzi(II) do miedzi(I).
 Glukoza ma więc **właściwości redukujące**, sama zaś **utlenia się w tej reakcji chemicznej do kwasu glukonowego**:

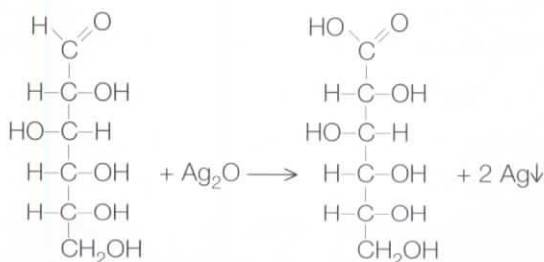
próba Trommera



W reakcji AgNO_3 z NaOH i wodą amoniakalną 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. 164). Jej pozytywny wynik potwierdza obecność grupy aldehydowej w cząsteczce glukozy i jej właściwości redukujące:

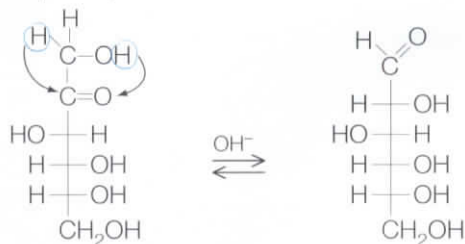


uproszczony zapis
 próby Tollensa



Fruktoza, która jest ketozą, również wykazuje właściwości redukujące, pomimo że ketony dają negatywny wynik prób Tollensa i Trommera. W środowisku 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:



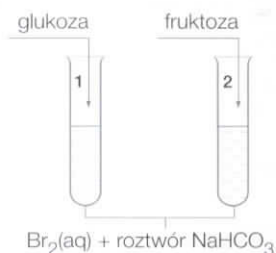
Nie można odróżnić glukozy od fruktozy za pomocą prób Tollensa i Trommera.

Doświadczenie 63. Br₂

Odróżnianie glukozy od fruktozy

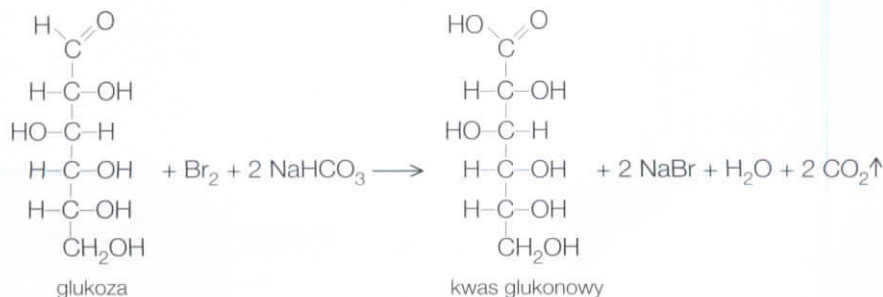
Do dwóch probówek z wodą bromową i dodatkiem roztworu wodorowęglanu sodu wprowadź: do 1. – wodny roztwór glukozy, a do 2. – wodny roztwór fruktozy (schemat).

Co obserwujesz?

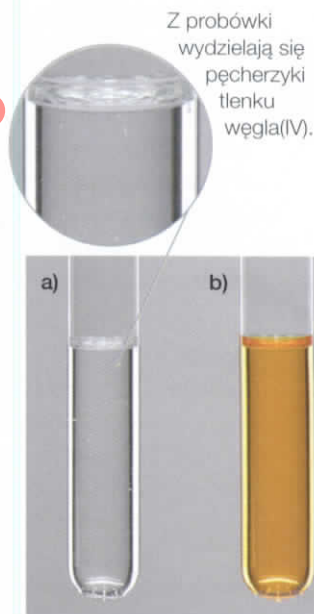


W probówce 1. woda bromowa się odbarwia. Wydzielają się także pęcherzyki gazu (fot. 125.a). W probówce 2. nie widać zachodzących zmian (fot. 125.b).

Woda bromowa w obecności wodnego roztworu wodorowęglanu sodu utlenia glukozę. Zachodzi reakcja chemiczna zgodnie z równaniem:



Woda bromowa w obecności wodnego roztworu NaHCO₃ nie utlenia fruktozy, która należy do ketoz. Reakcja chemiczna z wodą bromową pozwala na odróżnienie aldoz od ketoz.



Fot. 125. Odróżnianie wodnych roztworów glukozy i fruktozy.

Zastosowania i 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. Ze względu na słodki smak oraz właściwości konserwujące monosacharydów w największym stopniu wykorzystuje je przemysł spożywczy, a w szczególności cukrowniczy.

Przemysł spożywczy

Syrop **glukozowo-fruktozowy** służy m.in. do produkcji soków warzywnych i owocowych, napojów izotonicznych oraz dżemów. W wyniku redukcji monosacharydów uzyskuje się również inne substancje słodzące, tj. sorbitol (z **glukozy** $C_6H_{12}O_6$) oraz ksylitol (z **ksylozy** $C_5H_{10}O_5$).

Sport

Ryboza $C_5H_{10}O_5$ to popularny wśród sportowców suplement diety. Wspomaga rozwój mięśni oraz skraca czas regeneracji zasobów energii po wyczerpujących treningach. Sacharyd ten jest składnikiem m.in. kwasów rybonukleinowych oraz witaminy B_{12} .



Medycyna

Glukoza $C_6H_{12}O_6$ jest podstawowym składnikiem odżywczych wlewów kroplowych, czyli kroplówek, aplikowanych osłabionym pacjentom. Inny monosacharyd – **mannozę** $C_6H_{12}O_6$ – stosuje się w leczeniu dróg moczowych.

Gdzie występują monosacharydy?

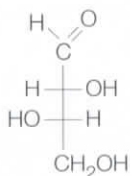
Tkanki niektórych roślin w wyniku uszkodzenia mogą produkować tzw. gumę. Przykładem tego typu wydzieliny jest m.in. **guma arabska** – substancja pozyskiwana z odpowiednich gatunków **akacji**. W jej skład wchodzi m.in. arabinoza $C_5H_{10}O_5$. Innymi monosacharydami, które znajdują się w gumach roślinnych, np. **czereśniowych, śliwowych, migdałowych**, są ksyloza $C_5H_{10}O_5$ i mannoza $C_6H_{12}O_6$.



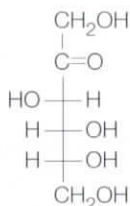
Rozwiąż zadania

1. Określ, które z podanych monosacharydów są aldozami, a które ketozami. Podaj ogólną nazwę danego monosacharydu, uwzględniającą liczbę atomów węgla.

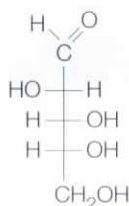
a)



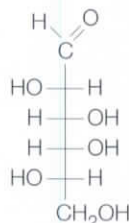
b)



c)



d)

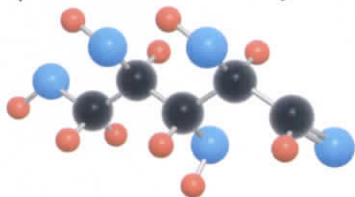


2. Aloza jest aldoheksozą, w której wszystkie grupy hydroksylowe są umieszczone po prawej stronie łańcucha węglowego. Narysuj wzór łańcuchowy Fischera i wzór pierścieniowy Hawortha tego sacharydu.

3. Ustal wzór sumaryczny monosacharydu o masie cząsteczkowej 180 u, zawierającego 40% węgla i 6,67% wodoru (procenty masowe).

4. W wyniku fermentacji alkoholowej glukozy otrzymano 2,3 kg etanolu. Oblicz masę glukozy, którą poddano fermentacji, oraz objętość (w warunkach normalnych) powstałego tlenku węgla(IV).

5. Napisz wzór Fischera enancjomeru, którego cząsteczkę przedstawia model.

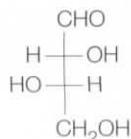


Modele: ● atomu tlenu ● atomu wodoru ● atomu węgla

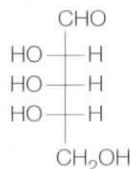
6. Napisz wzór Fischera enancjomeru D-fruktozy.

7. Określ, które wzory Fischera przedstawiają monosacharydy szeregu D, a które – monosacharydy szeregu L.

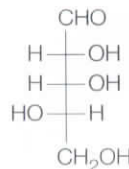
a)



b)



c)



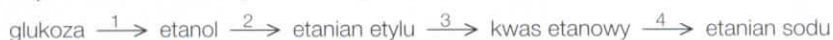
d)



8. Oblicz, czy 8 moli tlenu wystarczy do całkowitego spalania 2 moli glukozy.

9. Oblicz stężenie procentowe roztworu glukozy, w którym na 1 mol glukozy przypada 10 moli wody.

10. Zapisz równania reakcji chemicznych (1–4) przedstawionych na schemacie.



4.5.2. Disacharydy – dwucukry

Disacharydy (dwucukry)

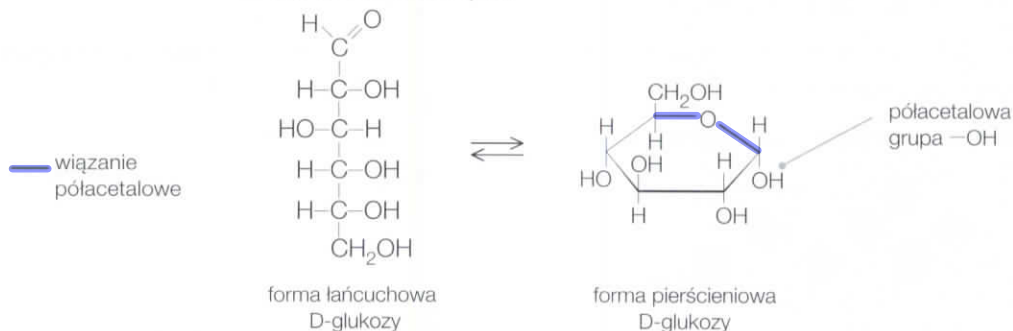
- związki organiczne
- utworzone w wyniku
- połączenia dwóch
- cząsteczek
- monosacharydów.

Disacharydy (dwucukry) to związki organiczne, których cząsteczki są zbudowane z dwóch reszt monosacharydowych połączonych wiązaniem glikozydowym.

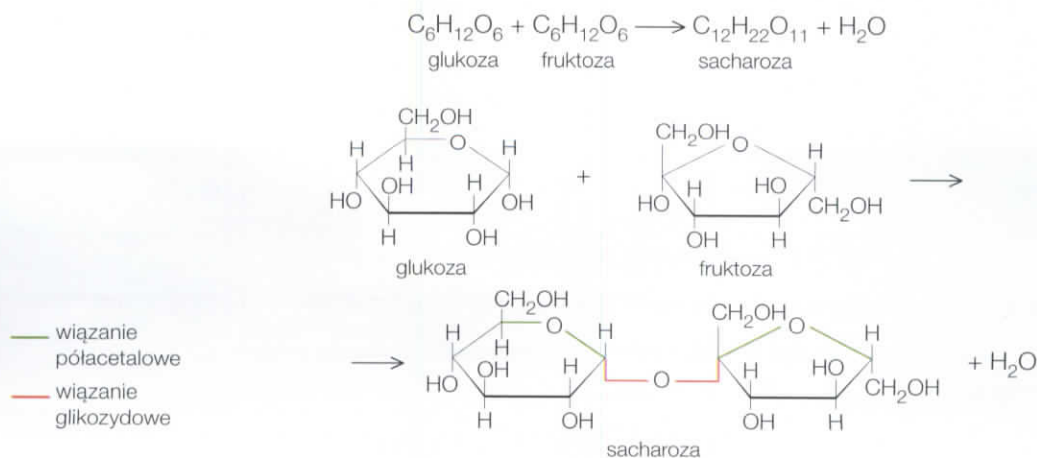
■ Powstawanie wiązania glikozydowego

Wiązanie glikozydowe może powstać w reakcji kondensacji **półacetalowej grupy hydroksylowej** –OH jednego monosacharydu z dowolną grupą –OH drugiego monosacharydu z wydzielaniem cząsteczki wody.

Półacetalowa grupa –OH to ta, która powstała w reakcji tleni grupy karbonylowej (grupy aldehydowej lub ketonowej) z grupą hydroksylową w cząsteczce sacharydu:



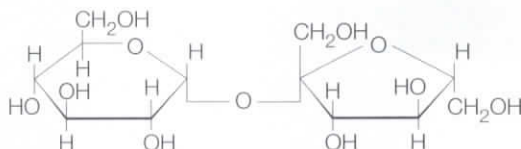
W wyniku tej wewnątrzcząsteczkowej reakcji chemicznej cząsteczka sacharydu z formy łańcuchowej przechodzi w formę pierścieniową. Nowo utworzona grupa –OH (półacetalowa) może reagować dalej, tworząc **wiązanie glikozydowe**, nazywane też **wiązaniem O-glikozydowym**, gdyż reszty monosacharydowe łączą się przez atom tlenu:



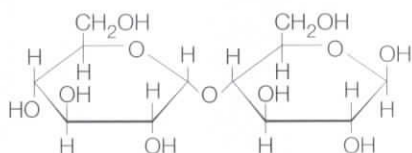
Izomeria disacharydów

W przyrodzie 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:

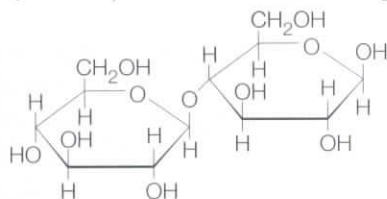
- **sacharoza**, której cząsteczka jest zbudowana z reszt glukozy i fruktozy:



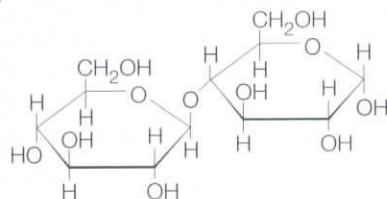
- **maltoza**, której cząsteczka składa się z dwóch reszt glukozy:



- **laktoza**, której cząsteczka jest zbudowana z reszt glukozy i galaktozy:



- **celobioza**, której cząsteczka składa się z dwóch reszt glukozy:



To jest interesujące

Cukier trzcinowy z trzciny cukrowej (fot. 126.) 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. 126. Trzcina cukrowa zawiera ok. 25% sacharozy.



Właściwości disacharydów

Doświadczenie 64.



NaOH, AgNO₃, NH₃ · H₂O



CuSO₄



CuSO₄, AgNO₃, NH₃ · H₂O

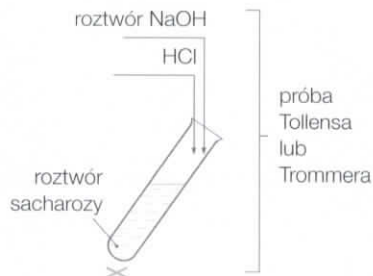


AgNO₃

Badanie właściwości sacharozy

a) Określ stan skupienia, barwę, zapach, rozpuszczalność w wodzie, palność i odczyn wodnego roztworu sacharozy. b) Zbadaj, czy sacharoza ma właściwości redukujące – przeprowadź w tym celu próbę Trommerna lub Tollensa. c) Do próbki wlej ok. 5 cm³ roztworu sacharozy, dodaj 3 cm³ kwasu chlorowodorowego i gotuj kilka minut. Następnie zawartość próbki zobojętnij roztworem wodorotlenku sodu i wykonaj próbę Trommerna lub Tollensa (schemat).

Co obserwujesz?



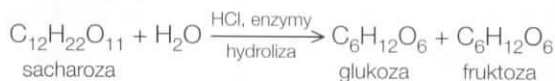
Fot. 127. Sacharoza – często zauważalna biała barwa tej substancji zależy od stopnia jej rozdrobnienia.

Sacharoza jest białą (fot. 127.), bezwonną, dobrze rozpuszczalną w wodzie substancją stałą. Podczas wykonywania prób Tollensa lub Trommerna nie obserwuje się zmian. Natomiast produkt reakcji sacharozy z kwasem chlorowodorowym tworzy lustro srebrne w próbie Tollensa. W wyniku próby Trommerna powstaje ceglastoczerwony osad.

Odczyn wodnego roztworu sacharozy jest obojętny. Sacharoza spala się, nie redukuje związków miedzi(II) ani srebra(I) – negatywny wynik prób Trommerna i Tollensa. Wynika stąd, że **sacharoza nie ma właściwości redukujących**, a w jej cząsteczce nie ma grupy aldehydowej.

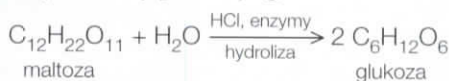
W wodnym roztworze sacharoza pod wpływem kwasu chlorowodorowego ulega reakcji **hydrolizy** i powstają produkty o właściwościach redukujących. Stąd wniosek, że **w wyniku hydrolizy sacharozy powstają monosacharydy**.

reakcja hydrolizy
sacharozy



Maltoza jest substancją stałą, dobrze rozpuszczalną w wodzie. W wyniku hydrolizy maltozy powstaje **glukoza**:

reakcja hydrolizy
maltozy



Katalizatorem tej reakcji chemicznej, podobnie jak w przypadku sacharozy, może być kwas, ale głównie wykorzystuje się katalityczne działanie maltazy – enzymu zawartego w kielkach jęczmienia (fot. 128.). Enzymatyczną hydrolizę maltozy wykorzystuje się w browarnictwie do produkcji piwa.

Doświadczenie 65.



NaOH, AgNO₃, NH₃ · H₂O



AgNO₃, NH₃ · H₂O

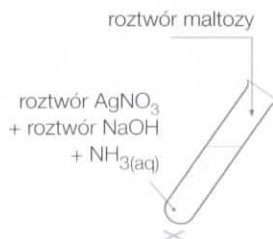


AgNO₃

Badanie właściwości redukujących maltozy – próba Tollensa

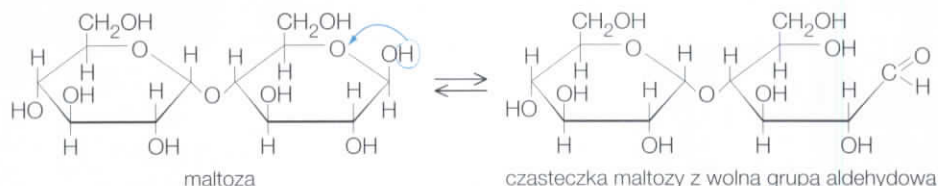
Do probówki z ok. 2 cm³ azotan(V) srebra(I) dodaj kilka kropli stężonego roztworu wodorotlenku sodu. Następnie dodawaj kroplami wodę amoniakalną, aż do całkowitego rozpuszczenia się powstałego osadu. Do otrzymanego roztworu wlej ok. 3 cm³ roztworu maltozy. Całość ogrzewaj (schemat).

Co obserwujesz?

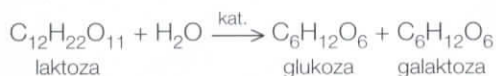


Na ściankach probówki powstaje osad – lustro srebrne.

Maltoza ma właściwości redukujące. Próba Tollensa zachodzi, ponieważ jeden z pierścieni w cząsteczce maltozy „otwiera się” – w cząsteczce powstaje grupa aldehydowa:



Laktoza, podobnie jak inne disacharydy, jest substancją stałą, dobrze rozpuszczalną w wodzie. W wyniku jej hydrolizy powstają monosacharydy – **glukoza i galaktoza**:



Hydroliza laktozy również odbywa się z udziałem kwasów lub enzymu – laktazy (fot. 129.).

W odróżnieniu od sacharozy **maltoza i laktoza mają właściwości redukujące.**



Fot. 128. Maltaza występuje także w kielkujących ziarnach prosa.



Fot. 129. Laktaza nadaje lodom lepszy smak i gładką strukturę.

Zastosowania oraz występowanie disacharydów

Sacharoza, maltoza i laktoza są najważniejszymi przedstawicielami bardzo licznej grupy disacharydów. Występują one prawie we wszystkich roślinach, a niektóre powstają też w organizmach zwierząt.



Przemysł spożywczy

Sacharoza to najpowszechniej używana substancja słodząca. W wyższym stężeniu (powyżej 65%) wykazuje działanie konserwujące, co wykorzystuje się przy produkcji przetworów, m.in. dżemów i konfitur. Pod wpływem wysokiej temperatury sacharoza ulega karmelizacji. Powstający karmel stosuje się do produkcji cukierków i jako barwnik napojów typu cola. **Laktoza** jest składnikiem żywności przeznaczonej dla niemowląt oraz zabielać do kawy.

Przemysł chemiczny

Laktoza jest składnikiem mieszanin dymotwórczych, wykorzystywanych m.in. w świecach dymnych. Świece dymne stosuje się najczęściej w wojsku oraz ratownictwie. **Sacharoza** jest substratem w reakcjach otrzymywania etanolu oraz glicerolu.



Przemysł farmaceutyczny

Laktozę stosuje się jako wypełniacz kapsulek i tabletek oraz obojętny dodatek do preparatów w postaci proszków (zwiększa objętość). Wykorzystuje się ją także jako pożywkę dla pędzłaka – grzyba produkującego penicylinę. W lekach **sacharoza** służy jako substancja słodząca.

Gdzie występują disacharydy?

Najwięcej sacharozy zawierają **buraki cukrowe** i **trzcina cukrowa**. Otrzymywana z nich sacharoza jest nazywana cukrem buraczanym, cukrem trzcinowym lub po prostu cukrem. 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.



To jest interesujące

Sacharoza jest związkiem chemicznym, według którego określa się poziom słodkości innych substancji. Fruktaza jest prawie dwukrotnie słodsza od sacharozy, glukoza ma ok. 70% słodkości sacharozy. Najbardziej podobny do sacharozy pod względem słodkości jest **ksylit** $C_5H_{12}O_5$. Nie jest on rozkładany przez bakterie powodujące próchnicę zębów, dlatego stosuje się go do słodzenia m.in. past do zębów. Podobne właściwości ma **erytryt** $C_4H_{10}O_4$ (fot. 130.).

Fot. 130. Erytryt zawiera znacznie mniej kalorii od sacharozy i nie powoduje próchnicy. Występuje m.in. w sosie sojowym i w owocach.



Rozwiąż zadania

1. Oblicz, ile gramów sacharozy należy poddać hydrolizie, aby otrzymać 9 g 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. Napisz równanie reakcji spalania całkowitego sacharozy.
4. Pewien rodzaj trzciny cukrowej zawiera 22% sacharozy (procenty masowe). Oblicz wydajność tego procesu, w którym z 1 t trzciny cukrowej otrzymano 187 kg tego sacharydu.
5. Roztwór maltozy o stężeniu 20% poddano hydrolizie. Oblicz stężenie procentowe glukozy w roztworze po hydrolizie.
6. 1 mol sacharozy rozpuszczono w 2 dm^3 wody. Oblicz stężenie procentowe otrzymanego roztworu.
7. Stężenie procentowe 1200 g roztworu monosacharydów po hydrolizie laktozy wynosi 10%. Oblicz, ile gramów laktozy poddano hydrolizie.

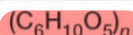
4.5.3. Polisacharydy – wielocukry

Polisachrydy

– wielocząsteczkowe
związki chemiczne
utworzone z cząsteczek
monosacharydów
połączonych wiązaniami
glikozydowymi.

Polisacharydy są wielocząsteczkowymi związkami chemicznymi zbudowanymi z cząsteczek monosacharydów powiązanych z sobą wiązaniami glikozydowymi. Najważniejszymi polisacharydami, zbudowanymi wyłącznie z cząsteczek glukozy, są **skrobia i celuloza**.

Wzór ogólny polisacharydów:

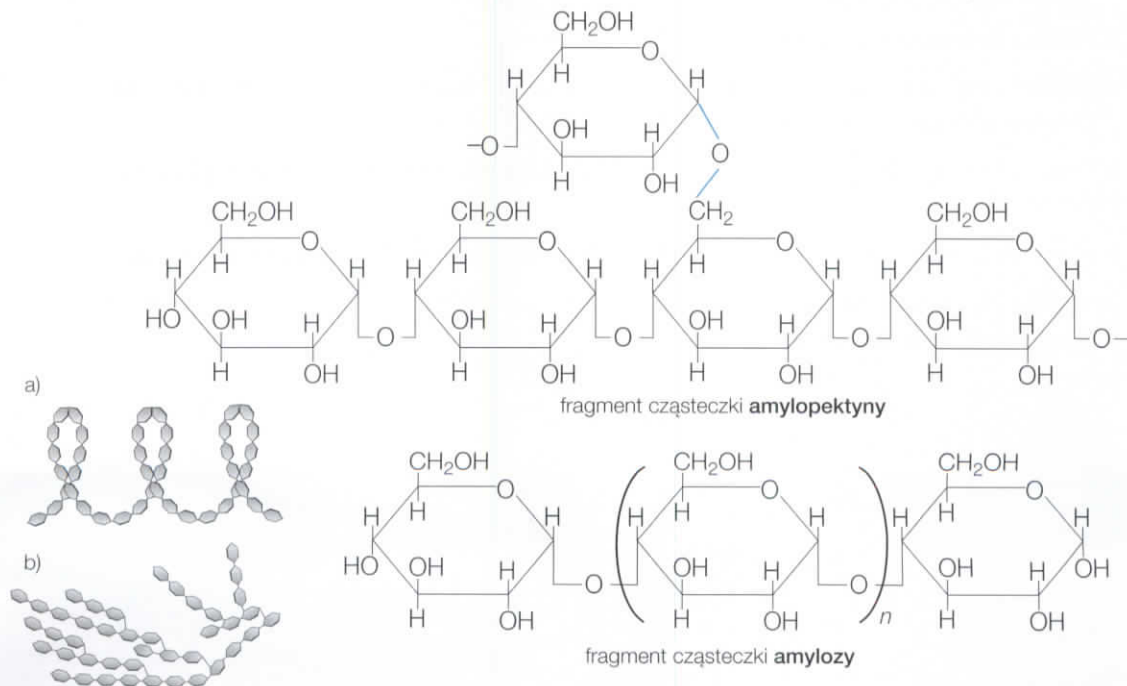


gdzie:

n – liczba naturalna – kilkaset do kilku tysięcy (zależy od rodzaju polisacharydu).

■ Budowa cząsteczki skrobi

Cząsteczkę skrobi tworzą dwa polisacharydy: **amiloza** (ok. 20% skrobi) i **amylopektyna**, która jest głównym składnikiem skrobi. Zasadnicza różnica w budowie tych polisacharydów polega na tym, że **amiloza ma budowę liniową**, a **amylopektyna tworzy łańcuchy rozgałęzione**:



Rys. 36. Schemat budowy cząsteczek a) amylozy, b) amylopektyny.

Amiloza tworzy spiralnie zwinięty łańcuch (rys. 36.a), natomiast amylopektyna – liczne odgałęzienia boczne (rys. 36.b).

To jest interesujące

Cząsteczki skrobi tworzą ziarna o różnym kształcie. Zarówno kształty ziaren, jak i rozmiary zależą od pochodzenia skrobi i wahają się od kilku (skrobia ryżowa) do kilkudziesięciu (skrobia ziemniaczana) mikrometrów (10^{-6} m). Przykłady ziaren skrobi pochodzących z różnych roślin, zobrazowane metodą mikroskopii sił atomowych (AFM) i elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM) przedstawiono poniżej.

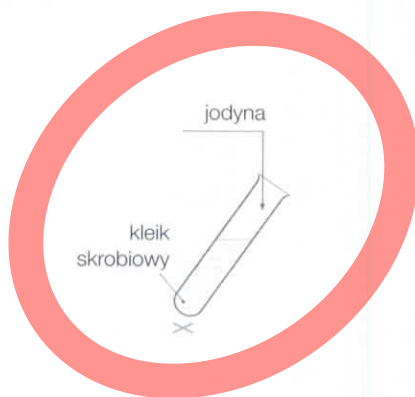


Właściwości skrobi

Doświadczenie 66.

Badanie właściwości skrobi

- Określ stan skupienia, barwę i zapach skrobi oraz jej rozpuszczalność w wodzie.
- Mieszaninę skrobi i wody wlej do zlewki 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. Co obserwujesz?



Skrobia to bezpostaciowa substancja stała o białej barwie, bez smaku i zapachu. Nie rozpuszcza się w zimnej wodzie. W gorącej – pęcznieje (fot. 131.b). Kleik skrobiowy barwi się na ciemnoniebiesko (fot. 131.c) pod wpływem roztworu jodu.

Zabarwienie kleiku skrobiowego jest spowodowane usytuowaniem się jodu wewnątrz skręconego spiralnie łańcucha reszt glukozy w amylozie i powstaniem barwnego związku koordynacyjnego. Jest to **reakcja charakterystyczna**, która umożliwia wykrycie nawet minimalnych ilości skrobi.

Doświadczenie 67.

Wykrywanie skrobi w artykułach spożywczych

Na szkiełkach zegarkowych umieść: plaster ziemniaka, przekrojone ziarno ugotowanej fasoli, rozgniecione ziarno kukurydzy. Na każdej substancji umieść kroplę jodyny. Co obserwujesz?

Na badanych substancjach pojawiło się ciemnoniebieskie zabarwienie.

Ciemnoniebieskie zabarwienie substancji na szkiełkach zegarkowych świadczy o obecności skrobi.



Fot. 131. 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.

Doświadczenie 68. HCl

Hydroliza kwasowa skrobi

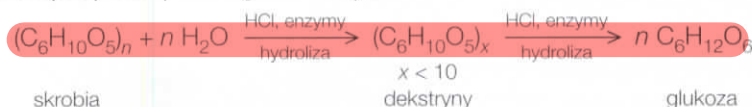
W probówce umieść ok. 2 cm³ kleiku skrobiowego. Następnie dodaj 2 krople jodyny i ok. 2 cm³ roztworu kwasu chlorowodorowego. Zawartość probówki wymieszaj bagietką i ogrzewaj (schemat). Co obserwujesz?



Ciemnoniebieska barwa substancji w probówce zanika pod wpływem ogrzewania.

Ogrzewanie skrobi z wodą w obecności kwasów lub enzymów (np. amylazy) prowadzi do **hydrolizy skrobi**. Jest to reakcja złożona, mająca wiele etapów pośrednich. Taka sama reakcja chemiczna zachodzi w organizmie człowieka.

Skrobia nie od razu ulega całkowitemu rozpadowi na glukozę. W pierwszym etapie hydrolizy ze skrobi powstają **dekstryny**, złożone z mniejszej liczby reszt glukozowych:

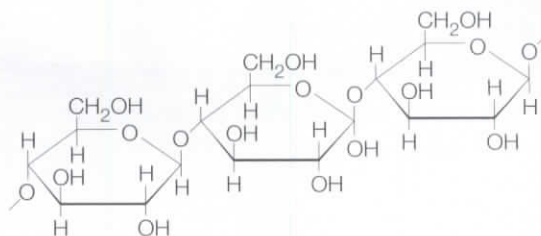


Skrobia odgrywa istotną rolę w żywieniu ludzi, roślin i zwierząt. Rośliny odkładają ją w bulwach i nasionach, tworząc w ten sposób materiał zapasowy dla nowych pędów. Dla ludzi i zwierząt produkty hydrolizy skrobi stanowią podstawowy, niezbędny do życia materiał energetyczny.

■ Budowa cząsteczki celulozy

Celuloza to polisacharyd zbudowany z reszt glukozowych połączonych w długie, nierozgałęzione łańcuchy wiązaniami glikozydowymi o odmiennej konfiguracji niż w skrobi.

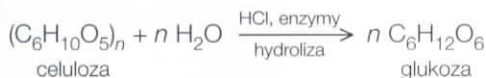
Cząsteczki celulozy są zbudowane z dużej liczby reszt glukozowych. Jej wzór to $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_m$, przy czym zależnie od pochodzenia celulozy wartość m może wynosić 100–10 000. Celuloza jest polimerem o masie cząsteczkowej rzędu kilku milionów jednostek unitów:



fragment łańcucha **celulozy**

Różnice w budowie skrobi i celulozy mają ogromne konsekwencje. Celuloza jest najbardziej rozpowszechnioną formą glukozy na Ziemi. Ludzkość nie miałaby problemów żywnościowych, gdyby organizm dysponował enzymem potrzebnym do hydrolizy wiązań glikozydowych w celulozie.

Enzymy hydrolizujące celulozę występują w mikroorganizmach żyjących w przewodzie pokarmowym termitów (fot. 132.) i przeżuwaczy, np. kóz, owiec i krów. Dlatego zwierzęta te mogą odżywiać się celulozą z roślin, jakie zjadają. Reakcja hydrolizy celulozy przebiega zgodnie z równaniem:

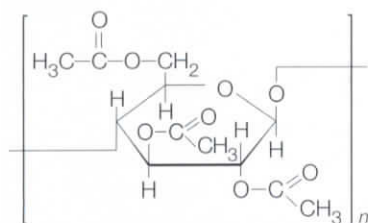


■ Właściwości celulozy

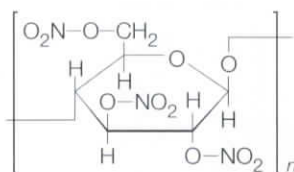
Czysta celuloza (fot. 133.) jest białą, włóknistą masą bez smaku i zapachu. Jej włókna nie rozpuszczają się w wodzie.

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 siarczanu(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.

Znaczące zastosowania praktyczne mają produkty estryfikacji celulozy: **trioctan celulozy i triazotan(V) celulozy**.



wzór półstrukturalny
trioctanu celulozy



wzór półstrukturalny
triazotanu(V) celulozy

Trioctan celulozy (acetoceluloza, CTA) otrzymuje się w wyniku reakcji estryfikacji celulozy i kwasu etanowego, w obecności kwasu siarkowego(VI) w temperaturze 60°C. Trioctan celulozy jest przezroczystą substancją stałą, którą można formować w cienkie folie oraz włókna o dużej wytrzymałości. Folie z trioctanu celulozy służą do produkcji m.in. taśm filmowych (fot. 134.).

Triazotan(V) celulozy (nitrceluloza) powstaje w reakcji estryfikacji celulozy kwasem azotowym(V) w obecności kwasu siarkowego(VI). Jest substancją łatwo palną, stosowaną m.in. do produkcji materiałów wybuchowych.



Fot. 132. Termity żywią się celulozą.

reakcja hydrolizy
celulozy



Fot. 133. Celuloza.



Fot. 134. W kinach nadal wykorzystuje się taśmy wytwarzane przy użyciu trioctanu celulozy.

Zastosowania i występowanie polisacharydów

Polisacharydy to główna postać sacharydów występujących w przyrodzie. Stanowią ważną grupę biopolimerów, które w organizmach pełnią przede wszystkim funkcje budulcowe oraz zapasowe.



Przemysł chemiczny

Celuloza jest wykorzystywana m.in. do produkcji chusteczek higienicznych. Otrzymuje się z niej celulooid – materiał, z którego wytwarza się piłki do tenisa stołowego. Celuloza jest też wykorzystywana do produkcji jedwabii octanowego i wiskozowego.

Medycyna

Celuloza służy do produkcji nici chirurgicznych. Z kolei **dekstran** – polisacharyd wytwarzany z cząsteczek glukozy przez bakterie *Leuconostoc mesenteroides* – jest stosowany jako środek krwiozastępczy w przypadkach utraty krwi lub osocza.



Przemysł spożywczy

Skrobia jest składnikiem łatwo przyswajalnej przez organizm mączki sago (otrzymywanej z rdzenia pni sagowców), stosowanej w żywieniu dzieci, a także jako dodatek do deserów. Inny polisacharyd – **mannan**, znajduje się m.in. w mączce chleba świętojańskiego, używanej jako substancja zagęszczająca (E 410).

Gdzie występują polisacharydy?

Karapaks to twardy pancerz m.in. kraba palmowego, nazywanego też rozbójnikiem. Powłoka jego ciała swoją wyjątkową wytrzymałość zawdzięcza obecności chityny – polisacharydu glukozy. Zawartość chityny w karapaksie wynosi ok. 25%. Chityna jest też składnikiem **blon komórkowych grzybów, bakterii i bezkręgowców.**



To jest interesujące

Banknoty w większości krajów na świecie wytwarza się z celulozy. Papier, na którym są drukowane amerykańskie dolary (fot. 135.) nie zawiera celulozy. Składa się ok. z 75% bawełny i z 25% lnu oraz kilku ściśle tajnych składników. Utrudnia to ich fałszowanie. Aby dolar amerykański był jeszcze trudniejszy do podrobienia, w mieszankę papieru wtapia się specjalne niebieskie i czerwone nitki.



Fot. 135. Produkcja dolarów.

Rozwiąż zadania

1. Napisz równanie reakcji spalania całkowitego skrobi.
2. Napisz równania reakcji chemicznych (1–3) przedstawionych na schemacie. Podaj nazwy tych reakcji chemicznych.



3. **Oblicz**, ile cząsteczek glukozy powstanie w wyniku reakcji hydrolizy skrobii 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 glukozę poddano fermentacji alkoholowej. **Oblicz**, ile kilogramów etanolu otrzymano, jeżeli wydajność procesu fermentacji wynosiła 20%.

Zamiast repetytorium

- **Czynność optyczna** to zdolność związku chemicznego do skręcania płaszczyzny światła spolaryzowanego w prawo lub w lewo o określony kąt.
- Czynność optyczną wykazują związki **chiralne**, tzn. mające asymetryczny atom węgla.
- Atom węgla jest **asymetryczny** wtedy, gdy jest połączony z **czterema różnymi podstawnikami**.
- **Rodzaje izomerów optycznych:**

Izomery optyczne

enancjomery

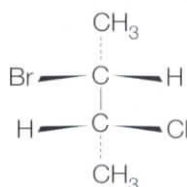
(są odbiciami lustrzanymi)

diastereoizomery

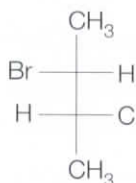
(nie są odbiciami lustrzanymi)

- Izomery optyczne związku chemicznego, np. 2-bromo-3-chlorobutanu można przedstawić za pomocą:

a) wzoru perspektywicznego



b) wzoru projekcyjnego (rzutowego) Fischera



- **Konfigurację izomerów optycznych** można określać dwoma sposobami:
 - a) konfiguracja D i L (względna – ustalana przez porównanie ze wzorcem),
 - b) konfiguracja R i S (absolutna).
- **Racematy** to równomolowe mieszaniny enancjomerów.
- **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** – wielofunkcyjne pochodne węglowodorów, w których cząsteczkach znajdują się dwie grupy funkcyjne:
 - karboksylowa $-\text{COOH}$,
 - aminowa $-\text{NH}_2$.

Typ procesu	Charakterystyka procesu
Tworzenie się soli wewnętrznej (jonu obojnego)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \text{:N}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array} \xrightleftharpoons{\text{H}_2\text{O}} \left[\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H}^+-\text{N}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array} \right]$
Reakcja z kwasami i zasadami	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}^+-\text{N}-\text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{O}^- \end{array} + \text{OH}^- \rightleftharpoons \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \text{N}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array} + \text{H}_2\text{O}$ $\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H}^+-\text{N}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H}^+-\text{N}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{COOH} \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array} \xrightleftharpoons[\text{H}^+]{\text{OH}^-} \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{COO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array} \xrightleftharpoons[\text{H}^+]{\text{OH}^-} \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$ kation aminokwasu $\text{pH} < 7$ jon obojny $\text{pH} = 7$ anion aminokwasu $\text{pH} > 7$
Kondensacja – tworzenie się peptydów	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{C}=\text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \text{NH}_2 \quad \quad \quad \text{OH} \end{array} + \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_2-\text{C}-\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH} \\ \quad \quad \quad \\ \text{NH}_2 \quad \quad \quad \text{H} \end{array} + \text{H}_2\text{O}$ wiązanie peptydowe

- **Białka** – 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. $\text{zol} \xrightleftharpoons[\text{peptyzacja}]{\text{koagulacja}} \text{żel}$
Denaturacja	Nieodwracalne ścięcie białka naruszające wyższe struktury białkowe. Zachodzi pod wpływem ogrzewania, alkoholi, kwasów, soli metali ciężkich i roztworu metanolu.
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** dzieli się na:

- **aldozy** (polihydroksyaldehydy) – zawierają w cząsteczce grupy hydroksylowe –OH i grupę aldehydową –CHO,
- **ketozy** (polihydroksyketony) – zawierają w cząsteczce grupy hydroksylowe –OH i grupę ketonową –CO–.

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 aldohexozach) oraz C ₂ i C ₅ we fruktozie (w ketohexozach).
Utlenianie glukozy (próba Tollensa i Trommera)	Glukoza wykazuje właściwości redukujące: • w próbie Tollensa redukuje Ag⁺ do metalicznego srebra, • w próbie Trommera redukuje Cu²⁺ do Cu⁺. W obu próbach glukoza utlenia się do kwasu glukonowego.
Fotosynteza	Proces powstawania glukozy: $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\text{chlorofil}]{\text{światło}} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$
Reakcja spalania glukozy	Glukoza jest źródłem energii w organizmach. W komórkach pod wpływem tlenu ulega przemianom z wydzielaniem dużej ilości energii: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 \longrightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + \text{energia}$
Fermentacja alkoholowa	Reakcja zachodząca pod wpływem enzymów, w której wyniku powstają etanol i tlenek węgla(IV): $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \xrightarrow{\text{zymaza}} 2 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2 \text{CO}_2$

- **Disacharydy** – związki organiczne, których cząsteczki są zbudowane z dwóch reszt 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. $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{kat.}} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ sacharoza glukoza fruktoza

- **Polisacharydy** – wielocząsteczkowe związki chemiczne zbudowane z cząsteczek monosacharydów powiązanych z sobą wiązaniami glikozydowymi.

Typ procesu	Charakterystyka procesu
Hydroliza	Produktem hydrolizy jest glukoza. Hydrolizę skrobi wywołują inne czynniki (enzymy) niż hydrolizę celulozy (mikroorganizmy): $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n + n \text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\text{hydroliza}]{\text{HCl, enzymy}} (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_x \xrightarrow[\text{hydroliza}]{\text{HCl, enzymy}} n \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ skrobia dekstryny glukoza $x < 10$

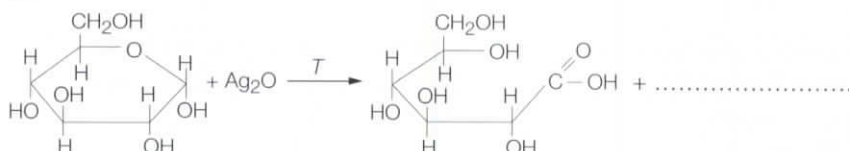
Zadania maturalne

Zadanie 1.

Uzupełnij równania reakcji chemicznych, wpisując wzory sumaryczne brakujących związków chemicznych.



3.



Zadanie 2.

Przyporządkuj równaniom reakcji chemicznych przedstawionym w zadaniu 1. podane nazwy.

hydroliza, fotosynteza, fermentacja alkoholowa, utlenianie biologiczne, próba Tollensa

Równanie reakcji 1.

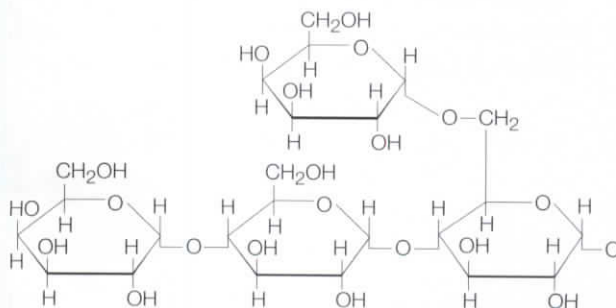
Równanie reakcji 2.

Równanie reakcji 3.

Zadanie 3.

W tabeli przedstawiono informacje dotyczące polisacharydów.

Na podstawie budowy cząsteczki skrobi oceń prawdziwość poniższych informacji (P/F).

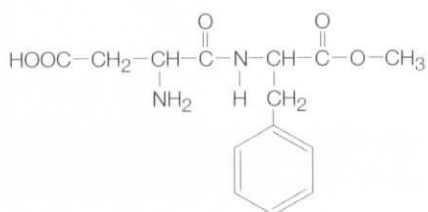


1.	Skrobia jest zbudowana z dwóch rodzajów monosacharydów.	
2.	Skrobia to polisacharyd, który nie ma właściwości redukujących.	
3.	Pierścienie reszt monosacharydowych w skrobi są pochodnymi furanu.	
4.	Reszty monosacharydowe w skrobi tworzą łańcuchy proste i rozgałęzione.	
5.	Przedstawiony fragment polisacharydu ilustruje budowę amylopektyny.	

więcej zadań
w Maturalnych Kartach Pracy

 Informacja do zadań 4.–6.

Aspartam to organiczny wielofunkcyjny związek chemiczny należący do grupy estrów peptydowych. Na produktach spożywczych oznacza się go kodem E 951. Jest około 180 razy słodszy od cukru, dlatego powszechnie wykorzystuje się go jako sztuczny środek słodzący w produktach spożywczych, zwłaszcza takich jak napoje niskokaloryczne czy guma do żucia. Można go również znaleźć w wielu wędlinach. Coraz częściej jest też wykorzystywany w przemyśle farmaceutycznym, np. do produkcji tabletek musujących. W środowisku silnie kwasowym ($\text{pH} = 3$), aspartam hydrolizuje najpierw do dipeptydu i metanolu (etap I). Następnie dipeptyd rozkłada się na wolne aminokwasy – fenyloalaninę i kwas asparaginowy (etap II), a metanol utlenia się do metanal i kwasu metanowego.



wzór półstrukturalny aspartamu

Zadanie 4.

Podkreśl nazwy wiązań chemicznych spośród podanych w nawiasie, tak aby powstały zdania zawierające prawdziwe informacje.

Reakcji aspartamu z wodą w środowisku kwasowym towarzyszy hydroliza kilku różnych wiązań chemicznych. Są nimi wiązania (estrowe / wodorowe / disiarczkowe / peptydowe / jonowe / glikozydowe).

Zadanie 5.

Napisz, za pomocą wzorów półstrukturalnych, równania reakcji chemicznych dwuetapowej hydrolizy aspartamu.

Etap I.

.....

Etap II.

.....

Zadanie 6.

Metanal i kwas metanowy (mrówkowy) to związki chemiczne o właściwościach redukujących. **Napisz równania reakcji chemicznych metanal i kwasu metanowego z wodorotlenkiem miedzi(II).**

.....

.....

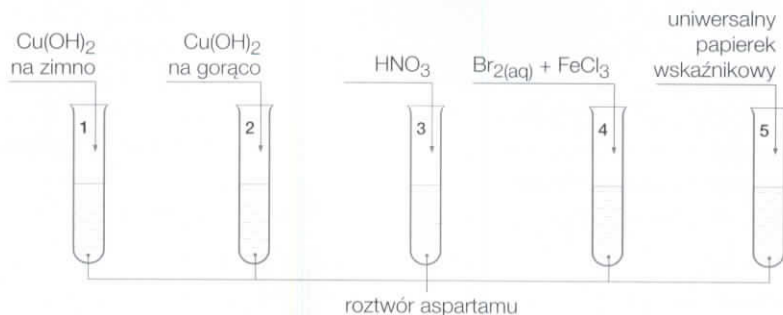
.....

.....

Zadania maturalne

Zadanie 7.

Przeprowadzono doświadczenie chemiczne przedstawione na schemacie.



Niektóre obserwacje zestawiono w tabeli.

Numer probówki	Obserwacje
1.	Osad roztwarza się, powstaje roztwór o fioletowej barwie.
2.	Osad roztwarza się, powstaje roztwór o niebieskiej barwie.
3.	Roztwór barwi się na żółto.
4.	Woda bromowa odbarwia się, powstaje żółty osad.
5.	Uniwersalny papierek wskaźnikowy barwi się na czerwony kolor.

Korzystając z informacji zamieszczonych w tabeli, uzupełnij zdania. Wybierz brakujące określenia spośród podanych.

kwasowy, obojętny, zasadowy, ksantoproteinowa, biuretowa, Tollensa, Trommera, peptydowe, estrowe, wodorowe, aromatycznym, alkilowym

- A. Aspartam to biała, krystaliczna substancja stała. Bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie. Jego wodny roztwór ma odczyn
- B. Reakcja aspartamu z wodorotlenkiem miedzi(II) $\text{Cu}(\text{OH})_2$ na zimno to reakcja, zaś reakcja ze stężonym roztworem kwasu azotowego(V) HNO_3 to reakcja Są to reakcje charakterystyczne dla białek – związków chemicznych, w których występuje wiązanie
- C. Reakcje stężonego roztworu kwasu azotowego(V) HNO_3 i wody bromowej z FeCl_3 z roztworem aspartamu dowodzą, że w cząsteczce tego związku chemicznego znajduje się grupa o charakterze

więcej zadań
w Maturalnych Kartach Pracy

Zadanie 8.

Sporządzono wodne roztwory aminokwasów: fenyloalaniny (kwasu 2-amino-3-fenylpropanowego) i kwasu asparaginowego (kwasu 2-aminobutanodiowego). Stwierdzono, że ich odczyny się różnią.

Podaj odczyn wodnego roztworu fenyloalaniny oraz odczyn wodnego roztworu kwasu asparaginowego. Wyjaśnij przyczynę różnych odczynów tych roztworów, odwołując się do budowy cząsteczek tych związków chemicznych.

Odczyn roztworu fenyloalaniny:

Odczyn roztworu kwasu asparaginowego:

Wyjaśnienie:

Zadanie 9.

Fenyloalanina w roztworach o pH = 5,48 występuje w postaci jonów obojnych.

a) **Posługując się wzorami półstrukturalnymi, napisz schemat powstawania jonu obojnego fenyloalaniny w roztworze o podanym pH.**

.....

b) **Napisz równania reakcji chemicznych, którym ulega jon obojny fenyloalaniny w środowisku kwasowym i w środowisku zasadowym.**

Środowisko kwasowe:

.....

Środowisko zasadowe:

.....

Zadanie 10*.

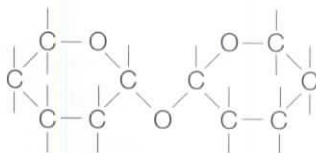
Oceń prawdziwość informacji (1–5). Wpisz literę P, jeśli zadanie jest prawdziwe, lub literę F, jeśli jest fałszywe.

1.	Racemat zawiera po 50% molowych każdego enancjomeru.	
2.	Enancjomery zachowują się przeciwnie: jeśli enancjomer o konfiguracji D ma temperaturę topnienia -15°C , to enancjomer o konfiguracji L topi się w temperaturze 15°C .	
3.	Istnieją związki chemiczne, które zawierają w swoich cząsteczkach asymetryczny atom węgla, lecz nie wykazują czynności optycznej.	
4.	Warunkiem chiralności cząsteczki związku chemicznego jest występowanie nieidentycznej cząsteczki tego związku chemicznego, będącej jej lustrzanym odbiciem.	
5.	W skład cząsteczki chiralnej nie musi wchodzić asymetryczny atom węgla.	

Zadanie 11.

Trehaloza to disacharyd, który nie ma właściwości redukujących. W wyniku reakcji hydrolizy trehalozy w środowisku kwasowym otrzymuje się, jako jedyny produkt, α -D-glukozę. Wiadomo również, że w cząsteczce trehalozy występuje wiązanie α -glikozydowe.

Uzupełnij poniższy schemat tak, aby otrzymać wzór trehalozy (w projekcji Fischera).



Zadanie 12.

Cząsteczka pewnego białka, o masie cząsteczkowej 72 000 u, składa się z 601 reszt aminokwasowych. Oblicz masę aminokwasów, które otrzymamy w wyniku całkowitej hydrolizy 125 g tego białka.

Obliczenia:

Odpowiedź:

To było na maturze!

Egzamin maturalny z chemii
Poziom rozszerzony

Źródło: CKE (PR) 2011

Zadanie 31. (2 pkt)

Zaprojektuj doświadczenie, które pozwoli na rozróżnienie wodnych roztworów dwóch cukrów: glukozy i fruktozy.

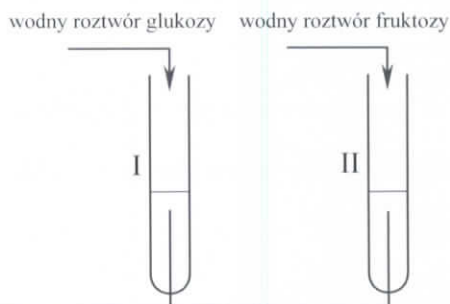
a) Uzupełnij schemat doświadczenia, wpisując nazwę użytego odczynnika wybranego z podanej poniżej listy:

- świeżo wytrącony wodorotlenek miedzi(II)
- woda bromowa z dodatkiem wodnego roztworu wodorowęglanu sodu
- wodny roztwór azotanu(V) srebra z dodatkiem wodnego roztworu amoniaku.

Schemat doświadczenia:

Odczynnik:

.....
.....
.....



b) Napisz, jakie obserwacje potwierdzą obecność glukozy w próbówce I i fruktozy w próbówce II po wprowadzeniu tych substancji do wybranego odczynnika (wypełnij poniższą tabelę).

	Barwa zawartości probówki	
	przed zmieszaniem reagentów	po zmieszaniu reagentów
Probówka I		
Probówka II		

Źródło: CKE (PR) 2011

Zadanie 35. (2 pkt)

Uzupełnij poniższe zdania dotyczące właściwości białek, wpisując w odpowiedniej formie gramatycznej określenia wybrane z poniższego zestawu.

denaturacja, wysolenie, roztwór właściwy, roztwór koloidalny, zawiesina, polarne, niepolarne, hydratacja, dysocjacja, odwracalny, nieodwracalny

1. Białko jaja kurzego rozpuszcza się w wodzie, tworząc

Każda cząsteczka białka w roztworze posiada tzw. otoczkę solwatacyjną. Solwatacja cząsteczek białka jest możliwa ze względu na obecność grup hydroksylowych, karboksylowych i aminowych w łańcuchach bocznych aminokwasów.

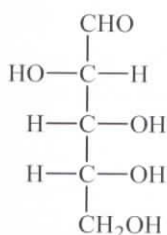
2. Otoczkę solwatacyjną białek można zniszczyć przez dodanie do roztworu soli, np. NaCl, której jony są silniej solwatowane. Widoczne jest wtedy wytrącenie białka z roztworu, zwane Proces ten jest

Pod wpływem wysokiej temperatury, soli metali ciężkich czy też stężonych kwasów lub zasad białka wytrącają się z roztworów w sposób Zjawisko to nosi nazwę

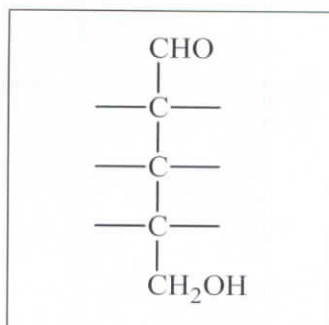
Źródło: CKE (PR) 2010

Zadanie 34. (1 pkt)

Poniżej przedstawiono wzór D-arabinozy (w projekcji Fischera).



Uzupełnij poniższy schemat, tak aby otrzymać wzór enancjomeru D-arabinozy.



Odpowiedzi do zadań rachunkowych

1. Chemia organiczna jako chemia

związków węgla

- s. 18 – zad. 6. $1,12 \text{ dm}^3 \text{ CO}_2$; zad. 7. 95,3%;
 s. 23 – zad. 1. a) 86% C, 14% H, b) CH_2 ;
 zad. 2. CH , C_6H_6 ; zad. 3. $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ (wzór empiryczny i rzeczywisty); zad. 4. C_8H_8 ; zad. 5. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

Zadania maturalne

- zad. 1. $A_1 = 12$, $A_2 = 13$; zad. 4. 60% CO_2 ;
 zad. 5. a) zmniejsza się, b) 0,2 g;
 zad. 6. $12,3 \text{ dm}^3$

2. Węglowodory

- s. 59 – zad. 8. C_2H_6 ; zad. 9. C_3H_8 – propan;
 zad. 10. 10 dm^3 powietrza; zad. 11. 112 dm^3 tlenu;
 zad. 12. 23 cm^3 mieszaniny;
 s. 71 – zad. 10. ok. 714 cząsteczek etylenu;
 zad. 15. C_4H_8 ;
 s. 80 – zad. 6. 80% węgla w etanie, 85,7% węgla w etenie, 92,3% węgla w etynie; zad. 7. 32 g CaC_2 ;
 zad. 8. 325 kg C_2H_2 ; zad. 10. C_3H_4 – propyn;
 zad. 12. acetylen występuje w nadmiarze;
 s. 91 – zad. 5. $C_m = 0,25 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$; zad. 7. 19,5 g C_6H_6 ;
 zad. 8. $C\% = 6,5\%$;
 s. 97 – zad. 3. $40,32 \text{ dm}^3 \text{ O}_2$, $201,6 \text{ dm}^3$ powietrza;
 s. 100. – zad. 5. 58,6 g dekaliny

Zadania maturalne

- zad. 8. 75% C_2H_4 i 25% C_2H_2 ;
 zad. 13. zmniejszy się ok. 12 razy

To było na maturze!

- zad. 30. C_4H_{10}

3. Jednofunkcyjne pochodne węglowodorów

- s. 128 – zad. 5. $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$; zad. 6. C_2Cl_6 ;
 zad. 12. 8,89 g toluenu;
 s. 140 – zad. 8. 44,8 dm^3 wodoru; zad. 9. $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ – butanol; zad. 10. 500 dm^3 gazów;

- s. 147 – zad. 5. $78,4 \text{ dm}^3 \text{ O}_2$; zad. 6. $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$;
 zad. 9. 9 kg glikolu;
 s. 168 – zad. 2. $\text{C}_9\text{H}_{19}\text{CHO}$; zad. 7. $89,6 \text{ dm}^3 \text{ C}_2\text{H}_4$;
 zad. 8. 72 u; zad. 9. $C_m = 4,85 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$;
 zad. 10. $591,36 \text{ dm}^3$;
 s. 176 – zad. 10. 86 u, $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$;
 s. 188 – zad. 8. $C_m = 0,05 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$;
 zad. 9. $133,3 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}$;
 s. 194 – zad. 4. 1 mol soli;
 zad. 6. 29,5 g stearynianu magnezu;
 s. 204 – zad. 11. $C\% = 19,4\%$;
 zad. 12. HCOOH – 0,8 mola, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ – 0,8 mola, HCOOC_2H_5 – 1,2 mola; H_2O – 1,2 mola;
 s. 212 – zad. 3. 6 moli H_2 ; zad. 4. 60 g NaOH ;
 zad. 6. 58,9%; zad. 7. $34,2 \text{ dm}^3 \text{ H}_2$;
 zad. 8. $\text{C}_{53}\text{H}_{102}\text{O}_6$; s. 227 – zad. 6. $C_{\%} = 3,3\%$;
 zad. 7. odczyn kwasowy; zad. 8. $44,8 \text{ dm}^3 \text{ CO}_2$ i $89,6 \text{ dm}^3 \text{ NH}_3$; zad. 10. 6,58 g aminy;
 zad. 11. $C_m = 0,66 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$

Zadania maturalne

- zad. 14. $[\text{H}^+] = 3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$, $\text{pH} = 5,52$;

4. Wielofunkcyjne pochodne węglowodorów

- s. 264 – zad. 3. $0,4 \text{ dm}^3$ roztworu NaOH ;
 s. 273 – zad. 8. 0,27 mola glicyny;
 s. 282 – zad. 1. 216,7 g H_2O ; zad. 2. 15 775 u;
 s. 295 – zad. 3. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$; zad. 4. 4,5 kg glukozy, $1,12 \text{ m}^3 \text{ CO}_2$; zad. 8. nie wystarczy;
 zad. 9. $C_{\%} = 50\%$;
 s. 301 – zad. 1. 21,4 g sacharozy; zad. 2. $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$;
 zad. 4. 85%; zad. 5. $C_{\%} = 21,05\%$;
 zad. 6. $C_{\%} = 14,6\%$; zad. 7. 114 g laktozy;
 s. 307 – zad. 3. 315 cząsteczek glukozy;
 zad. 4. 3642 reszt glukozy;
 zad. 5. ok. 4 drzewa; zad. 6. 11,36 kg $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$;

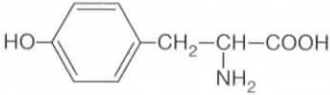
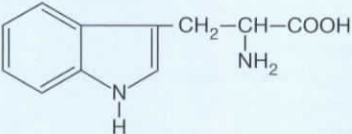
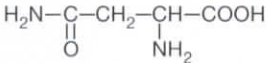
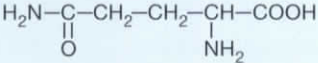
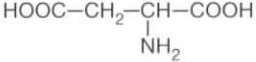
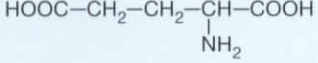
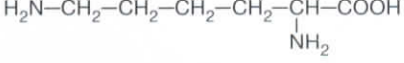
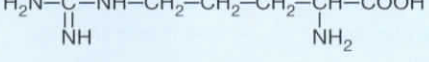
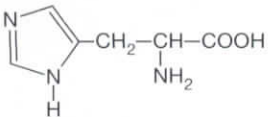
Zadania maturalne

- zad. 11. 143,75 g;

Wzory i nazwy aminokwasów białkowych

Wzór półstrukturalny	Nazwa zwyczajowa	Skróty nazwy zwyczajowej*	pI
$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$	glicyna	Gly, G	5,97
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	alanina	Ala, A	6,02
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	walina	Val, V	5,97
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	leucyna	Leu, L	5,98
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	izoleucyna	Ile, I	6,02
$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	seryna	Ser, S	5,68
$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	cysteina	Cys, C	5,02
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	treonina	Thr, T	6,53
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{H}_2\text{C} \quad \text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{N} \\ \\ \text{H} \end{array}$	prolina	Pro, P	6,10
$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	metionina	Met, M	5,75
$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	feniloalanina	Phe, F	5,98

* Międzynarodowe skróty stosowane dla aminokwasów białkowych.

Wzór półstrukturalny	Nazwa zwyczajowa	Skróty nazwy zwyczajowej*	pI
	tyrozyna	Tyr, Y	5,65
	tryptofan	Trp, W	5,88
	asparagina	Asn, N	5,41
	glutamina	Gln, Q	5,65
	kwas asparaginowy	Asp, D	2,87
	kwas glutaminowy	Glu, E	3,22
	lizyna	Lys, K	9,74
	arginina	Arg, R	10,76
	histydyna	His, H	7,74

* Międzynarodowe skróty stosowane dla aminokwasów białkowych.

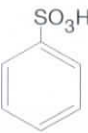
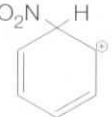
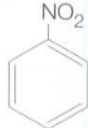
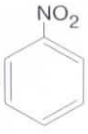
Reakcje charakterystyczne związków organicznych

Identyfikacja **wiązania wielokrotnego** >C=C< , $\text{—C}\equiv\text{C—}$, np. C_2H_4 eten, C_2H_2 etyn

Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
$\text{Br}_2(\text{aq})$ woda bromowa	Następuje odbarwienie wody bromowej.	Reakcja addycji bromu do wiązania podwójnego $\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \backslash & / \\ & \text{C}=\text{C} \\ & / & \backslash \\ \text{H} & & \text{H} \end{array} + \text{Br}_2 \longrightarrow \begin{array}{c} \text{H} & \text{Br} \\ & \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C}-\text{H} \\ & \\ \text{Br} & \text{H} \end{array}$ eten 1,2-dibromoetan Mechanizm reakcji addycji bromu do etenu składa się z następujących etapów: Etap I. Rozpad wiązania kowalencyjnego w cząsteczce bromu $\text{Br}-\text{Br} \longrightarrow \text{Br}^+ + \text{Br}^-$ Etap II. Addycja (przyłączenie) jonu Br^+ do elektronów π w cząsteczce etenu: $\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \backslash & / \\ & \text{C}=\text{C} \\ & / & \backslash \\ \text{H} & & \text{H} \end{array} + \text{Br}^+ \longrightarrow \left[\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C}^+-\text{H} \\ & & \\ \text{Br} & & \text{H} \end{array} \right] \quad \begin{array}{l} \text{karbokation} \\ \text{(nietrwały produkt przejściowy)} \end{array}$ Etap III. Addycja (przyłączenie) jonu Br^- do karbokationu $\left[\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C}^+-\text{H} \\ & & \\ \text{Br} & & \text{H} \end{array} \right] + \text{Br}^- \longrightarrow \begin{array}{c} \text{H} & \text{Br} \\ & \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C}-\text{H} \\ & \\ \text{Br} & \text{H} \end{array}$ 1,2-dibromoetan Reakcja addycji bromu do wiązania potrójnego $\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \backslash & / \\ & \text{C}\equiv\text{C} \\ & / & \backslash \\ \text{H} & & \text{H} \end{array} + \text{Br}-\text{Br} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{Br} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{Br} \end{array}$ etyn (acetylen) brom 1,2-dibromoeten $\begin{array}{c} \text{Br} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{Br} \end{array} + \text{Br}-\text{Br} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{Br} & \text{Br} \\ & \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C}-\text{H} \\ & \\ \text{Br} & \text{Br} \end{array}$ 1,2-dibromoeten 1,1,2,2-tetrabromoetan
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) $3 \text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 + 2 \text{KMnO}_4 + 4 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3 \text{H}_2\text{C}(\text{OH})-\text{CH}_2(\text{OH}) + 2 \text{MnO}_2\downarrow + 2 \text{KOH}$ OH OH $\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}_2\text{H}_5 + 2 \text{KMnO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow$ pent-2-yn $\longrightarrow \text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})\text{OH} + \text{C}_2\text{H}_5-\text{C}(=\text{O})\text{OH} + 2 \text{MnO}_2\downarrow + 2 \text{KOH}$ kwas etanowy kwas propanowy

Identyfikacja związków aromatycznych

 np.  benzen

Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
$\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_3$ (oleum)	Powstają dobrze rozpuszczalne w wodzie kwasy sulfonowe.	Reakcja sulfonowania $\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{SO}_3\text{H}^+ + \text{OH}^-$  + SO_3H^+ $\longrightarrow$  $\longrightarrow$  + H^+ benzen elektrofil produkt pośredni kwasy benzenosulfonowy  + $\text{HO}-\text{SO}_3\text{H}$ $\longrightarrow$  + H_2O benzen kwasy benzenosulfonowy $\text{C}_6\text{H}_6 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3\text{H} + \text{H}_2\text{O}$
$\text{HNO}_3(\text{stęż.}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{stęż.})$ (mieszanina nitrująca)	Powstają związki nitrowe o żółtej barwie. 	Reakcja nitrowania Elektrofil, którym jest kation nitroniowy NO_2^+ , reaguje z elektronami π pierścienia benzenowego. Powoduje to oderwanie kationu wodoru od pierścienia: $\text{HNO}_3 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{NO}_2^+ + \text{H}_3\text{O}^+ + 2 \text{HSO}_4^-$  + NO_2^+ $\longrightarrow$  $\longrightarrow$  + H^+ benzen elektrofil produkt pośredni nitrobenzen  + $\text{HO}-\text{NO}_2$ $\xrightarrow{\text{stęż. H}_2\text{SO}_4}$  + H_2O benzen nitrobenzen $\text{C}_6\text{H}_6 + \text{HNO}_3 \xrightarrow{\text{stęż. H}_2\text{SO}_4} \text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Identyfikacja **alkoholi monohydroksylowych**

np. C_2H_5OH etanol

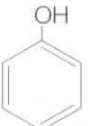
Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
$K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$ (steż.)	Następuje zmiana barwy roztworu z pomarańczowej ($Cr_2O_7^{2-}$)  na zieloną (Cr^{3+}). 	Reakcja utleniania alkoholi do kwasów karboksylowych $3 CH_3-CH_2OH + K_2Cr_2O_7 + 4 H_2SO_4 \longrightarrow$ etanol $\longrightarrow 3 CH_3-C(=O)OH + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 4 H_2O$ kwas etanowy

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 $\begin{array}{c} CH_2-OH \\ \\ CH-OH \\ \\ CH_2-OH \end{array} + Cu(OH)_2 \longrightarrow \begin{array}{c} CH_2-O \\ \\ CH-O \\ \\ CH_2OH \end{array} \begin{array}{c} H \\ \diagup \\ Cu \\ \diagdown \\ H \end{array} \begin{array}{c} OH \\ \diagup \\ \\ \diagdown \\ OH \end{array}$ propano-1,2,3-triol związek koordynacyjny glicerolu i wodorotlenku miedzi(II) Powstaje barwny związek kompleksowy.

Identyfikacja **fenoli**

np.  benzenol

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** $\text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$, np. $\text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$ metanal

Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ wodorotlenek diaminasrebra(I)	Powstaje metaliczne srebro. 	Próba Tollensa – reakcja utleniania aldehydów do kwasów karboksylowych Etap I. Powstanie nierozpuszczalnego wodorotlenku srebra(I), który rozkłada się, tworząc tlenek srebra(I): $\text{AgNO}_3 + \text{NaOH} \longrightarrow \text{AgOH} \downarrow + \text{NaNO}_3$ $2 \text{AgOH} \longrightarrow \text{Ag}_2\text{O} \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ Etap II. Rozpuszczenie się w wodzie amoniakalnej osadu tlenku srebra(I) z utworzeniem związku kompleksowego – wodorotlenku diaminasrebra(I) , który w wodzie występuje w formie zdysocjowanej: $\text{Ag}_2\text{O} + 4 \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + 2 \text{OH}^-$ Etap III. Reakcja otrzymanego związku kompleksowego z aldehydem: $2 [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{H} + 3 \text{OH}^- \longrightarrow 2 \text{Ag} \downarrow + \text{HCOO}^- + 4 \text{NH}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$ m etanal anion metanianowy Dla uproszczenia przyjmuje się, że aldehyd reaguje z Ag_2O : $\text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{H} + \text{Ag}_2\text{O} \longrightarrow \text{HCOOH} + 2 \text{Ag} \downarrow$
$\text{Cu}(\text{OH})_2$ wodorotlenek miedzi(II)	Powstaje ceglasto-czerwony osad tlenku miedzi(II) – Cu_2O . 	Próba Trommera – reakcja utleniania aldehydów do kwasów karboksylowych $\text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{H} + 2 \text{Cu}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{HCOOH} + \text{Cu}_2\text{O} \downarrow + 2 \text{H}_2\text{O}$ metanal kwas metanowy

Identyfikacja **grupy acetylowej** $\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-$, np. $\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_3$ propanon

Wzór i nazwa odczynnika	Obserwacje	Wniosek
I_2 w $\text{KI}_{(\text{aq})}$ 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 $\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-$ $\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_3 + 3 \text{I}_2 + 4 \text{KOH} \longrightarrow \text{CHI}_3 \downarrow + \text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})\text{OK} + 3 \text{KI} + 3 \text{H}_2\text{O}$ propanon trijodometan

Identyfikacja **grupy karboksylowej** $-\text{C}\begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$ np. $\text{CH}_3-\text{C}\begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$ 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 $\text{CH}_3\text{-C}\begin{matrix} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{matrix} + \text{NaHCO}_3 \longrightarrow \text{CH}_3\text{-C}\begin{matrix} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{ONa} \end{matrix} + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ kwas etanowy tlenek węgla(IV)
C ₂ H ₅ OH + + H ₂ SO ₄ (stęż.)	Powstają związki chemiczne o charakterystycznych zapachach owoców i kwiatów – estry.	Reakcja estryfikacji $\text{CH}_3\text{-C}\begin{matrix} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{matrix} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \xrightleftharpoons{\text{H}_2\text{SO}_4} \text{CH}_3\text{-C}\begin{matrix} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{O-C}_2\text{H}_5 \end{matrix} + \text{H}_2\text{O}$ kwas etanowy etanol etanian etylu

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,	Reakcja ksantoproteinowa – reakcja nitrowania, która umożliwia wykrycie obecności pierścienia aromatycznego w peptydach, polipeptydach i białkach
		
	który po dodaniu zasady sodowej przyjmuje pomarańczową barwę.	
		

Identyfikacja **monosacharydów**

$C_6H_{12}O_6$ glukoza, cząsteczka zawiera grupę aldehydową $-C(=O)H$ 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 $\begin{array}{c} H \\ \\ C=O \\ \\ H-C-OH \\ \\ HO-C-H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H-C-OH \\ \\ CH_2OH \\ \text{glukoza} \end{array}$ $\longrightarrow$ $\begin{array}{c} HO \\ \\ C=O \\ \\ H-C-OH \\ \\ HO-C-H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H-C-OH \\ \\ CH_2OH \\ \text{kwas glukonowy} \end{array}$ $ \begin{array}{c} H \\ \\ C=O \\ \\ H-C-OH \\ \\ HO-C-H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H-C-OH \\ \\ CH_2OH \\ \text{glukoza} \end{array} + Br_2 + 2 NaHCO_3 \longrightarrow \begin{array}{c} HO \\ \\ C=O \\ \\ H-C-OH \\ \\ HO-C-H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H-C-OH \\ \\ CH_2OH \\ \text{kwas glukonowy} \end{array} + 2 NaBr + H_2O + 2 CO_2 \uparrow $
$[Ag(NH_3)_2]OH$ wodorotlenek diaminasrebra(I)	Powstaje metaliczne srebro. 	Próba Tollensa $\begin{array}{c} H \\ \\ C=O \\ \\ H-C-OH \\ \\ HO-C-H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H-C-OH \\ \\ CH_2OH \\ \text{glukoza} \end{array}$ $\longrightarrow$ $\begin{array}{c} O^- \\ \\ C=O \\ \\ H-C-OH \\ \\ HO-C-H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H-C-OH \\ \\ CH_2OH \\ \text{anion glukonianowy} \end{array}$ $ \begin{array}{c} H \\ \\ C=O \\ \\ H-C-OH \\ \\ HO-C-H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H-C-OH \\ \\ CH_2OH \\ \text{glukoza} \end{array} + 2 [Ag(NH_3)_2]^+ + 3 OH^- \longrightarrow \begin{array}{c} O^- \\ \\ C=O \\ \\ H-C-OH \\ \\ HO-C-H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H-C-OH \\ \\ CH_2OH \\ \text{anion glukonianowy} \end{array} + 2 Ag \downarrow + 4 NH_3 + 2 H_2O $
$Cu(OH)_2$ wodorotlenek miedzi(II)	Powstaje ceglasto-czerwony osad tlenku miedzi(II) – Cu_2O . 	Próba Trommera $\begin{array}{c} H \\ \\ C=O \\ \\ H-C-OH \\ \\ HO-C-H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H-C-OH \\ \\ CH_2OH \\ \text{glukoza} \end{array}$ $\longrightarrow$ $\begin{array}{c} HO \\ \\ C=O \\ \\ H-C-OH \\ \\ HO-C-H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H-C-OH \\ \\ CH_2OH \\ \text{kwas glukonowy} \end{array}$ $ \begin{array}{c} H \\ \\ C=O \\ \\ H-C-OH \\ \\ HO-C-H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H-C-OH \\ \\ CH_2OH \\ \text{glukoza} \end{array} + 2 Cu(OH)_2 \longrightarrow \begin{array}{c} HO \\ \\ C=O \\ \\ H-C-OH \\ \\ HO-C-H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H-C-OH \\ \\ CH_2OH \\ \text{kwas glukonowy} \end{array} + Cu_2O \downarrow + 2 H_2O $

 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.

Bibliografia

- Bialecka-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 1999
- Chemia żywności*, red. Z. E. Sikorski, wyd. 4, WNT, Warszawa 2002
- Chemia żywności. Składniki żywności*, t. 1, red. Z. E. Sikorski, wyd. 5, WNT, Warszawa 2007
- Domowy Poradnik Medyczny*, red. K. Janicki, wyd. 5, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2004
- Emsley J.: *Chemia – przewodnik po pierwiastkach*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996
- 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
- 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 2002
- Hart H., Craine L. E., Hart D. J.: *Chemia organiczna. Krótki kurs*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1999
- Kołodziejczyk A.: *Naturalne związki organiczne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004
- Kompendium terminologii chemicznej*, red. Z. Stasicka, O. Achamowicz, ZamKor, Kraków 2005
- Kulawik J., Kulawik T., Litwin M.: *Chemia dla gimnazjum*, cz. III, Nowa Era, Warszawa 2011
- Lautenschläger K.-H., Schröter W., Wanninger A.: *Nowoczesne kompendium chemii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007
- Leksykon naukowo-techniczny*, WNT, wyd. 5, Warszawa 2001
- Majcher-Kozieł M.: *Jedwab naturalny – białko o budowie włóknistej*, „Chemia w szkole”, 2 (2002), s. 16–18
- Manahan S.E.: *Toksykologia środowiska. Aspekty chemiczne i biochemiczne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006
- Marzec A.: *Chemia kosmetyków. Surowce, półprodukty i preparatyka wyrobów*, wyd. 3, Wydawnictwo Dom Organizatora, Toruń 2009
- Mastalerz P.: *Chemia organiczna*, Wydawnictwo Chemiczne, Wrocław 2000
- Matematyka. Fizyka. Chemia. Encyklopedia szkolna*, red. W. Batur, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004
- McMurry J.: *Chemia organiczna*, t. 1–2, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009
- McMurry J.: *Chemistry*, 5th edition, Pearson 2012
- McMurry J., Castellion M., Ballantine S. D., Hoeger A. C., Petterson E. V., *Fundamentals of General, Organic, and Biological Chemistry*, 6th edition, Prentice Hall 2010
- McMurry J.: *Organic chemistry*, 8th edition, Cengage 2012

- Mizerski W.: *Tablice chemiczne*, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2008
- 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
- Patrick G. L.: *Chemia medyczna. Podstawowe zagadnienia*, wyd. 2, WNT, Warszawa 2003
- Patrick G. L.: *Chemia organiczna. Krótkie wykłady*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008
- Pazdro K. M.: *Zbiór zadań z chemii dla szkół średnich*, Oficyna Edukacyjna – Krzysztof Pazdro, Warszawa 2003
- Podstawy toksykologii. Kompendium dla studentów szkół wyższych*, red. J. K. Piotrowski, wyd. 2, WNT, Warszawa 2008
- Potter J.: *Gotowanie dla Geeków. Nauka stosowana, niezłe sztuczki i wyżerka*, Helion, Gliwice, 2011
- Przewodnik do nomenklatury związków organicznych*, PTCh, Warszawa 1994
- Römpf H., Raaf H.: *Chemia organiczna w probówce*, WNT, Warszawa 1997
- Saechtling: *Tworzywa sztuczne. Poradnik*, WNT, Warszawa 2000
- Silverman R. B.: *Chemia organiczna w projektowaniu leków*, WNT, Warszawa 2004
- Solomon E. P., Berg L. R., Martin D. W., Villee C. A.: *Biologia*, Oficyna Wydawnicza Multico, Warszawa 1998
- Wiłkomirski B.: *Między chemią a biologią – zarys biochemii dla uczniów szkół średnich*, WSiP, Warszawa 1996
- Zdrowie na talerzu. Lecznicze właściwości potraw*, wyd. 3, Reader's Digest, Warszawa 2010
- Żywność wygodna i żywność funkcjonalna*, red. F. Świdorski, WNT, Warszawa 1999
- Piazza E., *Cassini Solstice Mission*, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, [dostęp: 5 listopada 2012]. Dostępny w internecie: <<http://saturn.jpl.nasa.gov/science/index.cfm?SciencePageID=73>>
- SpaceShipOne & White Knight*, Scaled Composites, 2012 [dostęp: 13 listopada 2012]. Dostępny w internecie: <<http://www.scaled.com/projects/tierone>>

Indeks polsko-angielski

A

- acetaldehyd [acetaldehyde] 161 → etanal
- acetamid [acetamide] 221
- aceton [acetone] 25, 170–175
- acetylen [acetylene] 72–76, 78, 86, 162
- achiralność [achirality] 247, 256
- alanina [alanine] 269–272
- aldehyd glicerynowy [glyceric aldehyde] 252, 266
- aldehyd mrówkowy [methyl aldehyde] → formaldehyd
- octowy [ethyl aldehyde] → acetaldehyd
- aldehidy [aldehydes] 116, 159–168, 170, 172, 174, 186
- , izomeria [aldehydes, isomerism] 161
- , nazewnictwo [aldehydes, nomenclature] 160
- , otrzymywanie [aldehydes, the preparation of] 161–162
- , polimeryzacja [aldehydes, polymerization] 165
- , reakcje charakterystyczne [aldehydes, chemical tests] 163–165
- , właściwości [aldehydes, properties] 162–165
- , występowanie [aldehydes, the occurrence of] 167
- , wzór ogólny [aldehydes, the general formula] 159
- , zastosowania [aldehydes, the use of] 167
- aldoheksa [aldohexose] 285, 286
- aldopentoza [aldopentose] 285, 288
- aldozy [aldoses] 284
- alkadieny [alkadienes] 67
- alkaloidy [alkaloids] 220
- alkanole [alkanols] → alkohole
- alkany [alkanes] 42–59, 121, 178
- , nazewnictwo [alkanes, nomenclature] 53–55
- , otrzymywanie [alkanes, the preparation of] 44–45
- , reakcje charakterystyczne [alkanes, chemical tests] 45–47
- , występowanie [alkanes, the occurrence of] 57
- , wzór ogólny [alkanes, the general formula] 50
- , zastosowania [alkanes, the use of] 57
- alkatrieny [alkatrienes] 67
- alkeny [alkenes] 60–71
- , izomeria [alkenes, isomerism] 66
- , nazewnictwo [alkenes, nomenclature] 66–67
- , otrzymywanie [alkenes, the preparation of] 61
- , polimeryzacja [alkenes, polymerization] 68
- , reakcje charakterystyczne [alkenes, chemical tests] 62–63
- , utleniania-redukcji [alkenes, oxidation-reduction reactions] 64–65
- , występowanie [alkenes, the occurrence of] 69
- , wzór ogólny [alkenes, the general formula] 66
- , zastosowania [alkenes, the use of] 69
- alkiny [alkynes] 72–80
- , nazewnictwo [alkynes, nomenclature] 76–77
- , otrzymywanie [alkynes, the preparation of] 73
- , polimeryzacja [alkynes, polymerization] 78
- , reakcje charakterystyczne [alkynes, chemical tests] 74
- , występowanie [alkynes, the occurrence of] 79
- , wzór ogólny [alkynes, the general formula] 76
- , zastosowania [alkynes, the use of] 79
- alkohol etylowy [ethyl alcohol] → etanol
- alkohol mirycylowy [myrcyl alcohol] 209
- alkoholan [alkoxide] 136, 144, 156
- alkohole [alcohols] 116, 129–147
- alifatyczne [alcohols, aliphatic] 129
- aromatyczne [alcohols, aromatic] 129, 148
- cykliczne [alcohols, cyclic] 129
- monohydroksylowe [alcohols, monohydroxy] 129–140
- , nazewnictwo [alcohols, monohydroxy, nomenclature] 130–131
- , otrzymywanie [alcohols, monohydroxy, the preparation of] 131
- , reakcja charakterystyczna [alcohols, monohydroxy, chemical test] 138
- , właściwości [alcohols, monohydroxy, properties] 132–138
- , występowanie [alcohols, monohydroxy, the occurrence of] 139
- , wzór ogólny [alcohols, monohydroxy, the general formula] 129
- , zastosowania [alcohols, monohydroxy, the use of] 139
- podział [alcohols, types] 129
- polihydroksylowe [alcohols, polyhydroxy] 129, 141–147
- , nazewnictwo [alcohols, polyhydroxy, nomenclature] 141
- , otrzymywanie [alcohols, polyhydroxy, the preparation of] 142
- , reakcja charakterystyczna [alcohols, polyhydroxy, chemical test] 145
- , właściwości [alcohols, polyhydroxy, properties] 143–145
- , występowanie [alcohols, polyhydroxy, the occurrence of] 146
- , zastosowania [alcohols, polyhydroxy, the use of] 146
- rzędowość [alcohols, primary, secondary, tertiary] 129
- amidy [amides] 116, 213–225
- , nazewnictwo [amides, nomenclature] 220
- , otrzymywanie [amides, the preparation of] 220
- , występowanie [amides, the occurrence of] 224
- , zastosowania [amides, the use of] 223
- amigdalina [amygdalin] 18
- aminokwasy [amino acids] 265–273
- białkowe [amino acids, protein] 269
- egzogenne [amino acids, exogenous] 269
- , izomeria [amino acids, isomerism] 266
- kwasowe [amino acids, acid] 270
- , nazewnictwo [amino acids, nomenclature] 265
- obojętne [amino acids, neutral] 270
- , otrzymywanie [amino acids, the preparation of] 266
- , właściwości [amino acids, properties] 267
- , występowanie [amino acids, the occurrence of] 272
- , wzór ogólny [amino acids, the general formula] 265
- zasadowe [amino acids, basic] 270
- , zastosowania [amino acids, the use of] 272
- aminy [amines] 116, 121, 164, 213–225
- , izomeria [amines, isomerism] 215
- , nazewnictwo [amines, nomenclature] 214

- , otrzymywanie [amines, the preparation of] 215–216
- , rzędowość [amines, primary, secondary, tertiary] 213–214
- , właściwości [amines, properties] 216–219
- , występowanie [amines, the occurrence of] 224
- , wzór ogólny [amines, the general formula] 213
- , zastosowania [amines, the use of] 224
- amoniak [ammonia] 22, 34, 121, 213, 215, 216, 217, 218, 219
- amylopektyna [amylopectin] 302
- amyloza [amylose] 302
- analiza elementarna [elemental analysis] → analiza jakościowa
 - ilościowa [analysis, quantitative] 19, 34
 - jakościowa [analysis, qualitative] 19, 21
- anilina [aniline] 214, 215, 216, 217, 218, 219
- anion fenolanowy [phenolate anion] 151–154
 - palmitynianowy [palmitate anion] 192
 - stearyniaowy [stearate anion] 192
- anomer [anomer] 288, 289
- antracen [anthracene] 81, 98, 99
- areny [arenes] 42, 81, 88–89, 107, 124
 - wielopierścieniowe [arenes, polycyclic] 98–100
- asocjacja [association] 135, 182
- atropina [atropine] 220
- azot [nitrogen] 22, 34
- B**
- bakelit [bakelite] 167
- benzen [benzene] 76, 81–87, 90, 92, 96, 99, 106, 118
- benzenol [benzophenol] → fenol
- benzyl [benzyl] → grupa benzyłowa
- benzyna [petrol] 16, 27, 31, 50, 51, 109, 171
- Berthelot Marcelin P. E. 11
- białka [proteins] 274–282
 - kulisto-globularne [proteins, spherical-globular] 275
 - , podjednostki [proteins, subunits] 277
 - proste [proteins] → proteiny
 - , reakcje charakterystyczne [proteins, chemical tests] 280
 - , struktury [proteins, structures] 275
 - , właściwości [proteins, properties] 277–280
 - włókniste [proteins, fibrous] 275
 - , wpływ substancji [proteins, the impact of substance] 277–280
 - wysokiej temperatury [proteins, the impact of high temperature] 278–279
 - , występowanie [proteins, the occurrence of] 281
 - , zastosowania [proteins, the use of] 281
 - złożone [proteids] 275
- biuret [biuret] 224
- botoks [botox] 274
- botulina [botulinum] → jad kielbasiany
- bromowanie [bromination] 45–47, 51, 62–63, 74–75, 86, 93, 120, 154
- Butlerow Aleksander M. 11, 14
- C**
- celuloza [cellulose] 283, 302, 304–306
- chiralność [chirality] 247
- chlorek winylu [vinyl chloride] 75, 117, 125
- chlorofil [chlorophyll] 14, 32
- chloroform [chloroform] 25, 27, 32
- chlorowanie [chlorination] 46, 107, 120
- cholesterol [cholesterol] 137
- chromatograf [chromatograph] 33
- chromatografia [chromatography] 32–33, 35
- chromatogram [chromatogram] 33
- chromoproteidy [chromoproteins] 275
- cukry [saccharides] → sacharydy
- proste [monosaccharides] → monosacharydy
- Cwiet Michail 32
- cyjaniany [cyanates] 17
- cyjanki [cyanides] 17
- cykloalkany [cycloalkanes] 58
- cysteina [cysteine] 269, 320
- cytronelol [citronellol] 137
- czynność optyczna [optical rotation] 246, 248–249
- D**
- dehydratacja [dehydration] 137
- dekstryna [dextrin] 304, 310
- denaturacja [denaturation] 134, 279
- depolimeryzacja [depolymerization] 165
- destylacja frakcyjna [fractional distillation] 30–31, 35, 109
 - pod zmniejszonym ciśnieniem [distillation in vacuo] 31
- destylat [distillate] 30
- diamant [diamond] 12, 36
- diaminometanal [diaminometanal] → mocznik
- diastereoizomery [diastereoisomers] 256
- dichromian(VI) potasu [potassium dichromate(VI)] 138, 171, 172, 180
- disacharydy [disaccharides] 283, 296–301
- dwucukry [disaccharides] → disacharydy
- dynamit [dynamite] 199
- dysocjacja jonowa [ion dissociation] 87, 134, 136, 151, 182, 184, 185
- E**
- efedryna [ephedrine] 220
- ekstrakcja [extraction] 25, 30, 178
- eksykator [desiccator] 26, 28
- elektrofil [electrophile] 63, 87
- eluent [eluent] 33
- emulsja [emulsion] 207
- enancjomeria [enantiomerism] 101
- energia aktywacji [activation energy] 120
- erytryt [erythritol] 301
- estry [esters] 27, 116, 195–204
 - glicerolu i kwasów tłuszczowych [esters of glycerol and fatty acids] → tłuszcze
 - , hydroliza [esters, hydrolysis] 197, 198
 - , izomeria [esters, isomerism] 195
 - , nazewnictwo [esters, nomenclature] 195
 - , otrzymywanie [esters, the preparation of] 196
 - , polimeryzacja [esters, polymerization] 202
 - , występowanie [esters, the occurrence of] 203
 - , wzór ogólny [esters, the general formula] 195
- etanal [ethanal] → acetaldehyd
- etano-1,2-diol [ethane-1,2-diol] → glikol etylenowy
- etanoamid [ethanamide] → acetamid
- etanol [ethanol] 14, 27, 61, 63, 64, 73, 118, 121, 122, 130–138, 145, 161, 162, 163, 181
- eten [ethene] → etylen
- etenyl [ethenyl] → grupa winylowa
- eter dietylowy [diethyl ether] 25
- dimetylowy [dimethyl ether] 14
- naftowy [petroleum ether] 25
- etyl [ethyl] 53
- etylen [ethylene] 60–64, 68, 75, 96, 106, 118, 122, 131, 137, 162, 174
- etyn [ethyne] → acetylen
- F**
- faza nieruchoma [stationary phase] 32, 35
 - ruchoma [mobile phase] 32, 35

– stacjonarna [stationary phase]
→ faza nieruchoma
fenantren [phenanthrene] 98, 99
fenol [phenol] 149, 151–156, 166
fenole [phenols] 116, 148–158
–, nazewnictwo [phenols, nomenclature] 148–149
–, otrzymywanie [phenols, the preparation of] 149–150
–, reakcja charakterystyczna [phenols, chemical test] 155–156
–, właściwości [phenols, properties] 151–156
–, występowanie [phenols, the occurrence of] 157
–, zastosowania [phenols, the use of] 157
fenyl [phenyl] → grupa fenylowa
fenyloamina [phenylamine] → anilina
fenyloeten [phenylethene] → styren
fermentacja alkoholowa [ethanol fermentation] 132
– octowa [acetic fermentation] 180–181
Fischer Emil 251
fluorowcopochodne węglowodorów [fluorinated hydrocarbons] 116–128, 156
–, nazewnictwo [fluorinated hydrocarbons, nomenclature] 117
–, otrzymywanie [fluorinated hydrocarbons, the preparation of] 118
–, polimeryzacja [fluorinated hydrocarbons, polymerization] 125–126
–, właściwości [fluorinated hydrocarbons, properties] 119–123
–, występowanie [fluorinated hydrocarbons, the occurrence of] 127
–, zastosowania [fluorinated hydrocarbons, the use of] 127
fluorowcowanie [halogenation] 156, 184
formaldehid [formaldehyde] 159–166, 174
formalina [formalin] 163, 165, 166
fosfolipidy [phospholipids] 209, 275
fosfoproteidy [phosphoproteins] 275
fotosynteza [photosynthesis] 14
fruktoza [fructose] 283–290
fulereny [fullerene] 10, 13, 37
furan [furan] 100
G
galaktoza [galactose] 284, 288, 297, 299
gaz koksowniczy [coal gas] 109
– rafineryjny [refinery gas] 109

– syntezowy [syngas] 16, 132
– wodny [syngas] → gaz syntezowy
– ziemny [natural gas] 10, 16, 44, 109
geraniol [geraniol] 137
glicerol [glycerol] 132, 141–145
glicyna [glycine] 265, 266, 268–269, 320
glikol etylenowy [ethylene glycol] 141–143
glikolany [glycolates] 144
glikolipidy [glycolipids] 306
glukoza [glucose] 132, 283, 284–294, 295, 296, 297
grafen [graphene] 13
grafit [graphite] 12, 36
grupa aldehydowa [aldehyde group] 116, 159, 161, 174, 186, 296
– alifatyczna [aliphatic group] 156, 169
– alkilowa [alkyl group] 53, 89, 96, 177
– amidowa [amide] 116, 219
– aminowa [amino group] 116, 213, 265
– aromatyczna [aromatic group] 156, 169
– arylowa [aryl] 93, 116, 148, 177
– benzyłowa [benzyl] 89, 93
– estrowa [ester group] 116
– fenylowa [phenyl] 89, 93
– funkcyjna [functional group] 14, 116
– hydroksylowa [hydroxyl group] 116, 118, 129, 132, 135–137, 141, 148, 152, 154, 156, 177, 182, 284, 296
– karboksylowa [carboxyl group] 116, 177, 186, 263, 288, 296
– karbonyłowa [carbonyl group] 116, 159, 163, 165, 169, 173, 174, 177, 182
– ketonowa [keto group] → grupa karbonyłowa
– metylowa [methyl group] 53, 89, 173
– nitrowa [nitro group] 99, 116
– sulfonowa [sulfone group] 87, 99
– tiolowa [thiol] 270
– węglowodorowa [hydrocarbon group] 116, 129, 131, 159
– winylowa [vinyl group] 96, 125

H

hemoglobina [hemoglobin] 14, 16, 17, 274, 277
Huckel Erich 82
hybrydyzacja *sp* [hybridization *sp*] 42, 72, 106

– *sp*² [hybridization *sp*²] 12, 42, 60, 84–85, 106, 148
– *sp*³ [hybridization *sp*³] 12, 42, 43, 58, 103, 106, 121, 123, 129
hydroksykwas [hydroxy acids] 258–263
–, izomeria [hydroxy acids, isomerism] 259–260
–, nazewnictwo [hydroxy acids, nomenclature] 259
–, otrzymywanie [hydroxy acids, the preparation of] 261
–, właściwości [hydroxy acids, properties] 262
–, występowanie [hydroxy acids, the occurrence of] 263
–, wzór ogólny [hydroxy acids, the general formula] 258
–, zastosowania [hydroxy acids, the use of] 263
hydroliza [hydrolysis] 136, 142, 153, 185, 192, 271, 298

I

ibuprofen [ibuprofen] 254
IUPAC → Międzynarodowa Unia Chemii Czystej i Stosowanej
izomeria *cis-trans* [cis-trans isomerism] 101, 102–104, 108
– funkcyjna [functional isomerism] 101, 102, 170
– konfiguracyjna [stereoisomerism] → stereoisomeria
– konstytucyjna [constitutional isomerism] 52, 66, 101, 102
– optyczna [optical isomerism] 246–257
– *orto-meta-para* [orto-meta-para isomerism] 89, 101, 107, 124, 154
– podstawienia [position isomerism] 101, 102, 108, 131, 179
– położenia [position isomerism] → izomeria podstawienia
– strukturalna [structural isomerism] → izomeria konstytucyjna
– szkieletowa [chain isomerism] 101–102, 108, 131, 161, 179
izomeryzacja [isomerization] → reforming

J

jad kielbasiany [botulism] 274
jodoform [iodoform] 173
jon alkilookseniowy [alkyloxonium ion] 137
– obojnaczy [zwitterion] 267–268

K

kamfora [camphor] 24
karbid [carbide] 73, 80
karboanion [carbanion] 11, 123, 124

- karbokation [carbocation] 11, 63–64
 karotenoidy [carotenoids] 32
 karwon [carvone] 256
 kation amonowy [ammonium] 217
 – aniliniowy [aniline anion] 308
 – nitroniowy [nitronium cation] 87
 kauczuk naturalny [natural rubber] 68
 Kekulé Friedrich A. von Stradonitz 14, 83
 keratyna [keratin] 275, 281
 ketohekszoza [ketohehexose] 285–287
 ketony [ketones] 27, 116, 169–176
 –, nazewnictwo [ketones, nomenclature] 169
 –, otrzymywanie [ketones, the preparation of] 171
 –, właściwości [ketones, properties] 171–174
 –, występowanie [ketones, the occurrence of] 175
 –, wzór ogólny [ketones, the general formula] 169–171
 –, zastosowania [ketones, the use of] 175
 ketozy [ketosis] 284, 294, 310
 klatrat metanu [methane clathrate] 47
 koagulacja [coagulation] 278, 309
 kofeina [caffeine] 24
 Kolbe Adolf W. H. 11
 koloid [colloid] 277–278
 kolumna destylacyjna [distillation column] 30–32, 35
 konfiguracja [configuration] 103, 250
 – absolutna *R* i *S* [absolute configuration *R* and *S*] 252
 – względna *D* i *L* [the relative configuration of *D* and *L*] 252, 287–289
 konformacja [conformation] 103
 kontrakcja [contraction] 133–134
 kraking [cracking] 109
 krezole [cresols] 149
 krystalizacja [crystallization] 26–29, 35
 ksylene [xylene] 88, 89
 kwas adypinowy [adipic acid] 187, 225
 – aminoetanowy [aminoethanoic acid] → glicyna
 – aminoocetowy [aminoacetic acid] → glicyna
 – asparaginowy [aspartic acid] 269, 270, 272, 321
 – cyjanowodorowy [hydrocyanic acid] → kwas pruski
 – cyjanowy [cyanic acid] 16, 17
 – cytrynowy [citric acid] 259
 – etanowy [ethanoic acid] → kwas octowy
 – glukonowy [gluconic acid] 263, 292
 – glutaminowy [glutamic acid] 269, 270
 – hydroksypropanowy [hydroxypropanoic acid] → kwas mlekowy
 – jabłkowy [malic acid] 263
 – linolowy [linoleic acid] 193, 205
 – metanowy [methanoic acid] → kwas mrówkowy
 – mlekowy [lactic acid] 259–263, 311
 – mrówkowy [formic acid] 165, 177, 178
 – octowy [acetic acid] 11, 14, 27, 138, 178, 181, 183
 – lodowaty [glacial acetic acid] 27, 182
 – oleinowy [oleic acid] 189–192
 – palmitynowy [palmitic acid] 189–192
 – pruski [prussic acid] 16, 17, 34
 – salicylowy [salicylic acid] 259, 260, 261, 262
 – siarkowy(VI) dymiący [fuming sulfuric acid] → oleum
 – sorbowy [sorbic acid] 178
 – stearynowy [stearic acid] 189–192
 – tereftalowy [terephthalic acid] 202
 – winowy [tartaric acid] 263, 259
 kwasy karboksylowe [carboxylic acids] 116, 177–188
 –, izomeria [carboxylic acids, isomerism] 179
 –, nazewnictwo [carboxylic acids, nomenclature] 178
 –, otrzymywanie [carboxylic acids, the preparation of] 180–181
 –, właściwości [carboxylic acids, properties] 181–186
 –, występowanie [carboxylic acids, the occurrence of] 187
 –, wyższe kwasy karboksylowe [fatty acids] 189–194
 –, –, izomeria [fatty acids, isomerism] 189
 –, –, właściwości [fatty acids, properties] 190–192
 –, –, występowanie [fatty acids, the occurrence of] 193
 –, –, zastosowania [fatty acids, the use of] 193
 –, –, zastosowania [carboxylic acids, the use of] 187
 kwasy tłuszczowe [fatty acids] → wyższe kwasy karboksylowe
 kwiat siarczany [flowers of sulfur] 25
 L
 laktoza [lactose] 283, 297, 299
 lecytyna [lecithin] 207, 211
 liczba oktanowa (LO) [octane number] 109
 liofilizacja [freeze-drying] 24, 25
 liofilizat [lyophilisate] 25
 lipidy [lipids] 208
 lipoproteidy [lipoproteins] 275
 lizyna [lysine] 269, 270, 272
 LO → liczba oktanowa
 M
 maltoza [maltose] 283, 297, 298, 299
 manganian(VII) potasu [potassium manganate(VII)] 45, 51, 62, 64–65, 74, 81, 180, 186, 190
 mannoza [mannose] 288, 294
 mazut [mazut] 109
 mechanizm usuwania brudu [cleansing action of soap] 237
 metaloproteidy [metalloprotein] 275
 metan [methane] 43–49, 53, 64, 73, 117, 118, 130, 160, 178, 180
 metanal [methanal] → formaldehyd
 metanol [methanol] 27, 64, 121, 129, 130, 132, 135, 156, 162, 166
 metionina [methionine] 269, 320
 metoda cyjanohydrynowa [cyanohydrin metod] → metoda Streckera
 – kumenowa [cumene process] 149–150
 – Streckera [Strecker synthesis] 266
 metylobenzen [methylbenzene] → toluen
 metylofenole [methylphenols] → krezole
 micela [micelle]
 mieszanina nitrująca [nitrating mixture] 87, 107
 mieszanina racemiczna [racemic mixture] → racemat
 Międzynarodowa Unia Chemii Czystej i Stosowanej (IUPAC) [International Union of Pure and Applied Chemistry] 53, 78, 85, 102, 130, 170
 mocznik [carbamide] 11, 221
 monomer [monomer] 68, 78, 96, 165
 monosacharydy [monosaccharides] 283, 284–294
 morfina [morphine] 220
 mostek disiarczkowy [disulfide bridge] → mostek disulfidowy
 mostek disulfidowy [disulfide bridge] 276, 279
 mydło [soap] 192
 N
 nafta [kerosene] 109

- naftalen [naphthalene] 81, 98–99, 125
- nanorurka [nanotube] 13
- nitrobenzen [nitrobenzene] 87, 89, 107
- nitrogliceryna [nitroglycerin] 199
- Nobel Alfred 199
- nukleofil [nucleophile] 63, 64, 121
- nylon [nylon] 225
- O**
- oddziaływanie van der Waalsa [van der Waals force] 12
- odwodnianie [dehydration] → dehydratacja
- olej napędowy [diesel fuel] 109
- oleum [oleum] 87
- oligosacharydy [oligosaccharides] 283
- otoczka solwacyjna [solvation shell] 277, 278
- P**
- peptydy [peptides] 268, 270–271
- peptyzacja [peptization] 278, 309
- PET → poli(tereftalan etylenu)
- pl → punkt izoelektryczny
- piroliza [pyrolysis] 73, 109, 149
- pirydyna [pyridine] 100
- PMMA → poli(metakrylan metylu)
- podstawniki [substituents] 94–95, 107, 251
- polaryzator [polarizer] 246, 248–249
- poliacetylen [polyacetylene] 78
- poliamidy [polyamides] 90, 225
- poli(chlorek winylu) (PVC) [poly(vinyl chloride)] 125–126
- poliistry [polyesters] 202
- polieten [polyethylene] → polietylen
- polietylen [polyethylene] 61, 68
- polietyln [polyethylene] → poliacytylen
- polifenol [polyphenol] 155
- poliformaldehyd [polyformaldehyde] 165
- polikondensacja [polycondensation] 165–166, 173, 174, 202
- polimer [polymer] 68, 78, 96, 126, 165, 274
- polimeryzacja [polymerization] 66, 68, 76, 78, 96, 106, 125, 165, 173, 174
- poli(metakrylan metylu) (PMMA) [poly(methyl methacrylate)] 202
- polipropylen [polypropylene] 68
- polisacharydy [polysaccharides] 283, 302–306
- polistyren [polystyrene] 96, 97
- poli(tereftalan etylenu) (PET) [poly(ethylene terephthalate)] 312
- politetrafluoroeten [polytetrafluoroethylene] → teflon 126
- poliuretany [polyurethanes] 225
- pozycja alfa α [alpha position] 98, 125
- beta β [beta position] 98
- projekcja Fischera [Fischer projection] → wzór Fischera
- propano-1,2,3-triol [propane-1,2,3-triol] → glicerol 132, 141–145
- propanon [propanone] → aceton
- proteiny [protein] 275
- próba jodoformowa [iodoform test] 173
- Tollensa [Tollens' test] 163–164, 178, 180, 292, 299
- Trommera [Trommer's test] 165, 178, 180, 292, 298
- przegrupowanie wewnątrzcząsteczkowe [intramolecular rearrangement] 75–76
- przesącz [filtrate] 26, 28
- PTFE → teflon
- punkt izoelektryczny (pl) [isoelectric point] 268
- izojonowy [isoionic point] → punkt izoelektryczny
- PVC → poli(chlorek winylu)
- R**
- racemat [racemate] 256, 268
- reakcja addycji [addition reaction] 62–64, 74–75, 82, 87, 106, 107, 118, 125, 131, 163, 173, 174, 184, 191
- alkilowania [alkylation reaction] 92, 96
- amonolizy [ammonolysis reaction] 266
- biuretowa [biuret reaction] 280
- dekarboksylacji [decarboxylation reaction] 186
- eliminacji [elimination reaction] 61, 106, 121–123, 137
- estryfikacji [esterification reaction] 196
- ksantoproteinowa [xanthoproteic reaction] 280
- Kuczerowa [Kuchero's reaction] 75
- łańcuchowa [chain reaction] 45–46
- nitrowania [nitration] 87, 99, 106, 107, 155, 157
- podstawienia [substitution reaction] → reakcja substytucji
- przyłączania [addition reaction] → reakcja addycji
- rodnikowa [radical reaction] 11, 46–47, 124, 142
- substytucji [substitution reaction] 46, 51, 63, 82, 86, 93, 106, 118, 120, 121, 124–125, 137, 154, 173
- sulfonowania [sulfonation] 87, 99, 107, 156
- utleniania-redukcji [oxidation-reduction reaction] 64–65, 138, 164–165, 186
- uwodornienia [hydrogenation] 87, 173, 191
- Würtza [Würtl reaction] 121
- reforming [reforming] 86
- reguła Hückela [Hückel rule] 82–83
- Markownikowa [Markovnikov's rule] 75, 131
- reguła pierwszeństwa 252–254
- rektyfikacja [rectification] → destylacja frakcyjna
- resublimacja [deposition] 24
- rodnik [radical] 11, 46–47, 124, 142
- ropa naftowa [petroleum] 31, 109
- rozdzielacz [separatory funnel] 25
- ryboza [ribose] 285, 288, 294
- S**
- sacharoza [saccharose] 283, 296, 297, 298, 300
- sacharydy [saccharides] 283
- , izomeria [saccharides, isomerism] 287–289, 297
- , nazewnictwo [saccharides, nomenclature] 284
- , otrzymywanie [saccharides, the preparation of] 284
- , podział [saccharides, types] 283
- , reakcje charakterystyczne [saccharides, chemical tests] 303
- , właściwości [saccharides, properties] 290–292, 298, 303, 305
- , występowanie [saccharides, the occurrence of] 294, 300
- , wzór ogólny [saccharides, the general formula] 283
- , zastosowania [saccharides, the use of] 294, 300
- seryna [serine] 269, 270, 320
- sfigolipidy [sphingolipids] 209
- sfigozyna [sphingosine] 209
- siarka [sulfur] 22, 25, 34
- silikaz [silica gel] 18
- skręcalność właściwa (α) [specific rotation] 289
- skrobia [starch] 61, 283, 302–304, 306
- smoła węglowa [coal tar] 100, 109, 149
- sól wewnętrzna [inner salt] → jon obojnaczy
- spalanie całkowite [complete combustion] 16, 44, 50, 62, 74, 82, 93, 106, 133, 143, 182
- niecałkowite [incomplete combustion] 16, 44, 50, 62, 74, 82, 92, 93, 106, 133, 143

spektrometria mas [mass spectrometry] 33
 spirytus drzewny [wood alcohol] → metanol
 spirytus salicylowy [salicylic alcohol] 262, 263
 steran [sterane] 58
 stereoizomeria [stereoisomerism] 101–104
 steroidy [steroids] 58
 stopień utlenienia [oxidation number] 64
 strychnina [strychnine] 220
 styren [styrene] 96
 styropian [styrofoam] 97
 sublimacja [sublimation] 24, 35
 suchy lód [dry ice] 16, 24
 szereg aktywności metali [electropotential series] 136
 – homologiczny [homologous series] 47, 50, 60, 66, 72, 76, 88, 106, 130, 159, 177

T
 talidomid [thalidomide] 254
 teflon (PTFE) [teflon] 126
 teoria strukturalna [structural theory] 14, 34
 – witalistyczna [vitalistic theory] 10

terpeny [terpenes] 210
 tiofen [thiophene] 100
 tlen [oxygen] 21, 34
 tłuszcze [fats] 11, 205–212
 –, hydroliza zasadowa [fats, base hydrolysis] → zmydlenie
 –, nazewnictwo [fats, nomenclature] 206
 –, otrzymywanie [fats, the preparation of] 206
 –, podział [fats, types] 205
 –, właściwości [fats, properties] 206
 –, występowanie [fats, the occurrence of] 211
 –, wzór ogólny [fats, the general formula] 205
 –, zastosowania [fats, the use of] 211

tłuszczowce [lipids] → lipidy
 toluen [toluene] 81, 88, 89, 92–93, 99, 124, 149
 triazotan(V) glicerolu [trinitrate(V) glycerol] → nitrogliceryna
 trichlorometan [trichloromethane] → chloroform
 trijodometan [triiodomethane] → jodoform
 twarda woda [hard water] 192
 tyrozyna [tyrosine] 269, 321

U
 ugrupowanie uretanowe [urethane group] 225

W
 węgiel [carbon] 21, 34
 –, atom anomeryczny [carbon, anomeric atom] 288–289
 –, atom asymetryczny [carbon, asymmetric atom] 247, 252, 255, 259, 266, 288
 –, rzędowość [carbon, primary, secondary, tertiary, quaternary atom] 56, 108, 120, 122, 129

węgla kopalne [coal] 109
 węgiel wapnia [calcium carbide] → karbid
 węglowodany [carbohydrates] → sacharydy
 węglowodory [hydrocarbons] 42–99
 – aromatyczne [aromatic hydrocarbons] → areny
 – nasycone 42–59
 – nienasycone 60–80

wiązanie glikozydowe [glycosidic bond] 296
 – hemiacetalowe [hemiacetal bond] 286
 – koordynacyjne [coordinative bond] 145
 – kowalencyjne [covalent bond] 12, 13, 36, 60, 63, 72, 132
 – peptydowe [peptide bond] 225, 268, 270–272
 – pi π [pi bond] 60, 62, 72
 – podwójne [double bond] 15, 42, 60, 106, 163, 165, 173, 179, 182, 189
 – pojedyncze [single bond] 14, 34, 42, 47, 75, 83, 106
 – potrójne [triple bond] 15, 42, 52, 72, 78, 106, 122
 – półacetalowe [hemiacetal bond] → wiązanie hemiacetalowe
 – sigma σ [sigma bond] 60, 62, 72
 – wodorowe [hydrogen bonding] 135, 143, 182
 – zdelokalizowane [delocalized bonding] 82–86, 98, 106

winylobenzen [vinylbenzene] → styren
 witamina B12 [vitamin B12] 14
 woda bromowa [bromine water] 45, 51, 62, 74, 82, 154
 wodór [hydrogen] 21, 34
 Wöhler Friedrich 11
 woski [waxes] 209
 wysalanie białka [salting] 278
 wzory Kékulego [Kékule formulas] 83, 85

wzór elementarny [elementary formula] 19–21
 – empiryczny [empirical formula] → wzór elementarny
 – Fischera [Fischer formula] 251, 255, 260, 286–289

– grupowy [semi-structural formula] → wzór półstrukturalny 15, 35
 – Hawortha [Haworth formula] 286–289
 – kreskowy [skeletal formula] → wzór szkieletowy 15, 35
 – perspektywiczny [perspective formula] 250–251
 – półstrukturalny [semi-structural formula] 15, 35
 – półstrukturalny skrócony [shortened semi-structural formula] 15, 35
 – projekcyjny [projection] → wzór Fischera
 – rzeczywisty [molecular formula] → wzór sumaryczny
 – strukturalny [structural formula] 15, 35
 – sumaryczny [molecular formula] 14, 19, 20
 – szkieletowy [skeletal formula] 15, 35
 – taflowy [Haworth formula] → wzór Hawortha

Z
 zarodek krystalizacji [nucleating agent] 29
 zmydlenie [saponification] 208
 zol [sol] 277–278
 związki amfoteryczne [amphoterics] 267, 268
 – Grignarda [Grignard compounds] 123
 – koordynacyjne [coordination compounds] 145
 związki magnezooorganiczne [magnesium organic compounds] → związki Grignarda
 – mezo [meso compounds] 256
 – nitrowe [nitro compounds] 116

Ż
 żywica fenolowo-formaldehidowa [phenol-formaldehyde resin] 166, 264

Projekty infografik: Enzo Di Giacomo

Ilustracje: Ewelina Baran (s. 42–43; s. 60; s. 72; s. 84 – hybrydyzacja; s. 246; s. 248–249; s. 277 – hemoglobina), Magdalena Biesaga (s. 33 – chromatogram), Elżbieta Buczkowska (s. 302), Rafał Buczkowski (s. 29; s. 31; s. 78; s. 84 – benzen; s. 85; s. 125; s. 246–247; s. 249 – okulary; s. 250; s. 253; s. 275–276; s. 277 – koloid; s. 278–279; modele atomów i cząsteczek), Mateusz Klamrowski (s. 210; s. 236–237; s. 274), Magdalena Król (s. 241), Dorota Samec (s. 53; s. 109; s. 322–327; piktogramy, schematy doświadczeń chemicznych, układ okresowy pierwiastków chemicznych, tabela rozpuszczalności) Adam Poczwiek i Dorota Samec (wykresy i diagramy)

Fotografia na okładce: Maciej Galiński, Arkadiusz Ignaciuk

Fotografie: Włodzimierz Echeński (s. 6–7; s. 21; s. 23 – wykrywanie węgla; s. 28 – jod; s. 32; s. 50; s. 61 – eten; s. 73; s. 133; s. 134 – gęstość etanolu; s. 134 – wpływ etanolu na białko; s. 138; s. 143 – glicerol; s. 164/próba Tollensa; s. 165 – próba Trommerra; s. 183–184; s. 190–191; s. 196; s. 206 – badanie rozpuszczalności oleju; s. 207–208; s. 303 – badanie właściwości skrobi), **Franciszek Krok** (s. 303 – skrobia SEM), **Piotr Kubat** (s. 45; s. 81–82; s. 86; s. 92; s. 99; s. 134 – parowanie etanolu; s. 136; s. 144–145; s. 147; s. 154; s. 155 – fenol; s. 161; s. 166; s. 182; s. 192; s. 200; s. 206 – topienie masła; s. 221 – reakcja etanoamidu; s. 225 – nylon; s. 267; s. 277–280; s. 283; s. 290; s. 293; s. 298; s. 305 – celuloza), **Magdalena Niedzwiedzka** (s. 23 – mufinka), **Anna Palusińska** (s. 30 – enfleurage), **Maciej Wróbel** (s. 187 – woda), **BE&W** (s. 9 – Charles D. Winters/suchy lód; s. 14 – Phototake/Kunkel Dennis/krew; s. 16 – Charles D. Winters/suchy lód; s. 26–27 – Charles D. Winters/zastosowanie krystalizacji; s. 80 – Charles D. Winters; s. 91 – Charles D. Winters; s. 132 – imagebroker/Michael Weber; s. 137 – Visuals Unlimited/Nature Picture Library; s. 167 – age fotostock/R. Koenig/mirt; s. 194 – BSIP/VEI; s. 203 – Alamy/Rick & Nora Bowers/simondsj; s. 225 – Alamy/STOCKFOLIO/poliuretany; s. 294 – age fotostock/Charles O Cecil/guma arabska; s. 306 – Nature Picture Library/Charlie Summers/krab), **Diomedia** (s. 6–7 – Science Photo Library/ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY; s. 30 – Science Photo Library/kolumna refrakcyjna; s. 41 – Science Photo Library/ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY; s. 79 – TIPS Images/Roberto Rinaldi/nurek); s. 87 – Science Photo Library/ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY; s. 90 – Science Photo Library/MAXIMILIAN STOCK LTD/oranż metylowy; s. 151 – Science Photo Library/MARTYN F. CHILLMAID/kryształy fenolu utlenione, Science Photo Library/ANDREW LAMBERT PHOTOGRAPHY/kryształy fenolu bezbarwne; s. 201 – Biosphoto/Allofs Theo/sandałowiec; s. 300 – Science Photo Library/PHOTOSTOCK-ISRAEL/dzemy), **East News** (s. 11 – World History Archive/Wöhler; s. 13 – Science Photo Library/mikroskopowe; s. 26–27 – Science Photo Library/oczyszczanie mieszaniny; s. 33, s. 47 – Science Photo Library; s. 70 – Sipapress; s. 78 – Gene Blevins/diody; s. 117, s. 173, s. 174, s. 197, s. 221/kwas chlorowodorowy; s. 248/barwa światła; s. 245, s. 248, s. 291 – Science Photo Library), **Flash Press Media/Getty Images** (s. 12 – Vincenzo Lombardo/plytka grafenu; s. 157 – ArtBox Images/Glow Wellness/mydło; s. 163 – National Geographic/Joel Sartore; s. 226 – De Agostini Picture Library/DEA/A. MORESCHI/kaktus; s. 281 – Photo Researchers/Ted Kinsman/farba), **FotoChannels/Corbis** (s. 10 – Dieter Heinemann/Westend61/magnezyt; s. 24 – John Cancalosi/National Geographic Society/chalkopiryt; s. 29 – Orjan F. Ellingvag/biopalivo; s. 44 – Philip Evans/Visuals Unlimited; s. 127 – Matthew Ashton/AMA/sportowiec z urazem; s. 139 – Denis Scott/kaszalot; s. 175 – Anna Clopet/perfumy; s. 201 – David Sieren/paczka; s. 211 – Frank Croes /czekolada; s. 224 – Willard Culver; s. 245 – Dr. Gladden Willis/bakterie; s. 262 – Bettmann/atrament sympatyczny; s. 272 – Maximilian Stock Ltd/słodzik; s. 307 – Matthias Kulka), **Muzeum Historyczne m.st. Warszawy** (s. 262 – aspiryna); **NASA** (s. 56), **PantherMedia** (s. 14 – Martin Kreutz/chlorofil; s. 98 – Gary Whitton; s. 118 – Erich Teister; s. 126 – Andreas Stecher/hotel w nocy; s. 205 – Jolanta Dąbrowska; s. 224; s. 305 – Gerard Taylor/termitt), **shutterstock.com** (s. 8 – Ecelpop, fthes; s. 10 – Gontar/kalcyt, Infotool/dolomit; s. 12 – Paul Fleet/rurka; s. 12–13 – Jezper; s. 13 – Mara008 /struktura, fuleren, Milos Lוזanin/grafit; s. 16 – anthonymooney/dym; s. 18 – Coprid/żel, keko64/granulki; s. 28 – Byelikova Oksana/siarka; s. 29 – eAlisa/herbata; s. 57 – Couperfield/parafina, ded pixto/ropa naftowa; s. 68 – phoenixman; s. 69 – Vitale/sosna; s. 78 – Fer Gregory/lampa karbidowa; s. 79 – deznignor/meteor, Pavels Hotulevs/laboratorium; s. 84 – Boris15; s. 90 – Bychkov Kirill Alexandrovich/wulkan; s. 94 – DVARG/czaszka, sgame/wzór; s. 100 – Brian Holm Nielsen; s. 126 – Joseph Calev/hotel w dzień; s. 139 – KuulLeeR/żużlowiec; s. 143 – Tatiana Morozova/dym; s. 146 – Leonid and Anna Dedukh/niemowlę, payta/słonecznik; s. 157 – valigloo/cynamon; s. 164 – prochasson frederic/bombka; s. 165 – Domenic Gareri/robot; s. 167 – joannawnuk/wanilia; s. 175 – reptiles4all/cyweta; s. 193 – Neirfy/lódź, tristan tan/kakaowiec, Vacclav/malarz; s. 199 – Fer Gregory; s. 201 – LianeM/jasmin; s. 202 – Dan Breckwoldt/stadion; s. 203 – Hintau Aliaksei/gładź, Nieuwenhuisen/sery; s. 211 – Africa Studio/kokos; s. 212 – bepsy; s. 226 – prodakshyn/golenie; s. 247 – Tanis Saucier; s. 249; s. 254 – piotr_pabjan; s. 260 – Hallgerd; s. 281 – Maurizio Milanese/piekarz; s. 282 – Sychugina; s. 285 – Sergey Lavrentev; s. 294 – Schmid Christophe/plywak, Sofiaworld/sok pomidorowy; s. 297 – Khoroshunova Olga; s. 299 – Leonid Shcheglov/lody, huyangshu/proso; s. 300 – Luis Carlos Jimenez del rio/burak; s. 305 – Viappy/taśma filmowa), **Thinkstock/Getty Images** (s. 18 – Zoonar/migdały; s. 96 – Zoonar; s. 157 – Photodisc/syrop; s. 202 – Digital Vision/PEI; s. 211 – Creatas/pucybut; s. 226 – Comstock/kroplówka; s. 256 – Zoonar/kminek; s. 272 – Photos.com/sushi, Pixland/śpiąca dziewczyna; s. 274; s. 300 – Photodisc/flara), **Thinkstock/Getty Images/Hemera** (s. 57 – wosk; s. 61 – liście; s. 69 – opalanie; s. 74; s. 97; s. 159; s. 178), **Thinkstock/Getty Images/iStockphoto** (s. 10 – syderyt; s. 11 – tusz; s. 24 – sól; s. 69 – kwiaty; s. 127 – granat dymny; s. 127 – algi; s. 139 – krem; s. 146 – czekolada; s. 155 – mandarynki; s. 156; s. 167 – narzędzia; s. 175 – lakier; s. 181; s. 187 – szkła kontaktowe, czarna porzeczka; s. 201 – cytrusy; s. 209; s. 220; s. 225 – jedwabnik; s. 245 – tusz; s. 256 – mięta; s. 263 – kosmetyczka, tabletki; s. 263 – granat; s. 276; s. 281 – owca; s. 301; s. 306 – chusteczka higieniczna, nici chirurgiczne), **U.S. Army** (s. 90 – mina)

Adresy stron internetowych zweryfikowano dnia 13.03.2013 r.

Redakcja Wydawnictwa Nowa Era dziękuje za pomoc w przygotowaniu materiału ilustracyjnego następującym osobom i instytucjom: **Muzeum Historycznemu m.st. Warszawy** za udostępnienie fotografii opakowania kwasu acetylosalicylowego, **pani dr Magdaleny Biesadze** z Wydziału Chemii Uniwersytetu Warszawskiego za udostępnienie chromatogramu.

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. 29 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.