

Chemia

4

Podręcznik dla **szkół ponadpodstawowych**

Małgorzata Czaja
Bożena Karawajczyk
Marek Kwiatkowski

Chemia

Podręcznik dla **szkół ponadpodstawowych**



4

ZAKRES ROZSZERZONY

 **OPERON**
Edukacja jest podróżą

2022

Projekt okładki: Paweł Kwacz
Redaktor prowadzący: Agata Latuszek
Redakcja graficzna i skład: Danuta Jarzembek
Korekta: Marlena Dobrowolska

Zdjęcia: BE&W, chodziez.naszemiasto.pl/BOŻ, Jooinn.com, NASA, ResearchGate.net/Aly Ahmed/CC BY-SA 3.0, ResearchGate.net/CC BY-SA 4.0, Secretariat of Government Communications, Shutterstock, Ihor Serdyukov/Shutterstock.com, Wikimedia Commons, Wikimedia Commons/BXXXD/CC BY-SA 3.0, Wikimedia Commons/Kormányzati Kommunikációért Felelős Államtitkárság, L. Žurek

Ilustracje: T. Mnich, R. Osiński, M. Szafarczyk

OPERON Sp. z o.o. oświadcza, że z należytą starannością podjął wszelkie działania zmierzające do powiadomienia podmiotów majątkowych praw autorskich do utworów słownych i fotograficznych wykorzystanych w podręczniku o zamiarze ich publikacji celem uzyskania od twórców lub ich następców prawnych wymaganej zgody za przysługującym wynagrodzeniem w stosownej wysokości. Osoby, których prawa w sposób niezawiniony przez wydawnictwo zostały naruszone, prosimy o bezpośredni kontakt z wydawcą.

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 w zakresie rozszerzonym na poziomie szkoły ponadpodstawowej, na podstawie opinii rzeczoznawców: dr. Andrzeja Persony, prof. dr. hab. Bogusława Witkomirskiego, mgr. Michała Ratajczaka.

Etap edukacyjny: III
Typ szkoły: szkoła ponadpodstawowa
Zakres kształcenia: rozszerzony
Rok dopuszczenia: 2022
Numer dopuszczenia: 1059/4/2022

© Copyright by OPERON Sp. z o.o. & Małgorzata Czaja, Bożena Karawajczyk, Marek Kwiatkowski

Gdynia 2022
Wszelkie prawa zastrzeżone. Kopiowanie w całości lub we fragmentach bez zgody wydawcy zabronione.
N7610

Wydawca:
OPERON Sp. z o.o.
81-212 Gdynia, ul. Hutnicza 3
tel. centrali 58 679 00 00
e-mail: info@operon.pl
www.operon.pl

ISBN 978-83-8197-242-0

Spis treści

I Białka

1. Struktura białek	8
2. Reakcje białek	18
Podsumowanie przed sprawdzianem	25
Sprawdź, czy umiesz!	25

II Cukry

1. Cukry proste	28
2. Właściwości i znaczenie cukrów prostych	35
3. Disacharydy	42
4. Polisacharydy	48
Podsumowanie przed sprawdzianem	57
Sprawdź, czy umiesz!	57

III Chemia wokół nas

1. Włókna naturalne	60
2. Włókna sztuczne i syntetyczne	70
3. Środki czystości i kosmetyki	80
4. Substancje o działaniu leczniczym i toksycznym	92
5. Chemia napojów i żywności	104
6. Odpady stałe i ich utylizacja	119
Podsumowanie przed sprawdzianem	128
Sprawdź, czy umiesz!	129

IV Elementy ochrony środowiska

1. Ochrona atmosfery	132
2. Ochrona wód naturalnych	144
3. Ochrona środowiska lądowego	152
4. Chemia a środowisko	161
Podsumowanie przed sprawdzianem	172
Sprawdź, czy umiesz!	173

V Repetytorium

Atomy, cząsteczki i stechiometria chemiczna	176
Budowa atomu	177
Wiązania chemiczne. Oddziaływania międzycząsteczkowe	179
Kinetyka i statyka chemiczna. Energetyka reakcji chemicznych	182
Roztwory wodne	184
Reakcje w roztworach wodnych	185
Reakcje utlenienia i redukcji	186

Elektrochemia. Ogniwa i elektroliza	187
Systematyka związków nieorganicznych.....	189
Metale, niemetale i ich związki	192
Zastosowanie wybranych związków nieorganicznych.....	194
Węglowodory.....	196
Alkohole i fenole	198
Organiczne związki karbonyłowe. Aldehydy i ketony	200
Kwasy karboksylowe.....	202
Estry i tłuszcze.....	204
Związki organiczne zawierające azot.....	206
 Odpowiedzi do wybranych zadań	 209
Indeks.....	220

Wstęp

Jak jest zbudowany nasz podręcznik

Podręcznik pozwala na pełne wykorzystanie nowoczesnych metod dydaktycznych w nauczaniu chemii. Zgodnie z założeniami reformy programowej uczniowie I klasy liceów i techników rozpoczną naukę tego przedmiotu w zakresie rozszerzonym w zwiększonym wymiarze godzin.

Zanim zaczniesz korzystać z podręcznika, zapoznaj się z jego budową i przyjrzyj się wszystkim jego elementom. Zostały one skonstruowane tak, by ułatwić ci naukę i pomóc w błyskawicznym znalezieniu potrzebnych informacji.

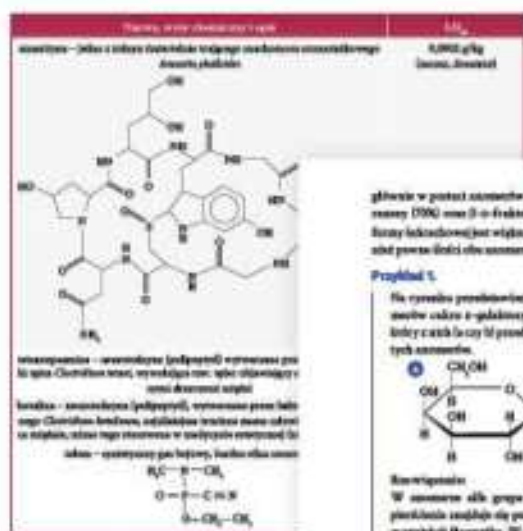


Bezpośrednio pod tytułem rozdziału znajdziesz moduł „Na tej lekcji” – jego zadaniem jest ukierunkowanie cię na cele realizowane w danym temacie.

W tekście pojawiają się **wytłuszczenia**. Dzięki nim łatwiej odnajdziesz istotne zagadnienia, pojęcia i nazwy.

Hasła na marginesach to treści obowiązkowe do zapamiętania z lekcji. Zostaną one powtórzone w podsumowaniu lekcji.

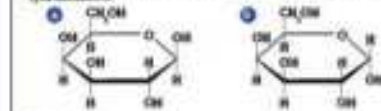
Każdy rozdział podręcznika zaczyna się od **krótkiego opisu zagadnień** z danego obszaru.



głównie w postaci sacharydów o strukturach cyklicznych: α -D-fruktofuranozy (Fru) oraz β -D-glukopiranozy (Glu). W przypadku tego cukru skład cukru laktozowego jest większy niż dla α -glukozy, w związku z tym słodziej niż sacharyza powstająca z sacharydów α -fruktopyranozy.

Przykład 1

Na rysunku przedstawiono dwa wzory strukturalne (poglądowo) sacharydów: α -D-glukopyranozy i β -D-glukopiranozy. Porównaj je z przedstawionymi wzorami i napisz, który z nich (czyli z przedstawionego sacharydu α , β -glukozę) powstaje z sacharydów tych cukrów.



Doświadczenie 1. Reakcja zachodząca między sacharydami a wodą

Opis – W probówce umieszczamy sacharyd. Ogrzewamy zawartość w probówce. Obserwujemy zmiany koloru. W probówce umieszczamy sacharyd. Ogrzewamy zawartość w probówce. Obserwujemy zmiany koloru.



3. WŁAŚCIWOŚCI I ZNAJDMIENIE CUKRÓW PROSTYCH

Tabele pomogą ci usystematyzować wiedzę.

Śledź uważnie rozwiązania przykładów, a łatwiej zrozumiesz omawiane zagadnienia.

Doświadczenia to blok zadań, w których działasz praktycznie. Umożliwi to ci zrozumienie zagadnień chemicznych poprzez działanie. Przekonasz się, że nauka chemii jest ciekawa.

Zadania do rozwiązania przećwiczysz w toku lekcji lub wykorzystasz do nauki w domu lub przed kartkówką czy sprawdzianem.

Uwaga: odpowiedzi do zadań wymagających pisemnego rozwiązania zapisz w zeszycie.

Podsumowanie lekcji to esencja najważniejszych treści do zapamiętania. Jeśli ich nie pamiętasz, wróć na stronę wskazaną obok. Znajdziesz tam na marginesie odpowiednie hasło, a w treści lekcji – jego omówienie.

Podsumowanie przed sprawdzianem zawiera najważniejsze treści do zapamiętania z rozdziału. Jeśli ich nie pamiętasz, wróć na stronę wskazaną obok i poszukaj hasła na marginesie.

Sprawdź, czy umiesz! – zestaw zadań sprawdzających opanowanie wybranych zagadnień z całego działu. Zadania są ułożone w formie krótkiego testu i mają różny poziom trudności oraz złożoności.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów. Napisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów.
- Wypisz, co to jest sacharyd.
- Porównaj, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Wypisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.

Podsumowanie przed sprawdzianem

- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.

Sprawdź, czy umiesz!

- Wypisz, co to jest sacharyd.
- Porównaj, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.
- Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.

	Opis	Opis	Opis	Opis
Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.				
Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.				
Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.				
Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.				
Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.				
Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.				
Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.				
Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.				
Opisz, jak powstaje sacharyd z dwóch jednostek sacharydów i jak powstaje sacharyd z trzech jednostek sacharydów.				



Białka to jedna z najważniejszych grup cząsteczek biologicznych mających podstawowe znaczenie dla funkcjonowania organizmów żywych. Stanowią materiał budulcowy wielu tkanek zwierzęcych (mięśni, ścięgien, skóry, kości, włosów). Ponadto odgrywają rolę specyficznych katalizatorów (enzymów) precyzyjnie regulujących procesy biochemiczne zachodzące w organizmach żywych oraz biorą aktywny udział w przenoszeniu innych cząsteczek w organizmie (np. transport tlenu) i w przekazywaniu impulsów nerwowych. Białka są wielkocząsteczkowymi polimerami (ściślej polikondensatami) o bardzo zróżnicowanej masie cząsteczkowej, od kilkunastu tysięcy aż do blisko 4 milionów unitów. Z punktu widzenia struktury chemicznej białka to polipeptydy o bardzo długich cząsteczkach zbudowanych z reszt aminokwasów połączonych ze sobą wiązaniami peptydowymi.

I Białka



- ▶ Struktura białek
- ▶ Reakcje białek

1. Struktura białek

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz sposób opisywania złożonej budowy cząsteczek białek za pomocą struktur pierwszo-, drugo-, trzecio- i czwartorzędowej;
- odkryjesz, w jaki sposób sekwencja reszt aminokwasowych w cząsteczce białka może wpływać na kształt przestrzenny cząsteczki;
- dowiesz się, jakie oddziaływania są odpowiedzialne za powstawanie struktur helisy alfa i harmonijki beta;
- uzyskasz informacje na temat rodzajów oddziaływań nadających ostateczny, trójwymiarowy kształt cząsteczkom białek;
- dowiesz się, że cząsteczki białek mogą się ze sobą łączyć w większe agregaty, nazywane strukturami czwartorzędowymi.

białka ► Cząsteczki białek składają się z bardzo wielu reszt aminokwasów związanych ze sobą wiązaniami peptydowymi. Mimo że cząsteczki są w zasadzie liniowe i nierozgałęzione, przyjmują na ogół bardzo skomplikowany kształt przestrzenny.

W opisie budowy białek określamy cztery typy struktury:

- pierwszorzędową, czyli sekwencję (kolejność) reszt aminokwasów w łańcuchu polipeptydowym;
- drugorzędową, czyli regularne pofałdowanie regionów łańcucha polipeptydowego;
- trzeciorzędową, czyli przestrzenne uformowanie łańcucha polipeptydowego;
- czwartorzędową, czyli wzajemne ułożenie przestrzenne podjednostek polipeptydowych i innych cząsteczek (tzw. grup prostetycznych), determinujące oddziaływania między nimi.

1.1. Struktury pierwszorzędowa i drugorzędowa

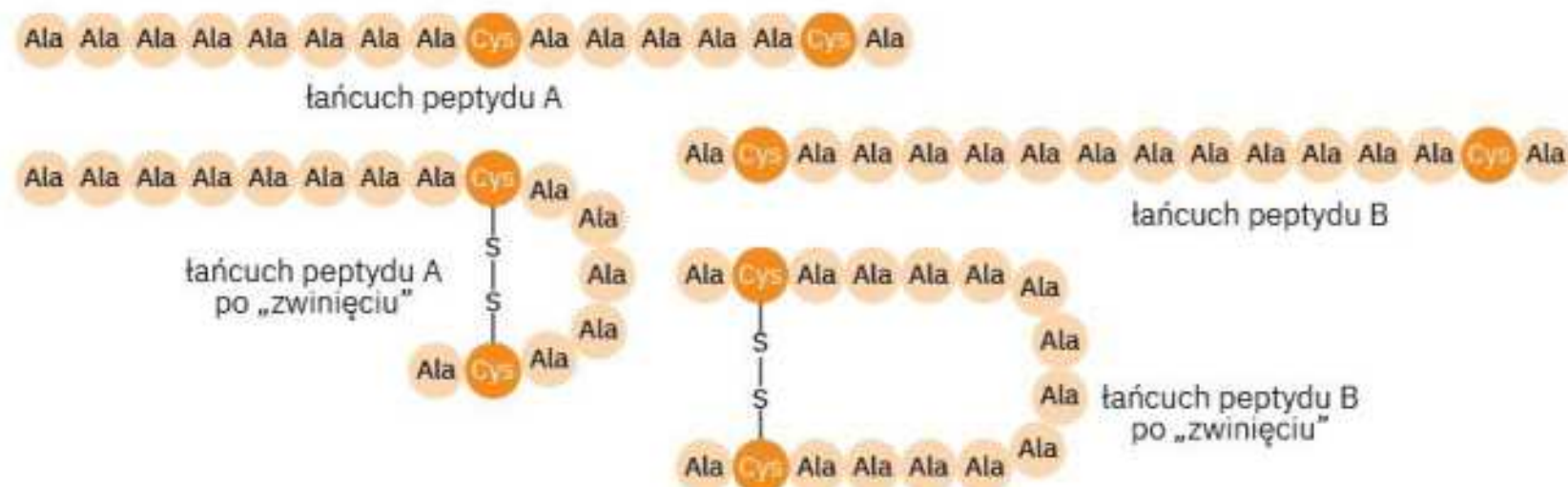
Cząsteczki białek są zbudowane z bardzo wielu reszt aminokwasów, połączonych ze sobą wiązaniami peptydowymi. Reszty pochodzą głównie z 20 aminokwasów biogennych, kodowanych przez 61 kodonów w kodzie genetycznym zawierającym 64 kodony DNA. Jednak w skład cząsteczek białek mogą niekiedy wchodzić również reszty innych aminokwasów. Reszty aminokwasów mogą łączyć się ze sobą w dowolnej kolejności i tworzyć łańcuchy o praktycznie nieograniczonej długości, a to daje niewyobrażalnie wielką liczbę kombinacji.

Biosynteza białek w komórkach przebiega jednak w taki sposób, że aminokwasy łączą się ze sobą w ściśle określonej kolejności, zgodnie z informacją genetyczną zapisaną w cząsteczkach kwasu deoksyrybonukleinowego – DNA.

**struktura
pierwszorzędowa**

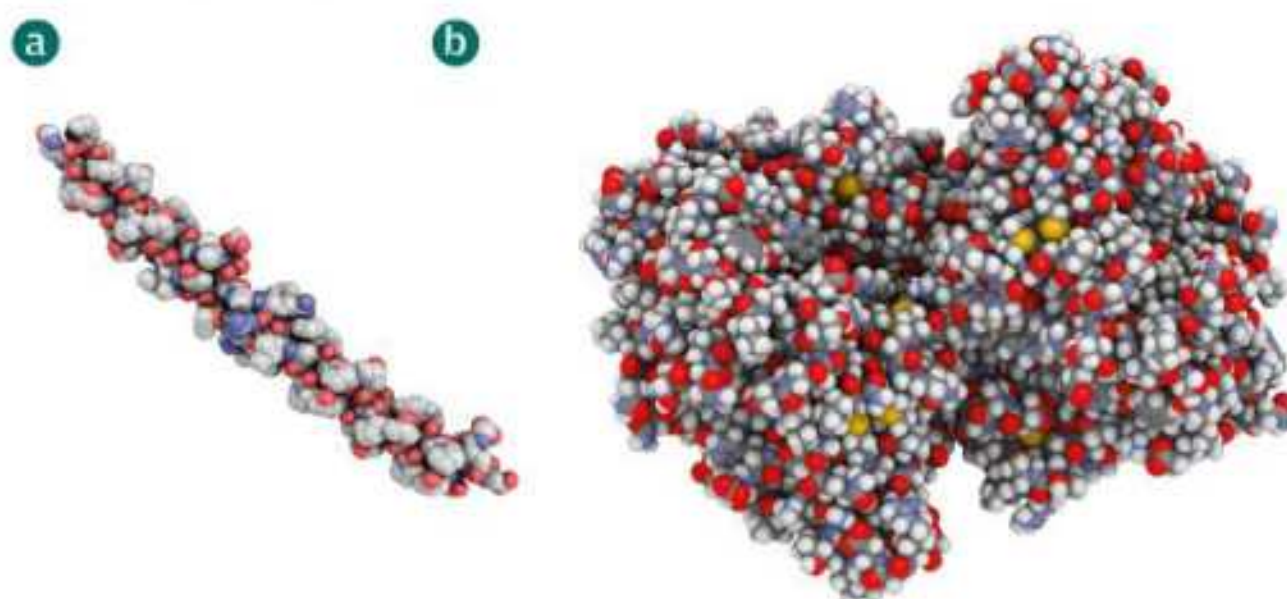
► Kolejność reszt aminokwasów w cząsteczce białka nazywamy **strukturą pierwszorzędową**.

Cząsteczki białek nie mają formy bezkształtnych, długich nici unoszących się w roztworze i wyginających się przypadkowo. Wręcz przeciwnie – te cząsteczki mają ściśle określony kształt przestrzenny, który powstaje wskutek zwijania się łańcucha peptydowego, niejednokrotnie w bardzo skomplikowany twór. Przyczyną tego zwijania się są różnorodne oddziaływania między fragmentami łańcucha białkowego, które nadają cząsteczce ostateczny kształt. Z kolei sposób tych oddziaływań wynika z sekwencji aminokwasów w łańcuchu – cząsteczki różniące się kolejnością i rodzajem reszt aminokwasów zwijają się w inny sposób (rys. 1.1.).



Rys. 1.1. Peptydy A i B różnią się tylko położeniem jednej reszty cysteiny (Cys). Grupy $-SH$, znajdujące się w różnych resztach cysteiny, mogą reagować ze sobą, co prowadzi do utworzenia tzw. mostka disiarczkowego $-S-S-$ i spięcia łańcucha peptydowego jakby klamrą. Kształt cząsteczek połączonych mostkiem disiarczkowym jest inny dla obu peptydów.

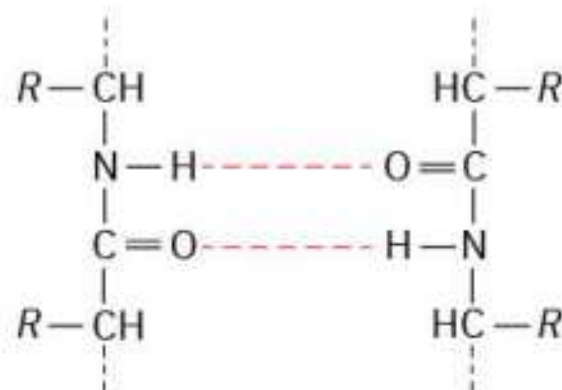
Kształt cząsteczek ma ogromne znaczenie dla funkcji biologicznych pełnionych przez białko. Przykładowo białka strukturalne, takie jak kolagen czy keratyna, przyjmują kształt wydłużonych, splecionych ze sobą sznurów, podczas gdy cząsteczki enzymów mają kształt ciasno zwiniętych kłębków o pofałdowanej powierzchni (rys. 1.2.).



Rys. 1.2. Przykładowe kształty cząsteczek białek: a) strukturalnych (kolagen), b) enzymów (celulaza – enzym katalizujący hydrolizę celulozy).

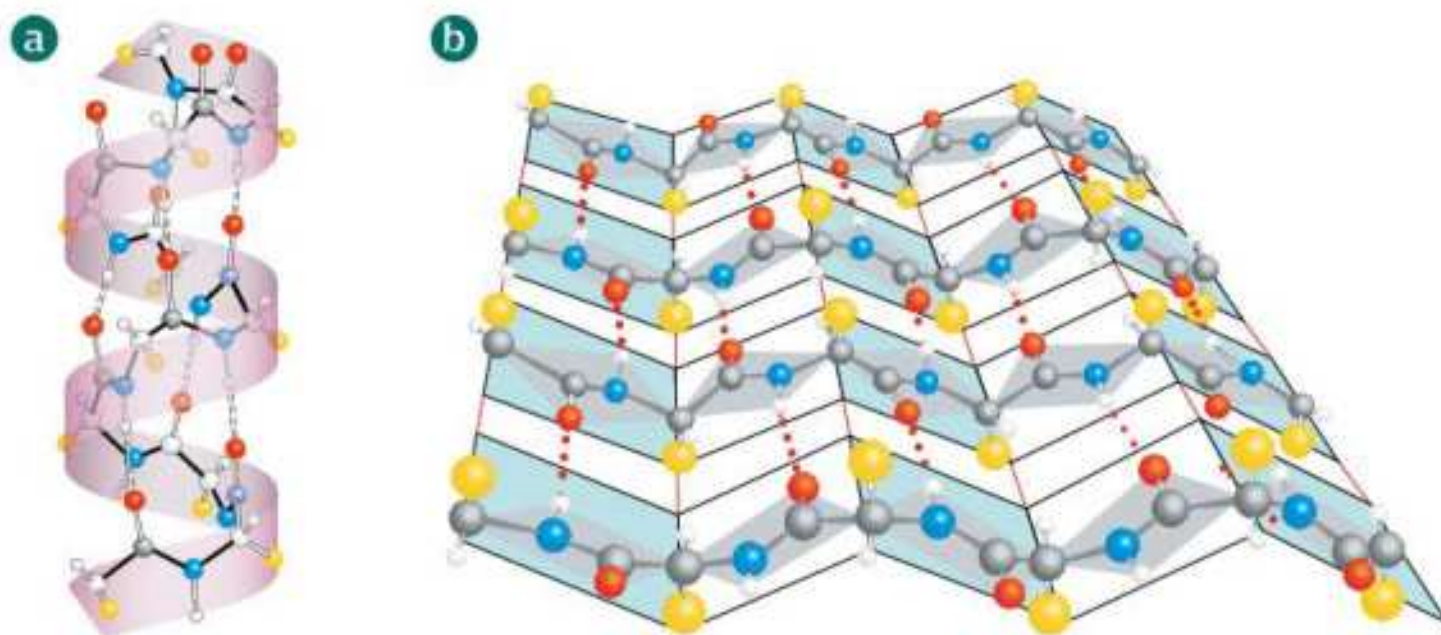
► **Drugorzędowa struktura** białek powstaje na skutek tworzenia się wiązań wodorowych, w które są zaangażowane grupy: karbonylowa C=O oraz amidowa N-H, wchodzące w skład wiązań peptydowych (rys. 1.3.).

Ponieważ wiązania peptydowe występują w regularnych odstępach wzdłuż łańcucha peptydowego w układzie $(-CHR-CO-NH-)_n$, między fragmentami tego samego łańcucha lub dwoma łańcuchami może powstać bardzo wiele wiązań wodorowych, stabilizujących strukturę drugorzędową. Do najważniejszych struktur drugorzędowych białek



Rys. 1.3. Przykładowe wiązania wodorowe (czerwona przerywana linia), które mogą powstawać między dwiema cząsteczkami polipeptydów lub między dwoma fragmentami tego samego łańcucha polipeptydowego.

- helisa alfa ► zaliczamy **helisę alfa** oraz **harmonijkę beta**. W **helisie alfa** wiązania wodorowe tworzą się między atomami wodoru grupy N-H a atomami tlenu grupy karbonylowej C=O oddalonej o cztery reszty aminokwasów. W rezultacie łańcuch polipeptydowy zwiija się w regularną, dość ciasną spiralę, stabilizowaną wieloma wiązaniami wodorowymi, przy czym na jeden skok spirali przypadają 3,6 reszty aminokwasów (rys. 1.4.a). W strukturze **harmonijki beta** wiązania wodorowe tworzą się między sąsiadującymi ze sobą cząsteczkami lub fragmentami łańcucha polipeptydowego, ułożonymi względem siebie równolegle. Powstaje płaska, pofalowana struktura przypominająca harmonijkę wykonaną z kartki papieru. W strukturze tej łańcuchy biegnące równolegle łączą się prostopadłymi wiązaniami wodorowymi (rys.1.4.b).



Rys. 1.4. Struktura drugorzędowa białek: a) helisa alfa – atomy wodoru grup NH tworzą wiązania wodorowe z atomami grup karbonylowych CO oddalonych o cztery reszty aminokwasów; b) harmonijka beta – łańcuchy polipeptydowe biegnące równolegle wiążą się poprzecznymi wiązaniami wodorowymi.

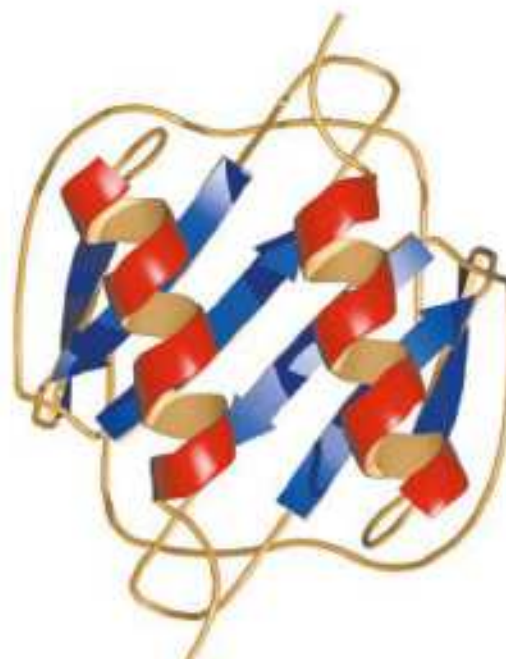
Przykład 1.

Fragment łańcucha białka zwinięty w helisę alfa zawiera łącznie 54 reszty aminokwasów. Z ilu pełnych zwojów składa się powstała spirala?

Rozwiązanie:

W helisie alfa na jeden zwoj spirali przypada 3,6 reszty aminokwasów. Zatem spirala będzie miała $54 : 3,6 = 15$ pełnych zwojów.

Cząsteczki białek są na ogół zbyt duże, aby w ich wzorach chemicznych można było przedstawiać wszystkie istniejące atomy i wiązania. Dlatego do tego celu powszechnie używa się uproszczonych modeli. W takich modelach helisy alfa mają postać spiralnie skręconej wstążki (lub walca). Natomiast fragmenty harmonijki beta przedstawia się jako płaskie strzałki, których grot wskazuje kierunek przebiegu łańcucha polipeptydowego od aminokwasu N-terminalnego do aminokwasu C-terminalnego (rys. 1.5.).



Rys. 1.5. Przykładowy model cząsteczki białka. Spiralnie skręcone wstążki odpowiadają fragmentowi cząsteczki o drugorzędowej strukturze helisy alfa, a szerokie strzałki oznaczają fragment o strukturze harmonijki beta.

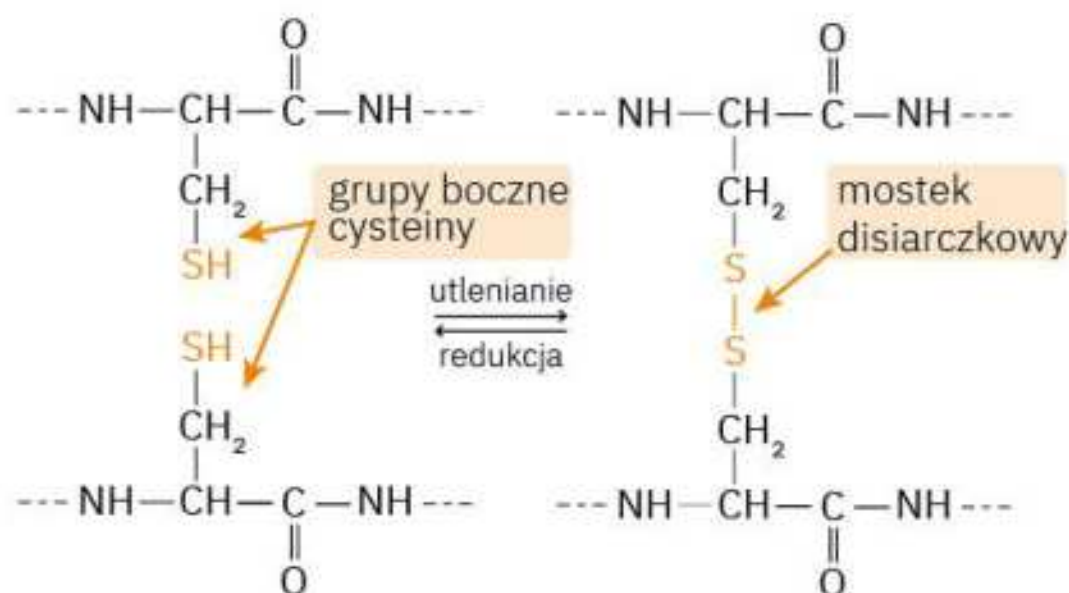
1.2. Struktury trzeciorzędowa i czwartorzędowa

Ostateczny kształt przestrzenny cząsteczki białka jest opisany przez **strukturę trzeciorzędową**. Powstaje ona w wyniku wzajemnych oddziaływań grup bocznych *R* reszt aminokwasów: mostków disiarczkowych, mostków solnych, wiązań wodorowych oraz oddziaływań hydrofobowych.

◀ struktura trzeciorzędowa

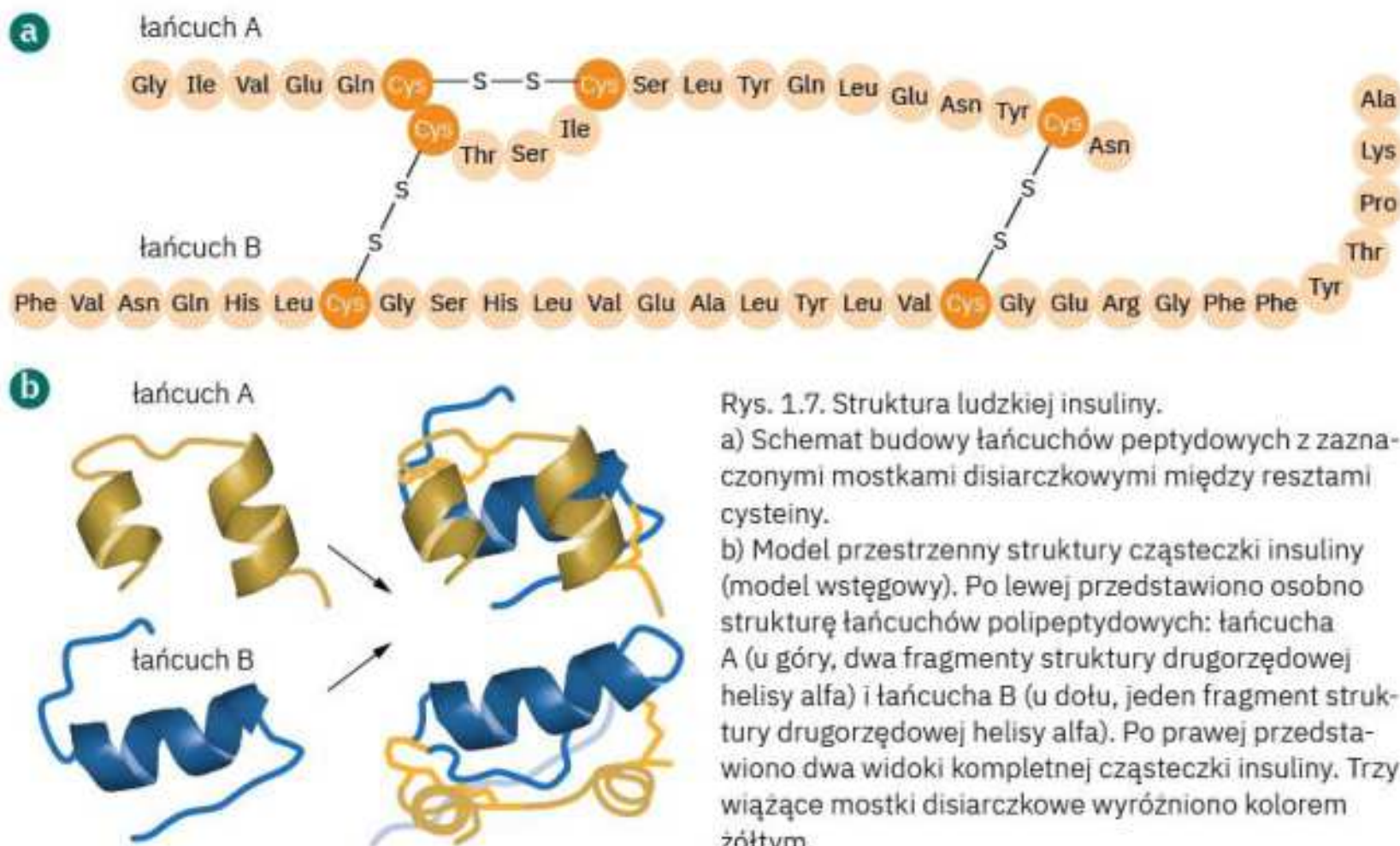
Jeżeli w łańcuchu polipeptydowym występują co najmniej dwie reszty cysteiny (Cys), grupy tiolowe SH wchodzące w skład tego aminokwasu mogą przereagować ze sobą i tworzy się grupa –S–S–, zwana **mostkiem disiarczkowym** (rys. 1.6.). Reakcja ta ma charakter utleniania-redukcji. Utlenianie grup SH cysteiny prowadzi do powstania mostka –S–S– i odwrotnie – w wyniku redukcji tego ugrupowania zostają odtworzone grupy SH cysteiny.

◀ mostek disiarczkowy



Rys. 1.6. Powstawanie mostka disiarczkowego. Dwie grupy SH wchodzące w skład reszt cysteiny reagują ze sobą. W wyniku tej reakcji powstaje ugrupowanie $-S-S-$. W rezultacie następuje złączenie ze sobą (spięcie) łańcuchów peptydowych.

Mostki disiarczkowe spinają łańcuch peptydowy w różnych miejscach i nadają mu określony kształt. Na przykład w cząsteczce ludzkiej insuliny (rys. 1.7.) występują dwa odrębne łańcuchy polipeptydowe: krótszy łańcuch (łańcuch A) zawiera cztery reszty cysteiny, dłuższy (łańcuch B) – dwie reszty tego aminokwasu. Grupy SH zawarte w podstawnikach bocznych cysteiny tworzą trzy mostki disiarczkowe, które spinają oba łańcuchy w jedną cząsteczkę i nadają jej określony kształt.



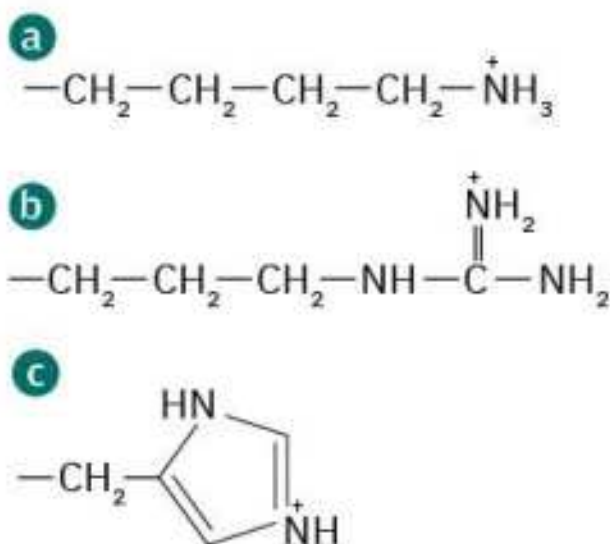
Rys. 1.7. Struktura ludzkiej insuliny.

a) Schemat budowy łańcuchów peptydowych z zaznaczonymi mostkami disiarczkowymi między resztami cysteiny.

b) Model przestrzenny struktury cząsteczki insuliny (model wstęgowy). Po lewej przedstawiono osobno strukturę łańcuchów polipeptydowych: łańcucha A (u góry, dwa fragmenty struktury drugorzędowej helisy alfa) i łańcucha B (u dołu, jeden fragment struktury drugorzędowej helisy alfa). Po prawej przedstawiono dwa widoki kompletnej cząsteczki insuliny. Trzy wiążące mostki disiarczkowe wyróżniono kolorem żółtym.

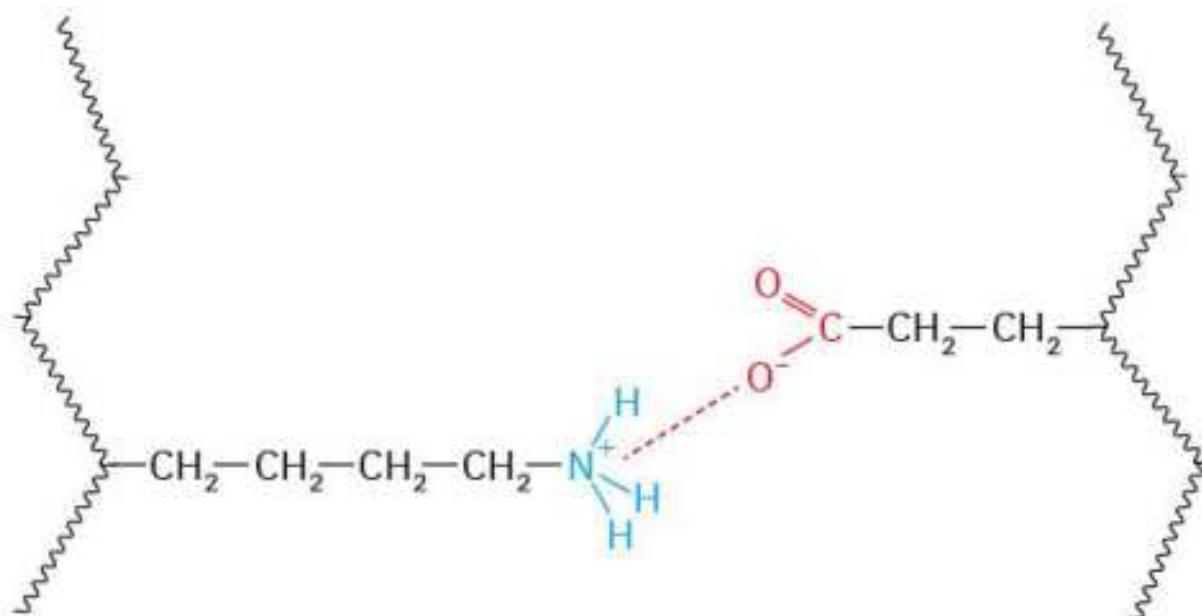
Boczne grupy kwasu asparaginowego i kwasu glutaminowego zawierają dodatkową grupę karboksylową, która w warunkach fizjologicznych jest zjonizowana do grupy COO^- , obdarzonej ładunkiem ujemnym. Z kolei lizyna, arginina i histydyna zawierają w łańcuchu bocznym grupę o charakterze zasadowym, która po przyłączeniu jonu wodorowego H^+ przekształca się w grupę obdarzoną ładunkiem dodatnim (rys. 1.8.).

Przeciwnie naładowane grupy przyciągają się wzajemnie siłami elektrostatycznymi i powstaje rodzaj wiązania jonowego, przypominającego wiązania w kryształach jonowych soli (np. chlorku sodu). Dlatego ten typ oddziaływania występującego w cząsteczkach białek nazywa się **mostkiem solnym** lub **wiązaniem jonowym**. Mostki solne tworzą się zatem między resztami kwasu asparaginowego (Asp) i glutaminowego (Glu) z jednej strony a resztami lizyny (Lys), asparaginy (Asn) i histydyny (His) z drugiej strony (rys. 1.9.). Mostki solne mogą łączyć łańcuchy polipeptydowe w różnych miejscach i brać w ten sposób udział w nadaniu ostatecznego kształtu cząsteczce białka.



Rys. 1.8. Naładowane dodatnio grupy w łańcuchach bocznych: a) lizyny (Lys), b) argininy (Arg), c) histydyny (His).

◀ mostek solny



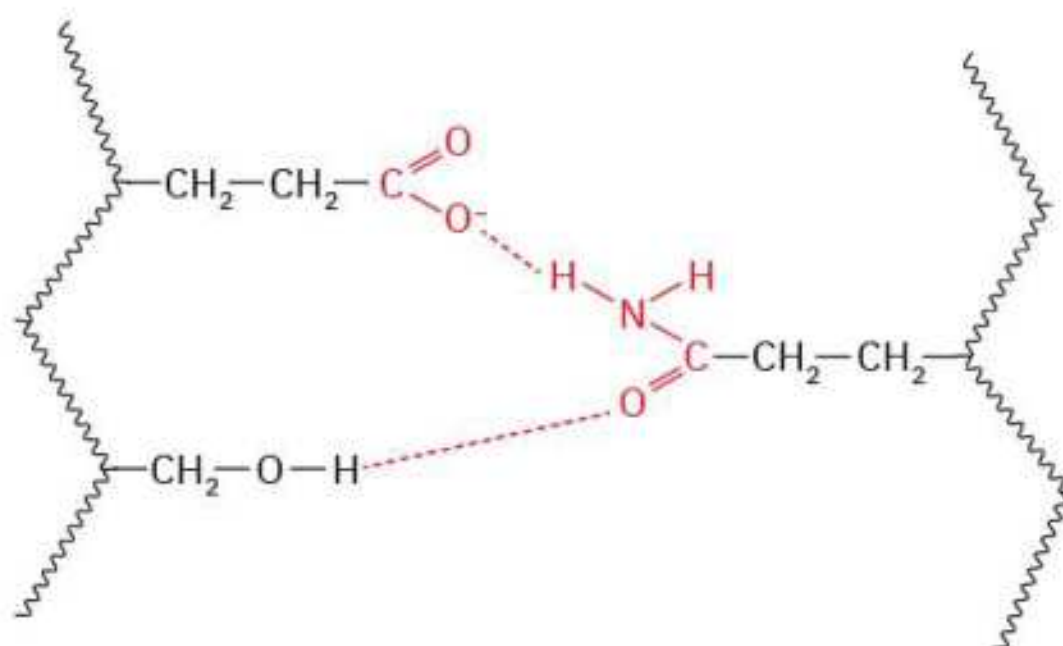
Rys. 1.9. Schematyczne przedstawienie mostka solnego powstałego między grupami bocznymi lizyny (z lewej) a grupami kwasu glutaminowego (z prawej).

W łańcuchach bocznych wielu reszt aminokwasów występują grupy o charakterze polarnym, które mogą wziąć udział w tworzeniu **wiązań wodorowych**, niezależnie od tych występujących w strukturach helisy alfa i harmonijki beta, na przykład: $-\text{OH}$, $-\text{COO}^-$, $-\text{CONH}_2$, $-\text{H}_3\text{N}^+$. Te grupy mają atom wodoru zdolny do tworzenia wiązania wodorowego (donor atomu wodoru), atom tlenu lub

◀ wiązania wodorowe łączące łańcuchy peptydowe

atom azotu zdolny do utworzenia wiązania wodorowego z atomem wodoru innej grupy (akceptor atomu wodoru) bądź mają obie te właściwości (donor i akceptor). Wiązania wodorowe mogą się tworzyć zarówno między grupami znajdującymi się w łańcuchach bocznych (rys. 1.10.), jak i między polarną grupą w łańcuchu bocznym a cząsteczkami wody w roztworze.

Oba typy wiązań mają znaczenie w nadaniu ostatecznego kształtu cząsteczce białka.



Rys. 1.10. Schematyczne przedstawienie wiązań wodorowych łączących dwa łańcuchy polipeptydowe, utworzonych między grupą amidową glutaminy (Gln) w jednym łańcuchu – po prawej – a grupą hydroksylową seryny (Ser) – po lewej u dołu – i zjonizowaną grupą karboksylową kwasu glutaminowego (Glu) w drugim łańcuchu – po lewej u góry.

Naturalnym środowiskiem, w którym występują cząsteczki białek, jest roztwór wodny. W roztworze łańcuchy boczne aminokwasów o charakterze niepolarnym – waliny (Val), leucyny (Leu), izoleucyny (Ile), fenyloalaniny (Phe) i metioniny (Met) – wykazują tendencję do grupowania się, gdyż nie są zdolne do tworzenia wiązań wodorowych z cząsteczkami wody. Grupy te zachowują się tak, jakby były wypychane ze środowiska wodnego czy też jakby unikały kontaktu z wodą – stąd się wzięła nazwa **oddziaływania hydrofobowe**. Te oddziaływania, zwane również oddziaływaniami van der Waalsa, odgrywają dużą rolę w powstawaniu trzeciorzędowej struktury białek. Na przykład tak zwane **białka globularne** przyjmują kształt w przybliżeniu kulisty w taki sposób, że na powierzchni kuli znajdują się reszty aminokwasów polarnych o grupach bocznych zdolnych do tworzenia wiązań wodorowych z cząsteczkami wody, natomiast reszty aminokwasów niepolarnych – hydrofobowe – gromadzą się w środku kuli, gdzie są odizolowane od bezpośredniego kontaktu z cząsteczkami wody.

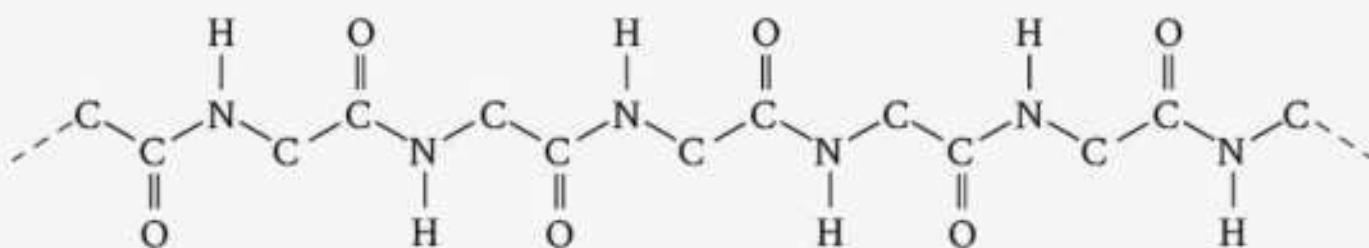
oddziaływania
hydrofobowe

białka globularne

Rys. 1.11. Struktura hemoglobiny. Podjednostki alfa i beta są wyróżnione innymi kolorami. Przedstawiono również cztery cząsteczki hemu wchodzące w skład hemoglobiny.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Omów strukturę helisy alfa. Podaj nazwę oddziaływań odpowiedzialnych za powstawanie tej struktury. Opisz, jak powstaje struktura drugorzędowa harmonijki beta.
2. Poniżej przedstawiono schematycznie szkielet cząsteczki peptydu (niektóre atomy pominięto dla większej przejrzystości rysunku). Przerysuj rysunek do zeszytu i dorysuj drugi łańcuch peptydu tworzący z pierwszym strukturę harmonijki beta w taki sposób, że oba łańcuchy będą miały orientację antyrównoległą (w dorysowanym łańcuchu reszta aminokwasu *N*-terminalnego powinna znajdować się z prawej strony). Zaznacz linią przerywaną wiązania wodorowe.



3. Wymień oddziaływania odpowiedzialne za powstawanie trzeciorzędowej struktury białek.
4. Wyjaśnij, dlaczego łańcuchy boczne reszt aminokwasów hydrofobowych wykazują tendencję do grupowania się. Oceń, czy łańcuchy te rzeczywiście są odpychane przez cząsteczki wody.
5. Łańcuch polipeptydowy zawiera cztery reszty cysteiny. Każda z nich jest oddzielona od najbliższej reszty cysteiny o co najmniej cztery reszty innych aminokwasów. Załóżmy, że wszystkie grupy SH cysteiny angażują się w utworzenie mostków disiarczkowych i tworzą dwa mostki —S—S—. Odpowiedz, ile różnych struktur trzeciorzędowych może powstać w ten sposób.
6. Przerysuj tabelę do zeszytu i ją uzupełnij. Określ, w jakiego rodzaju oddziaływaniach nadających cząsteczce białka strukturę trzeciorzędową mogą brać udział łańcuchy boczne reszt aminokwasów wymienionych w tabeli.

Aminokwas	Mostek disiarczkowy	Mostek solny	Wiązania wodorowe	Oddziaływania hydrofobowe
cysteina				
lizyna				
tyrozyna				
fenyloalanina				
kwas asparaginowy				

7. Przerysuj tabelę do zeszytu i ją uzupełnij. Wskaż, które z poniższych cech strukturalnych hemoglobiny stanowią element struktury pierwszo-, drugo-, trzecio- lub czwartorzędowej.

	Struktura			
	pierwszorzędowa	drugorzędowa	trzeciorzędowa	czwartorzędowa
Skręcenie fragmentów łańcucha polipeptydowego w helisę alfa.				
Sekwencja 141 aminokwasów w podjednostce alfa.				
Globularny kształt podjednostek alfa i beta.				
Połączenie dwóch podjednostek alfa i dwóch podjednostek beta w cząsteczkę hemoglobiny.				
Umieszczenie reszt aminokwasowych o charakterze hydrofilowym na powierzchni cząsteczki.				

8. Podaj, jakiego rodzaju oddziaływania mogą wystąpić między łańcuchami bocznymi następujących reszt aminokwasów:
- a) fenyloalaniny i cysteiny,
 - b) cysteiny i cysteiny,
 - c) seryny i lizyny,
 - d) lizyny i kwasu glutaminowego.
9. Wiele białek ma strukturę globularną, przyjmującą kształt zbliżony do kulistego. Wskaż, które z reszt aminokwasów wymienionych w zadaniu 8. znajdują się na powierzchni kul, a które – wewnątrz.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Białka są biopolimerami pełniącymi w organizmach żywych ważne funkcje życiowe. Czę- ◀ s. 8
steczki białek składają się z wielu reszt aminokwasów powiązanych ze sobą wiązaniami
peptydowymi.
- Długie łańcuchy białkowe zwijają się w formy o określonym kształcie przestrzennym, zde- ◀ s. 8
terminowanym przez sekwencję reszt aminokwasów w łańcuchu, zwaną również strukturą
pierwszorzędową.
- Drugorzędowa struktura białek powstaje na skutek tworzenia się wiązań wodorowych ◀ s. 10
między grupami N—H a grupami C=O, występującymi regularnie w łańcuchach poli-
peptydowych. Najczęściej spotykanymi strukturami drugorzędownymi są helisa alfa i har-
monijka beta.
- Struktura trzeciorzędowa powstaje w wyniku różnorodnych oddziaływań między grupami ◀ s. 11
w łańcuchach bocznych aminokwasów: mostków disiarczkowych, mostków solnych (wią-
zań jonowych), wiązań wodorowych oraz oddziaływań hydrofobowych (van der Waalsa).
- Czwartorzędowa struktura białek polega na łączeniu się mniejszych podjednostek białko- ◀ s. 15
wych w większe agregaty. Przykładem białka o strukturze czwartorzędowej jest hemoglo-
bina, która pełni funkcję przenośnika tlenu w organizmie.

2. Reakcje białek

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z czynnikami powodującymi koagulację białek;
- dowiesz się, czym się różni denaturacja od wysalania białek;
- poznasz reakcje barwne, które pozwalają na wykrywanie obecności białek.

Do najważniejszych reakcji, którym ulegają białka, należą: koagulacja białek (odwracalna – wysalanie, nieodwracalna – denaturacja), hydroliza białek oraz reakcje barwne służące do ich wykrywania.

2.1. Koagulacja białek

Doświadczenie 1. Czynniki powodujące koagulację białek

Odczynniki: roztwór azotanu(V) ołowiu(II) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ o stężeniu 5%, chlorek sodu NaCl , etanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, białko z jaja kurzego

Sprzęt laboratoryjny: probówki, palnik laboratoryjny

Opis:

Sporządź roztwór około 5 cm^3 białka jaja kurzego (wybierz najmniej lepłą, wodnistą frakcję) w $10\text{--}15\text{ cm}^3$ wody. Po kilka cm^3 roztworu przelej do czterech probówek. Pierwszą probówkę ogrzej w płomieniu palnika. Do drugiej dodaj 1 cm^3 pięcioprocentowego roztworu azotanu(V) ołowiu(II), do trzeciej – szczyptę chlorku sodu, a do czwartej – 3 cm^3 etanolu. Wymieszaj dobrze zawartość probówek. Spróbuj oddzielić powstały osad od roztworu i następnie rozpuścić go w wodzie destylowanej.

Obserwacje:



a) Roztwór białka w wodzie.



b) Koagulacja białka pod wpływem wysokiej temperatury.



c) Koagulacja białka pod wpływem soli metalu ciężkiego (azotanu(V) ołowiu(II)). Podobny efekt przynosi działanie etanolu na białko.



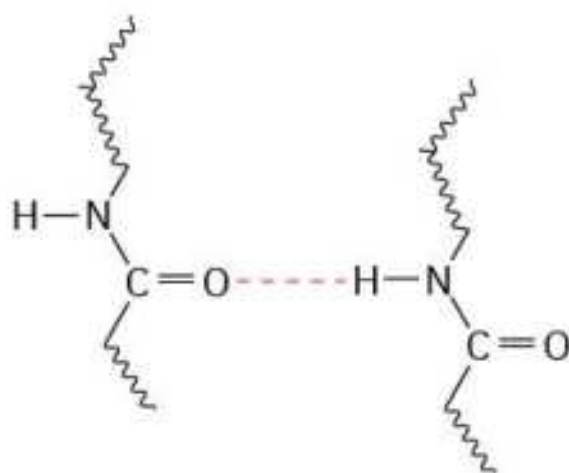
d) Koagulacja białka pod wpływem chlorku sodu.

Wiele substancji chemicznych, takich jak kwasy, zasady, sole nieorganiczne, alkohole, oraz wysoka temperatura powodują tak zwaną **koagulację** (ściskanie się) białek. Jeżeli białko jest rozpuszczalne w wodzie, tak jak albuminy zawarte w białku jaja kurzego, efektem koagulacji będzie wytrącenie białka z roztworu. Przyczyną tego zjawiska są zmiany zachodzące w drugo- i trzeciorzędowych strukturach białek. ♦ koagulacja

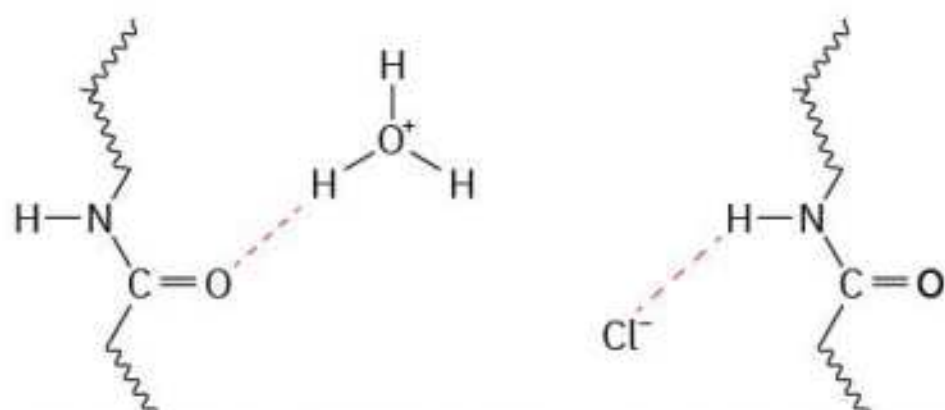
Podwyższenie temperatury prowadzi do zniszczenia wiązań wodorowych odpowiedzialnych za drugo- i trzeciorzędowe struktury cząsteczek białka. W rezultacie cząsteczki zmieniają kształt i łączą się ze sobą w większe agregaty, co powoduje ich wytrącenie w postaci bezpostaciowej masy. Zjawisko to zachodzi na przykład podczas gotowania jajek lub smażenia jajecznicy. Ciekłe, praktycznie bezbarwne i przejrzyste białko jaja kurzego przekształca się w białą, nieprzeźroczystą masę. Po ugotowaniu ściętego białka jaj nie da się rozpuścić ponownie w wodzie, zatem nastąpiła nieodwracalna koagulacja białka. Nieodwracalną koagulację białka określamy mianem **denaturacji**. Denaturacja białek zachodzi zawsze podczas obróbki termicznej pokarmów bogatych w białko (jaja, mięso, ryby) – gotowane, pieczone lub smażone potrawy mają inne właściwości niż wyjściowe składniki. ♦ denaturacja

Alkohole również powodują denaturację białek. Grupy hydroksylowe zawarte w cząsteczkach alkoholi są zdolne do tworzenia wiązań wodorowych, zatem mogą konkurować z hydrofilowymi grupami bocznymi aminokwasów i cząsteczkami wody w tworzeniu tych wiązań. Zaburza to układ wiązań wodorowych stabilizujących drugo- i trzeciorzędowe struktury białek, co z kolei prowadzi do zmiany kształtu cząsteczek i denaturacji białka.

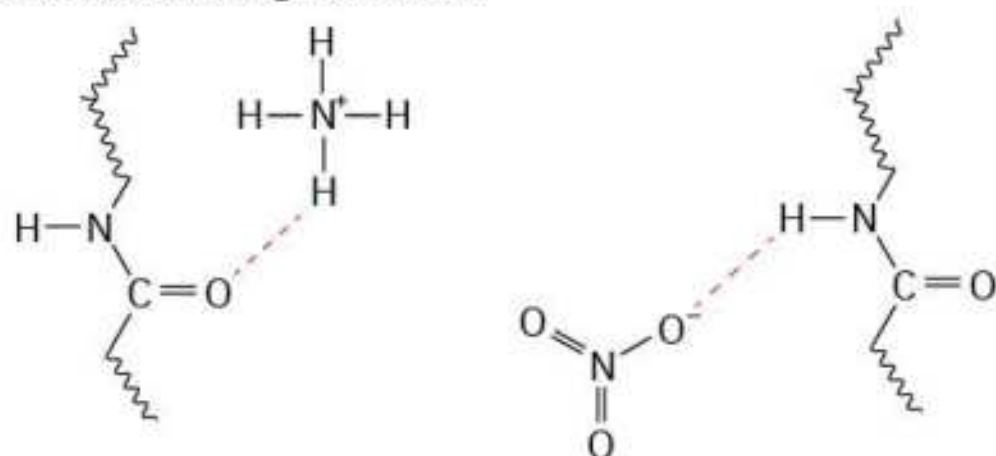
Kwasy, zasady i sole są źródłami jonów, które w dwojaki sposób działają na cząsteczki białek. Po pierwsze, biorą udział w wiązaniach wodorowych (rys. 2.1.–2.3.).



Rys. 2.1. Wewnątrcząsteczkowe wiązanie wodorowe spinające dwa fragmenty łańcuchów polipeptydowych.



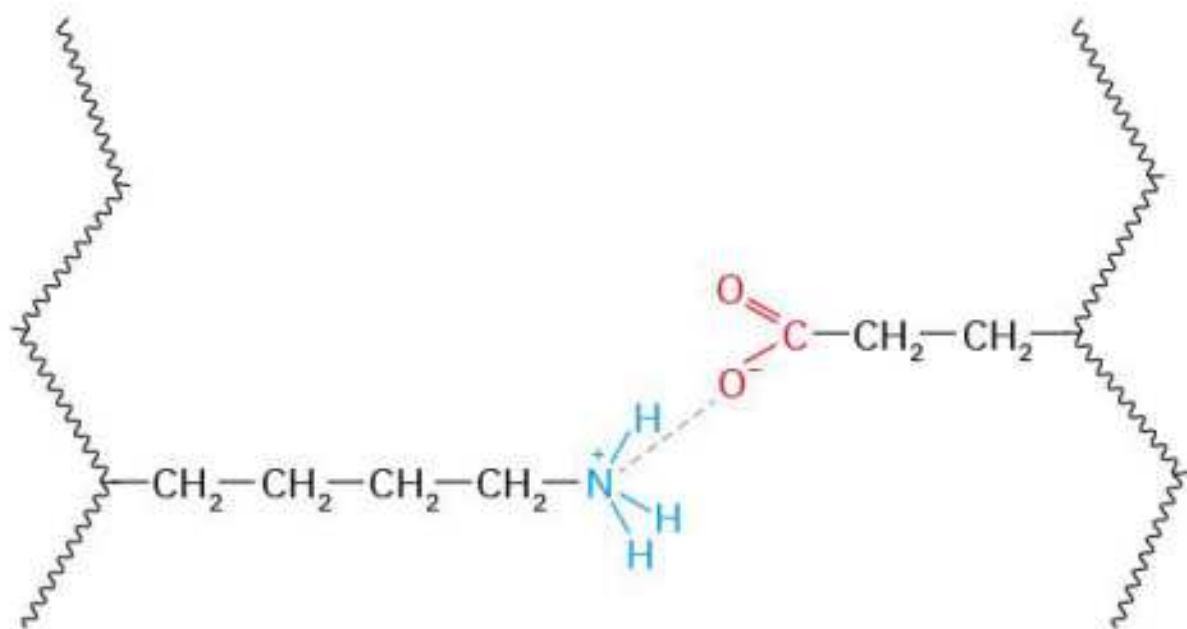
Rys. 2.2. Destrukcyjne działanie kwasów na wiązania wodorowe w cząsteczkach białek na przykładzie kwasu solnego: jon oksoniowy H_3O^+ i jon chlorkowy Cl^- , powstałe wskutek dysocjacji kwasu, mogą również brać udział w wiązaniach wodorowych, wewnątrzcząsteczkowe wiązanie wodorowe ulega rozerwaniu.



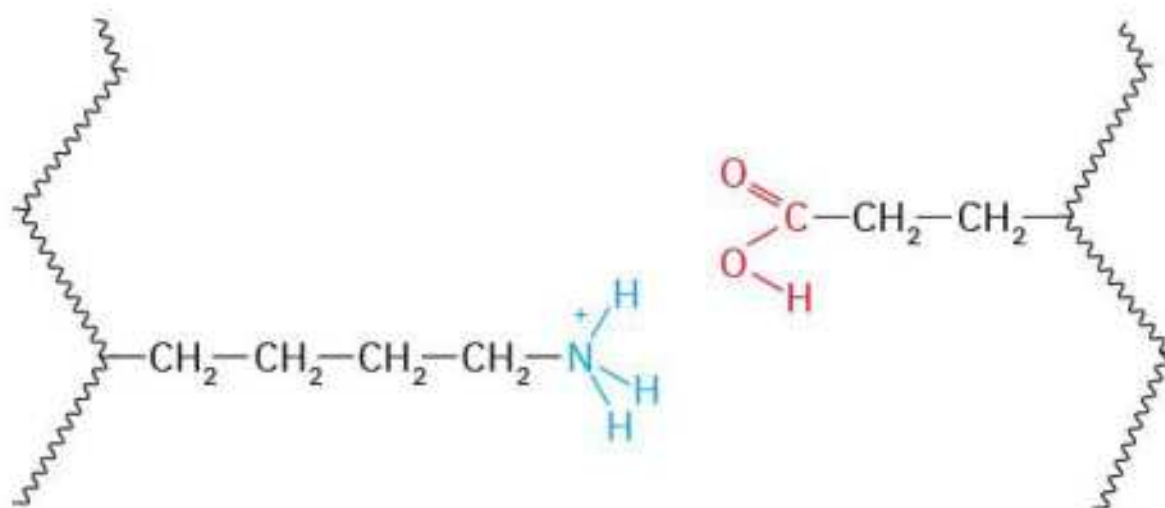
Rys. 2.3. Destrukcyjne działanie soli na wiązania wodorowe w cząsteczkach białek na przykładzie azotanu(V) amonu NH_4NO_3 : jony amonowe NH_4^+ i jony azotanowe(V) NO_3^- , powstałe na skutek dysocjacji soli, mogą brać udział w wiązaniach wodorowych; wewnątrzcząsteczkowe wiązanie wodorowe ulega rozerwaniu.

Po drugie, powodują niszczenie mostków solnych stabilizujących strukturę cząsteczki (rys. 2.4.–2.6.). Koagulacja pod wpływem soli ma często charakter odwracalny – usunięcie nadmiaru soli (np. przez rozcieńczenie wodą) prowadzi do odtworzenia wiązań wodorowych i mostków solnych. Koagulację odwracalną

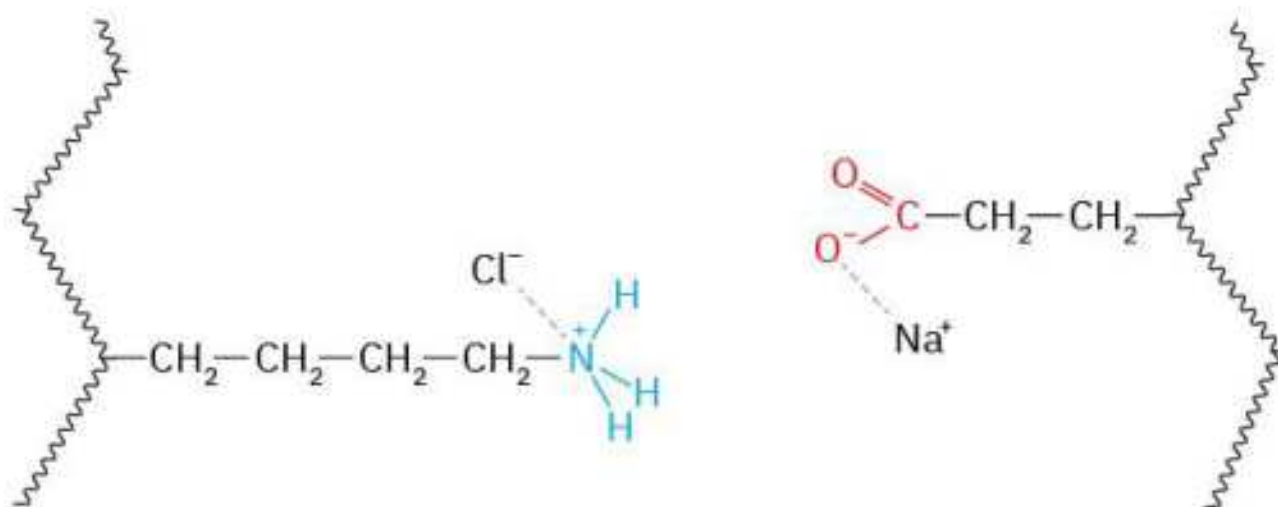
wysalanie ► pod wpływem soli nazywamy **wysalaniem**.



Rys. 2.4. Mostek solny między grupami bocznymi lizyny a grupami kwasu glutaminowego.



Rys. 2.5. Destrukcyjne działanie kwasów na mostki solne spinające dwa fragmenty łańcucha polipeptydowego. Dodatek kwasu powoduje przekształcenie ujemnie naładowanej grupy COO^- w obojętną grupę COOH , która nie jest już przyciągana do dodatnio naładowanej grupy NH_4^+ ; mostek solny ulega rozerwaniu.



Rys. 2.6. Destrukcyjne działanie soli na mostki solne spinające dwa fragmenty łańcucha polipeptydowego. Dodatek soli, chlorku sodu, powoduje, że grupa NH_3^+ może oddziaływać również z konkurującymi jonami Cl^- , a grupa COO^- – z jonami Na^+ ; mostek solny ulega rozerwaniu.

Sole metali ciężkich, na przykład miedzi, ołowiu lub rtęci, działają w jeszcze inny sposób. Wchodzą one w reakcje z atomami siarki zawartymi w mostkach disiarczkowych białek, co powoduje ich trwale uszkodzenie oraz zmianę kształtu cząsteczki. Zatem pod wpływem działania soli metali ciężkich dochodzi do nieodwracalnej koagulacji (denaturacji) białek.

2.2. Inne reakcje białek

Białka, jak wszystkie polipeptydy, mogą ulegać **hydrolizie** pod wpływem mocnych kwasów i zasad oraz enzymów hydrolitycznych. Ostatecznym produktem hydrolizy białek są pojedyncze aminokwasy. Hydroliza enzymatyczna jest szczególnie ważna w procesie trawienia białek. Pozwala przekształcić białka zawarte w pokarmie w aminokwasy, które dalej są wykorzystywane do biosyntezy własnych białek organizmu. Trawienie białek rozpoczyna się w żołądku i za-

◀ hydroliza białek

chodzi pod wpływem enzymu pepsyny. Bardzo kwaśny odczyn treści żołądka ($\text{pH} = 1-2$; będący skutkiem wydzielania tam kwasu solnego) stwarza optymalne warunki dla działania pepsyny. Około 20% wiązań peptydowych w białkach ulega hydrolizie w żołądku. Dalsze trawienie białek następuje w dwunastnicy za pomocą enzymów trypsyny i chymotrypsyny. Oba enzymy powstają w dwunastnicy z prekursorów zawartych w płynie produkowanym przez trzustkę (sok trzustkowy). Kolejny etap trawienia zachodzi już w jelicie cienkim i biorą w nim udział trypsyna i chymotrypsyna, wydzielane przez ścianki jelita.

Doświadczenie 2. Reakcja biuretowa białek

Odczynniki: roztwór 2,5 g pentahydratu siarczanu(VI) miedzi(II) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ w 10 cm^3 wody, roztwór 0,4 g wodorotlenku sodu NaOH w 10 cm^3 wody, roztwór białka jaja kurzego przygotowany podobnie jak w doświadczeniu 1.

Sprzęt laboratoryjny: probówki, bagietka szklana

Opis:

Do 2 cm^3 roztworu białka dodaj 2 cm^3 roztworu soli miedzi oraz 4 cm^3 roztworu wodorotlenku sodu i dobrze wymieszaj bagietką.

Obserwacje:



a) Roztwór białka w wodzie.



b) Wynik reakcji biuretowej.

Doświadczenie 3. Reakcja ksantoproteinowa

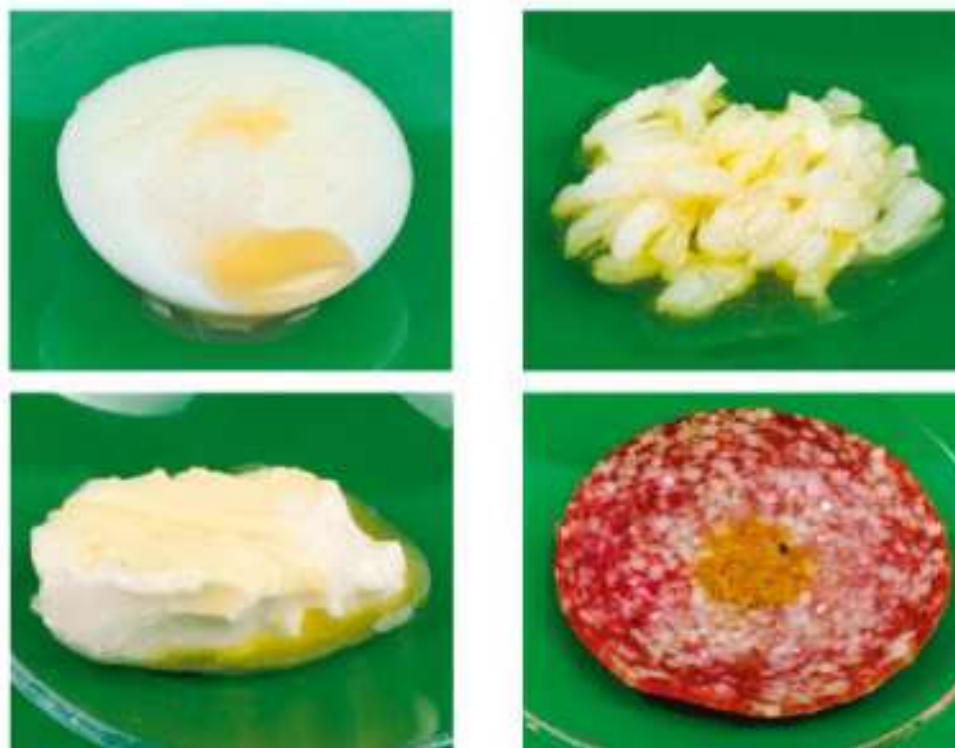
Odczynniki: stężony kwas azotowy(V) HNO_3 , próbki artykułów bogatych w białko (np. twaróg, ugotowane jajko, plasterk wędliny, pióro ptasie, nitka wełniana itp.)

Sprzęt laboratoryjny: pipeta Pasteura

Opis:

Za pomocą pipety Pasteura na każdej próbce umieść parę kropel stężonego kwasu azotowego(V) HNO_3 .

Obserwacje:

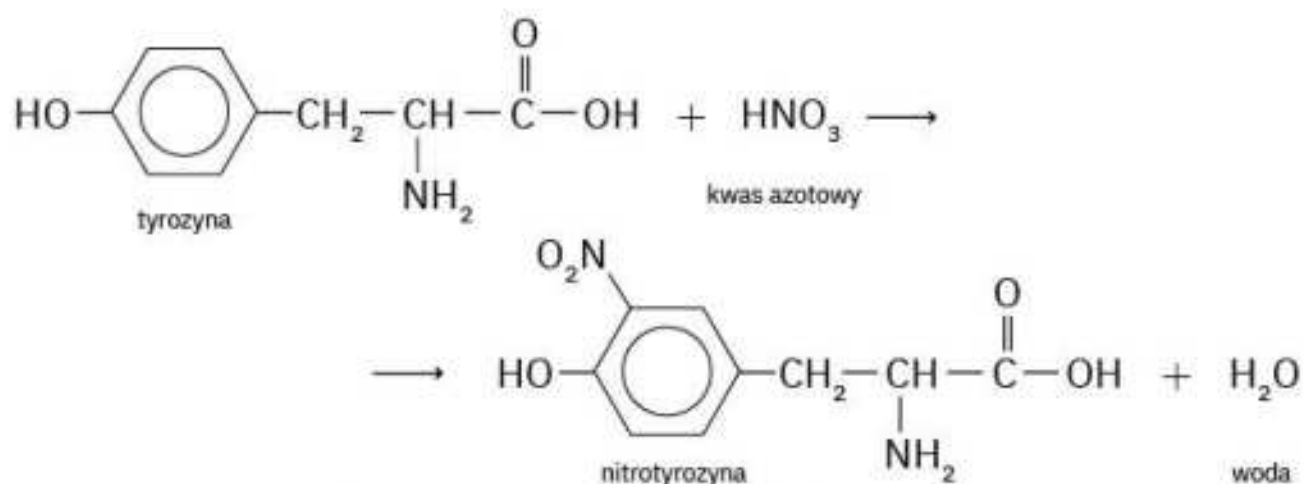


Żółte zabarwienie widoczne na produktach po nakropieniu kwasu.

Białka, podobnie jak peptydy (z wyjątkiem dipeptydów), ulegają **reakcji biuretowej**, w wyniku której powstają fioletowo-niebieskie związki addycyjne o zbliżonej budowie. Wchodzą również w reakcję ze stężonym kwasem azotowym(V) w **reakcji ksantoproteinowej**, której produkty są zabarwione na żółto. Reakcja polega na nitrowaniu pierścieni aromatycznych zawartych w łańcuchach bocznych niektórych aminokwasów: fenyloalaniny, tyrozyny i tryptofanu (rys. 2.7.).

◀ reakcja biuretowa

◀ reakcja ksantoproteinowa



Rys. 2.7. Przebieg reakcji ksantoproteinowej na przykładzie nitrowania tyrozyny.

Powstałe nitrozwiązki mają intensywne żółte zabarwienie, które pod wpływem zasad przechodzi w pomarańczowe. Zarówno reakcja biuretowa, jak i ksantoproteinowa pozwalają na wykrycie obecności białek.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wymień czynniki powodujące koagulację białek.
2. Podaj czynniki powodujące koagulację białek wskutek:
 - a) niszczenia wiązań wodorowych stabilizujących drugo- i trzeciorzędowe struktury białka,
 - b) rozrywania mostków disiarczkowych,
 - c) rozrywania mostków solnych.
3. Wyjaśnij, dlaczego sole metali ciężkich, np. ołowiu lub rtęci, są dla człowieka śmiertelną trucizną.
4. Etanol jest znakomitym środkiem dezynfekującym, powodującym śmierć lub dysfunkcję wielu szkodliwych mikroorganizmów. Wyjaśnij prawdopodobną przyczynę właściwości dezynfekujących etanolu.
5. Zaproponuj doświadczenie, które pozwoli:
 - a) odróżnić bez pomocy płomienia włóczkę wełnianą od włóczki akrylowej (nici z syntetycznego poliestru);
 - b) sprawdzić, czy pokarmy roślinne, takie jak fasola lub mąka, zawierają białko.
6. Określ, jakie zmiany na skórze będą widoczne u osoby, której dłoń miała bezpośredni (i krótkotrwały) kontakt z niewielką ilością stężonego kwasu azotowego(V) (np. niewielką kroplą pozostałą na brzegu zlewki).

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 19, 20 ▶ • Koagulacja białka (nieodwracalna – denaturacja, odwracalna – wysalanie) jest skutkiem zmiany drugo- i trzeciorzędowych struktur cząsteczki pod wpływem wysokiej temperatury, działania alkoholi, kwasów, wodorotlenków, soli i innych czynników.
- s. 21 ▶ • Białka ulegają hydrolizie pod wpływem kwasów i enzymów hydrolitycznych.
- s. 23 ▶ • Obecność białek można wykryć za pomocą reakcji z jonami miedzi(II) w środowisku zasadowym (reakcja biuretowa) lub za pomocą reakcji ze stężonym kwasem azotowym(V) (reakcja ksantoproteinowa).

Podsumowanie przed sprawdzianem

- Cząsteczki białek składają się z bardzo wielu reszt aminokwasów związanych wiązaniami peptydowymi. Struktura pierwszorzędowa określa sekwencję reszt aminokwasów w cząsteczce. Struktury drugo-, trzecio- i czwartorzędowe określają przestrzenny kształt cząsteczki białka, który uzyskuje ona w wyniku różnorodnych oddziaływań: wiązań wodorowych, mostków disiarczkowych, mostków solnych (wiązań jonowych) i oddziaływań hydrofobowych (van der Waalsa). s. 8
- Do najważniejszych reakcji białek zaliczamy wysalanie, denaturację i hydrolizę białek. Reakcja biuretowa i ksantoproteinowa, w których tworzą się barwne produkty, pozwalają na wykrycie obecności białek. s. 19–21, 23

Ważne!

Po zapoznaniu się z tym działem zdobędziesz następujące umiejętności:

- opisywanie budowy białek w kategoriach struktur pierwszo-, drugo-, trzecio- i czwartorzędowych, rozpoznawanie oddziaływań odpowiedzialnych za poszczególne typy struktury białek;
- wyjaśnianie zjawiska koagulacji białek, przedstawianie najważniejszych reakcji białek;
- przeprowadzenie doświadczeń pozwalających na wykrycie obecności białek za pomocą reakcji barwnych.

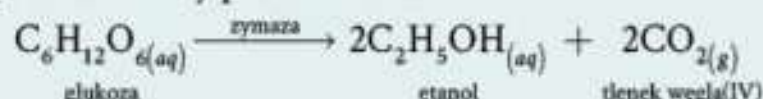
Sprawdź, czy umiesz!

1. Wyjaśnij pojęcia: aminokwas, peptyd, białko. Omów zależności między nimi.
2. Przerysuj tabelę do zeszytu. Przeczytaj opis struktury insuliny bydlęcej – hormonu białkowego regulującego stężenie glukozy we krwi. Następnie określ, które punkty opisu odnoszą się do struktur pierwszo-, drugo-, trzecio- i czwartorzędowych.

	Struktura			
	pierwszo-rzędowa	drugo-rzędowa	trzecio-rzędowa	czwarto-rzędowa
Cząsteczka insuliny jest zbudowana z dwóch łańcuchów polipeptydowych, łańcucha A i łańcucha B połączonych dwoma mostkami disiarczkowymi.				
Łańcuch A składa się z 21 reszt aminokwasów połączonych wiązaniami peptydowymi.				
Dwa fragmenty łańcucha A zwijają się w spiralę o regularnym kształcie.				
Dwie reszty cysteiny zawarte w łańcuchu A tworzą mostek disiarczkowy i spinają fragment łańcucha w pętlę.				
N-terminalnym aminokwasem w łańcuchu A jest glicyna, a C-terminalnym – asparagina.				

	Struktura			
	pierwszo-rzędowa	drugo-rzędowa	trzecio-rzędowa	czwarto-rzędowa
Łańcuch B składa się z 30 reszt aminokwasów połączonych wiązaniami peptydowymi.				
Środkowy fragment łańcucha B zwija się w spiralę o regularnym kształcie.				
N-terminalnym aminokwasem w łańcuchu B jest fenyloalanina, a C-terminalnym – alanina.				
Insulina jest magazynowana w organizmie w postaci agregatu złożonego z sześciu części cząsteczek insuliny związanych z jednym jodem cynku Zn^{2+} za pomocą grup bocznych reszt histydyny.				

- Podaj, jakie oddziaływania w cząsteczkach białek są odpowiedzialne za występowanie struktur:
 - pierwszorzędowej,
 - drugorzędowej,
 - trzeciorzędowej.
- Powiedz, jak są rozmieszczone reszty aminokwasów polarnych i niepolarnych w białkach globularnych.
- Wyjaśnij, jaką funkcję w nadawaniu ostatecznego kształtu cząsteczce białka mogą pełnić reszty podanych aminokwasów zawarte w łańcuchu polipeptydowym:
 - cysteina,
 - lizyna i kwas asparaginowy,
 - fenyloalanina i leucyna,
 - seryna i treonina.
- Etanol można wytwarzać z glukozy na drodze fermentacji alkoholowej wykorzystującej białkowy enzym zymazę produkowany przez drożdże.



Wyjaśnij, dlaczego za pomocą fermentacji nie można uzyskać wyższego niż kilkanaście procent stężenia etanolu w roztworze.

- Mleko jest zawiesiną mikroskopijnych kuleczek tłuszczu w roztworze wodnym, zawierającym pewną ilość białka, cukru (laktozy) i soli mineralnych. Pozostawione w otwartym pojemniku w temperaturze pokojowej szybko się zsiada w wyniku działania enzymów bakteryjnych przekształcających laktozę zawartą w mleku w kwas mlekowy. Towarzyszy temu zmiana konsystencji – najpierw mleko „sztywnieje”, a następnie oddziela się biała, zestalona masa od prawie bezbarwnego, półprzezroczystego płynu. Wyjaśnij przyczynę takiej zmiany konsystencji mleka. Podaj, z jakich substancji składa się oddzielona biała masa.
- Odpowiedz, które aminokwasy są odpowiedzialne za reakcję ksantoproteinową. Na przykładzie jednego z nich narysuj w zeszycie schemat tej reakcji.
- Wskaż produkty, które zabarwią się na żółto pod wpływem stężonego kwasu azotowego(V).
 - tkanina bawełniana
 - włóczka wełniana
 - białko jajka kurzego
 - cukier
 - sztuczna skóra (polichlorek winylu)
 - skóra naturalna



Nazwa „cukry” obejmuje grupę związków węgla, wodoru i tlenu, których skład można na ogół przedstawić za pomocą wzoru ogólnego $C_xH_{2y}O_y$. Cukry nazywa się również węglowodanami, gdyż wzór $C_xH_{2y}O_y$ można przekształcić w $C_x(H_2O)_y$. Nazwa „węglowodany” sugeruje, że cukry są związkami węgla i wody. Jednak takie stwierdzenie jest uproszczeniem. Istnieją związki niemające nic wspólnego z cukrami o wzorach odpowiadających węglowodanom, np. kwas octowy CH_3COOH ($C_2H_4O_2$) lub mlekowy $CH_3CH(OH)COOH$ ($C_3H_6O_3$), jak również cukry, których wzory im nie odpowiadają, np. deoksyryboza $C_5H_{10}O_4$. Z punktu widzenia struktury cząsteczkowej cukry są polihydroksyaldehydami lub polihydroksyketonami – ich cząsteczki zawierają wiele grup hydroksylowych $O-H$ (co najmniej dwie) i co najmniej jedną grupę karbonylową $C=O$.

II Cukry



- ▶ Cukry proste
- ▶ Właściwości i znaczenie cukrów prostych
- ▶ Disacharydy
- ▶ Polisacharydy

1. Cukry proste

LEKCJI:

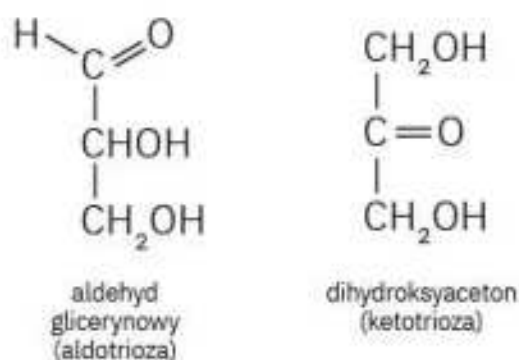
- dowiesz się, jak są zbudowane cząsteczki cukrów prostych;
- poznasz klasyfikację cukrów prostych ze względu na liczbę atomów węgla w cząsteczce oraz rodzaj grupy karbonylowej;
- przeanalizujesz stereoizomerię cząsteczek cukrów prostych;
- zapoznasz się z pierścieniowymi formami cząsteczek cukrów prostych, ich stereoizomerią oraz sposobem ich graficznego przedstawiania w formie wzorów taflowych.

cukry ▶ Cukrami prostymi nazywamy związki organiczne o wzorze ogólnym $C_xH_{2x}O_x$ (x przyjmuje najczęściej wartość od 3 do 7). W cząsteczce cukru prostego jeden atom węgla jest połączony podwójnym wiązaniem z atomem tlenu. Razem tworzą one grupę karbonylową $C=O$. Każdy z pozostałych atomów węgla jest połączony pojedynczym wiązaniem z jedną grupą hydroksylową OH .

1.1. Budowa cukrów prostych

budowa cukrów prostych

▶ W cząsteczce cukru prostego grupa karbonylowa może wchodzić w skład grupy aldehydowej lub ketonowej. Cukry zawierające grupę aldehydową nazywamy **aldozami**, a te zawierające grupę ketonową – **ketozami**. Cukry klasyfikujemy również jako triozy, tetrozy, pentozy, heksozy itd. – w zależności od łącznej liczby atomów węgla w cząsteczce. Cukrami o najmniejszych cząsteczkach są triozy zawierające jedną grupę karbonylową oraz dwie grupy hydroksylowe. Ze względu na dwa możliwe położenia grupy karbonylowej w cząsteczce istnieją dwie różne triozy: aldotrioza 2,3-dihydroksypropanal (aldehyd glicerynowy) oraz ketotrioza 1,3-dihydroksypropan-2-on (dihydroksyaceton) (rys. 1.1.).

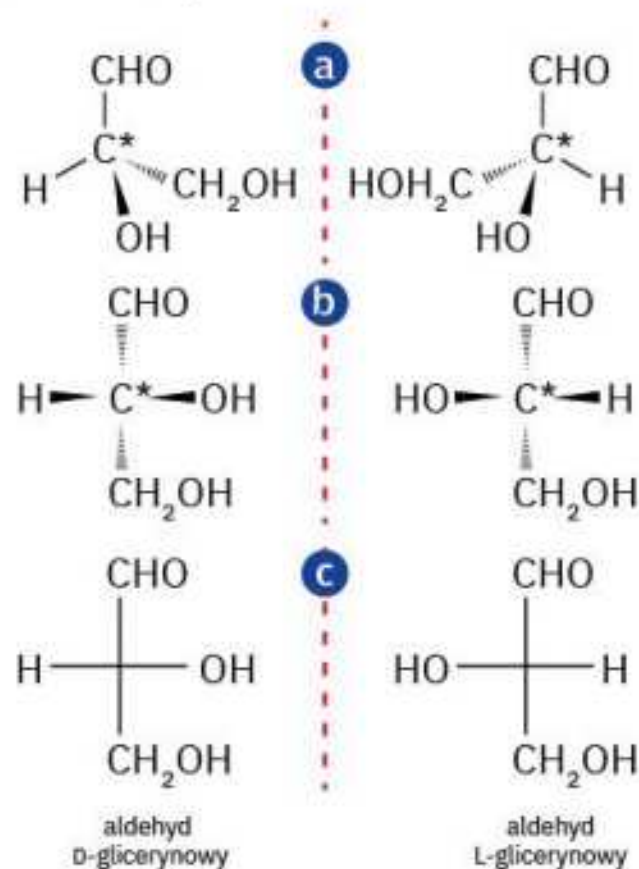


Rys. 1.1. Wzory półstrukturalne triozy.

1.2. Stereoizomeria cukrów prostych

stereoizomeria
cukrów prostych

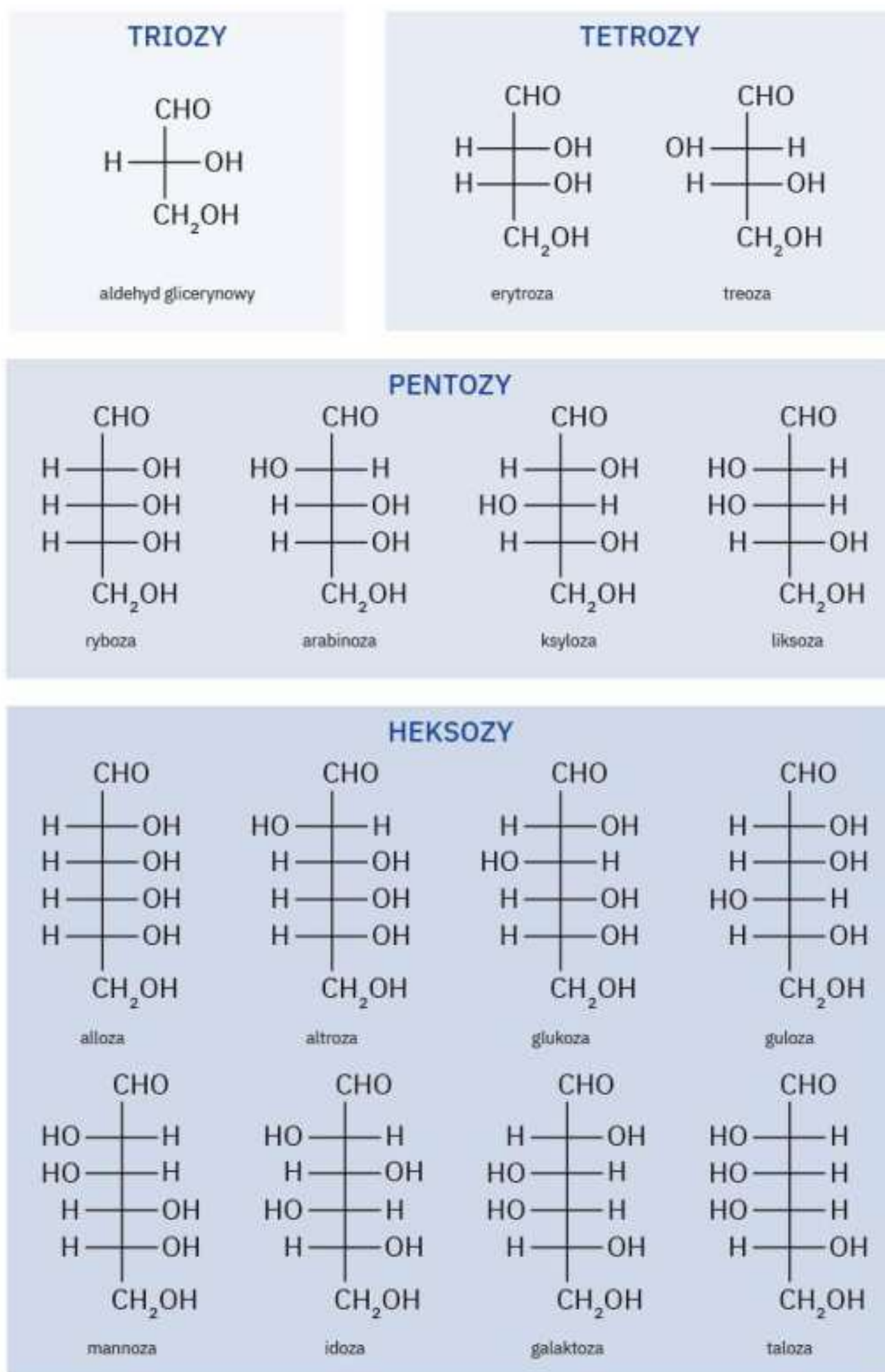
W aldehydzie glicerynowym środkowy atom węgla jest związany z czterema różnymi podstawnikami: grupą aldehydową CHO, grupą hydroksylową OH, grupą CH_2OH oraz atomem wodoru H. Zatem jest to tak zwane **centrum chiralności (stereogeniczne)**. Należy się spodziewać, że aldehyd glicerynowy będzie występował w postaci dwóch **enancjomerów**, które stanowią wzajemne lustrzane odbicia, lecz które nie są identyczne (rys. 1.2.a). Strukturę obu enancjomerów można przedstawić w postaci wzorów Fischera. Częśćeczkę umieszcza się tak, aby grupa karbonylowa znalazła się u góry, grupa CH_2OH – u dołu, a wiązania łączące te grupy były skierowane pod płaszczyznę rzutowania. Wówczas wiązania C–H i C–OH są skierowane ponad płaszczyznę rzutowania (rys. 1.2.b). Jeżeli w takim układzie grupa OH znajdzie się po prawej stronie, oznaczamy ten enancjomer jako D. Natomiast jeżeli będzie po stronie przeciwnej, wówczas mamy do czynienia z enancjomerem L (rys. 1.2.c).



Rys. 1.2. Stereoizomeria cząsteczki aldehydu glicerynowego. a) Wzory przestrzenne enancjomerów. b) Wzory przestrzenne ustawione do rzutowania Fischera. c) Wzory rzutowe Fischera (symbol centralnego atomu węgla pominięto). Linia przerywana symbolizuje płaszczyznę symetrii, pełne kliny oznaczają wiązania skierowane ponad płaszczyznę kartki, a kreskowane kliny – wiązania skierowane pod tę płaszczyznę.

W miarę wzrostu wielkości cząsteczki cukru rośnie również liczba centrów chiralności (stereogenicznych) w cząsteczce i wzrasta liczba możliwych stereoizomerów. Na rysunku 1.3. przedstawiono rodzinę cukrów prostych z grupy aldoz zawierających od 3 do 6 atomów węgla. Zwróć uwagę, że cukry o tym sa-

mym wzorze sumarycznym, ale różniące się konfiguracją podstawników na centrum chiralności, są różnymi związkami chemicznymi o różnych nazwach.

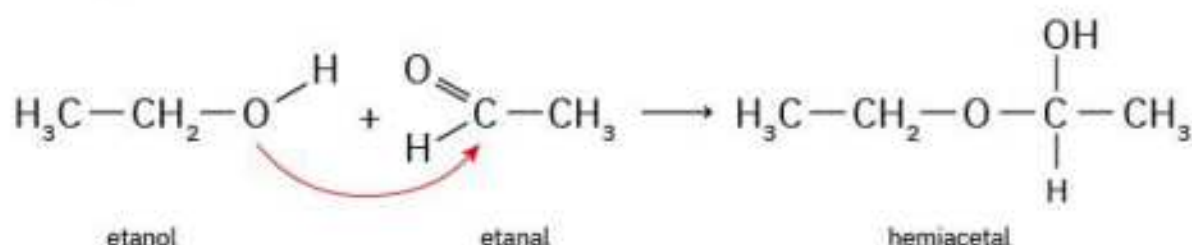


Rys. 1.3. Rodzina aldoz $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$ dla wartości n od 3 do 6. Na rysunku przedstawiono wyłącznie enancjomery D.

1.3. Pierścieniowa struktura cukrów prostych

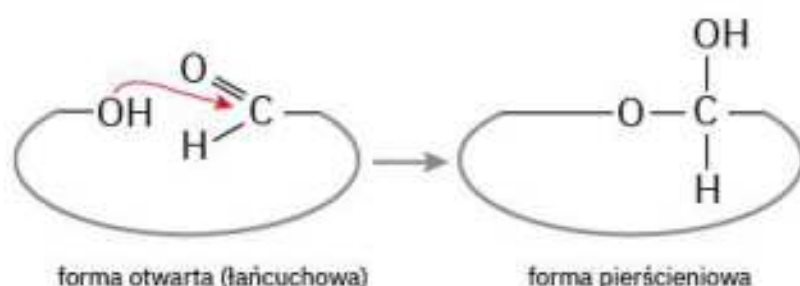
Aldehydy i ketony mające grupę karbonylową $C=O$ mogą reagować z alkoholami zawierającymi grupę hydroksylową $O-H$ z utworzeniem tak zwanych hemiacetali (rys. 1.4.).

pierścieniowa
struktura cukrów
prostych



Rys. 1.4. Reakcja etanolu (alkoholu) z etanalem (aldehydem) prowadząca do powstania hemiacetalu.

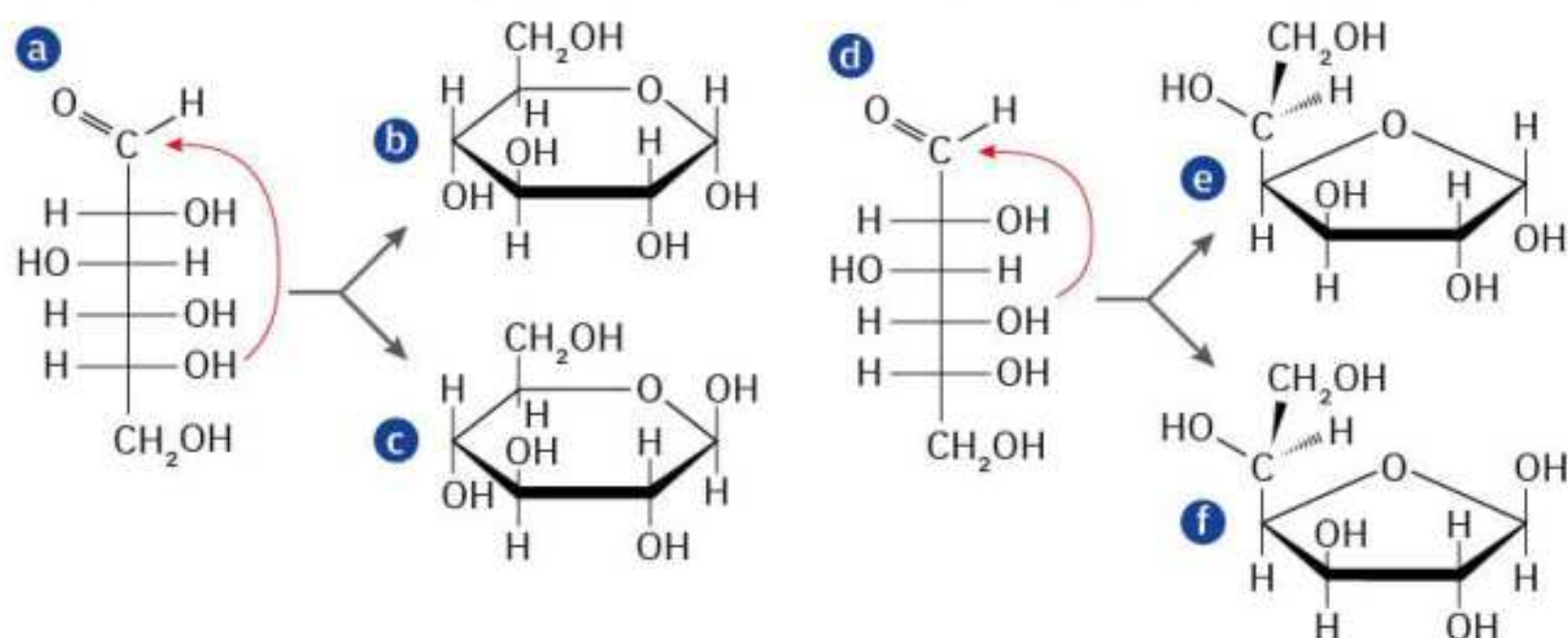
W podobny sposób mogą reagować ze sobą grupy karbonylowa i hydroksylowa znajdujące się na przeciwległych końcach tej samej cząsteczki cukru prostego. W rezultacie powstaje struktura o kształcie zamkniętego pierścienia (rys. 1.5.).



Rys. 1.5. Schematyczne przedstawienie powstawania pierścieniowej formy cukrów prostych. Szczegóły budowy fragmentu zaznaczonego łukiem pominięto.

Reakcja zamykania pierścienia w cukrach prostych jest tak wydajna, że istnieją one głównie właśnie w postaci pierścieniowej, zwłaszcza cukry zawierające pięć i sześć atomów węgla w cząsteczce (pentozy i heksozy). Na rysunku 1.6. przedstawiono struktury, które mogą powstać w wyniku zamykania cząsteczki glukozy w pierścień. W zależności od grupy hydroksylowej biorącej udział w reakcji powstają pierścienie pięcioczłonowe (furanozy) lub sześcioczłonowe (piranozy).

Formy pierścieniowe cukrów prostych często przedstawia się w postaci uproszczonych wzorów strukturalnych zwanych wzorami taflowymi lub projekcjami

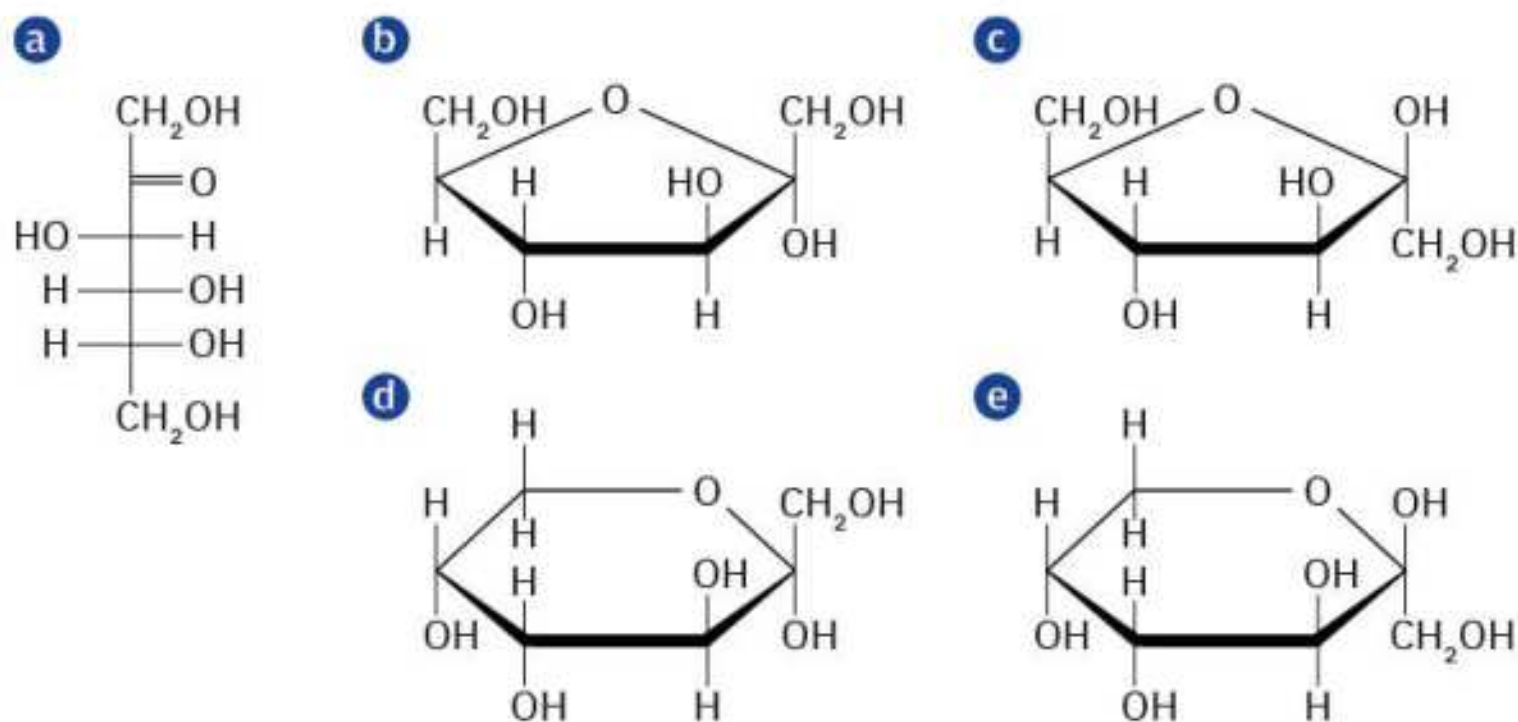


Rys. 1.6. Powstawanie form pierścieniowych D-glukozy. a), d) Forma łańcuchowa, strzałki wskazują, która z grup hydroksylowych bierze udział w reakcji. b), c) Dwa anomery struktury z pierścieniem sześcioczłonowym, α -D-glukopiranoza (b) i β -D-glukopiranoza (c). e), f) Dwa anomery struktury z pierścieniem pięcioczłonowym, α -D-glukofuranoza (e) i β -D-glukofuranoza (f).

Hawortha. Atomy tworzące pierścień przedstawia się w formie płaskiego wielokąta (najczęściej pięciokąta lub sześciokąta) rysowanego w sposób perspektywiczny, tak jakby był oglądany z boku, z pogrubionym brzegiem znajdującym się bliżej obserwatora. Wierzchołki wielokąta odpowiadają atomom węgla, natomiast atom tlenu wchodzący w skład pierścienia wyróżnia się symbolem O. Wiązania między atomami węgla a bocznymi podstawnikami (atomami wodoru, grupami OH, grupami CH_2OH itd.) wskazują ponad lub pod płaszczyznę pierścienia – w zależności od konfiguracji podstawników na asymetrycznych atomach węgla. Zwróć uwagę, że grupy OH znajdujące się po prawej stronie w projekcji Fischera liniowej cząsteczki cukru we wzorach Hawortha znajdują się pod płaszczyznę pierścienia (i na odwrót). Należy pamiętać, że wzory Hawortha nie odzwierciedlają w pełni kształtu cząsteczek cukrów – w rzeczywistości pierścienie nie są płaskie, lecz pofalowane.

W wyniku zamknięcia pierścienia D-glukozy mogą powstać dwa różne związki. W jednym z nich nowo powstała grupa hydroksylowa znajduje się po przeciwnej stronie pierścienia niż grupa CH_2OH . W drugim grupa ta znajduje się po tej samej stronie pierścienia, co grupa CH_2OH . Są to dwa różne stereoizomery, zwane **anomerami**. Na rysunku 1.6. struktury b) i e) przedstawiają anomery α (alfa), a struktury c) i f) – anomery β (beta). W roztworze wodnym glukoza może istnieć we wszystkich pięciu formach przedstawionych na rysunku 1.6. Ponieważ jednak struktura piranozy jest najtrwalsza, w temperaturze pokojowej 64% cząsteczek D-glukozy występuje w formie α -D-glukopiranozy, a 36% – w formie β -D-glukopiranozy. Zawartość „otwartej” formy łańcuchowej wynosi zaledwie 0,003%, natomiast udział form z pierścieniem pięcioczłonowym jest jeszcze mniejszy.

D-fruktoza, inny ważny cukier prosty należący do grupy ketoheksóz (rys. 1.7.), również występuje w roztworze wodnym w postaci form pierścieniowych –

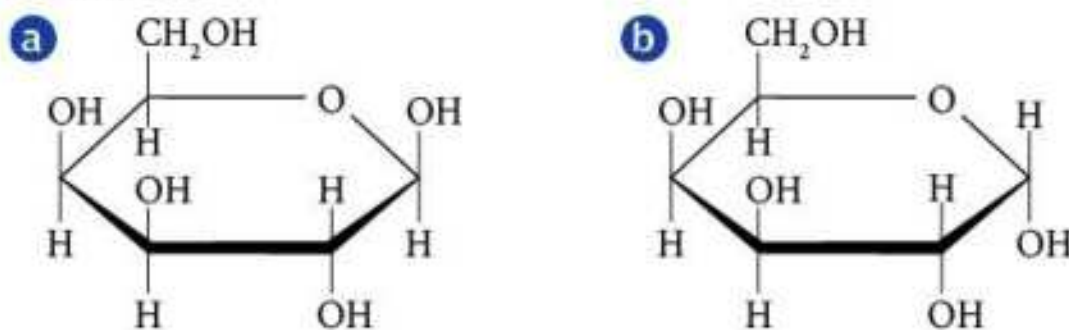


Rys. 1.7. Różne formy cząsteczki D-fruktozy. a) Forma łańcuchowa w projekcji Fischera. Formy pierścieniowe w projekcji Hawortha: b) α -D-fruktofuranoza, c) β -D-fruktofuranoza, d) α -D-fruktopiranoza, e) β -D-fruktopiranoza.

głównie w postaci anomerów o pierścieniach pięcioczłonowych: α -D-fruktofuranozy (70%) oraz β -D-fruktofuranozy (22%). W przypadku tego cukru udział formy łańcuchowej jest większy niż dla D-glukozy, w roztworze znajdują się również pewne ilości obu anomerów D-fruktopiranozy.

Przykład 1.

Na rysunku przedstawiono dwa wzory taflowe (projekcje Hawortha) anomerów cukru D-galaktozy. Przyjrzyj się przedstawionym wzorom i napisz, który z nich (a czy b) przedstawia anomer α , a który – anomer β . Podaj nazwy tych anomerów.



Rozwiązanie:

W anomerze alfa grupa hydroksylowa powstała w wyniku zamknięcia pierścienia znajduje się po przeciwnej stronie pierścienia niż grupa CH₂OH w projekcji Hawortha. W anomerze beta obie grupy znajdują się po tej samej stronie pierścienia. Zatem struktura a) przedstawia anomer beta, a struktura b) – anomer alfa. W obu przypadkach cząsteczki galaktozy występują w postaci piranozy, to znaczy pierścienia sześcioczłonowego, zawierającego atom tlenu. Zatem pełne nazwy obu anomerów to β -D-galaktopiranoza (struktura a) i α -D-galaktopiranoza (struktura b).

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Odpowiedz, dlaczego cukry bywają określane nazwą zwyczajową „węglowodany”.
- Poniżej przedstawiono wzory sumaryczne różnych związków chemicznych. Wskaż, które z nich można zaliczyć do grupy cukrów (węglowodanów).
 - $C_4H_4O_4$
 - $C_4H_8O_4$
 - $C_8H_{14}O_7$
 - $C_8H_{16}O_8$
 - $C_8H_{14}O_{10}$
- Narysuj w zeszycie przykładowe wzory półstrukturalne:
 - aldopentozy,
 - ketoheksozy.
- Omów, w jaki sposób dochodzi do zamknięcia łańcuchowej cząsteczki cukru prostego w pierścień.
- Wyjaśnij, dlaczego w wyniku zamykania cząsteczki cukru w pierścień mogą powstać dwa anomery.

6. Porównaj budowę cząsteczek fruktozy i glukozy, a następnie wskaż, które z poniższych stwierdzeń są prawdziwe, a które – fałszywe.
- a) W cząsteczkach cukrów znajdują się różne liczby atomów.
 - b) Cukry mają różne wzory sumaryczne.
 - c) Cukry mają różne masy cząsteczkowe.
 - d) Jeden z cukrów jest aldozą, a drugi – ketozą.
 - e) Jeden z cukrów jest heksozą, a drugi – pentozą.
 - f) W cząsteczkach cukrów w formie łańcuchowej znajdują się różne liczby grup hydroksylowych.
 - g) Jeden z cukrów może tworzyć wyłącznie pierścienie piranozy, a drugi – furanozy.
7. Podaj, w jakich formach mogą występować w roztworze wodnym cząsteczki heksoz.
8. Ogrzewanie cukrów (węglowodanów) w wysokiej temperaturze prowadzi do ich rozkładu na węgiel i wodę. Oblicz, ile gramów wody można uzyskać z rozkładu 10 g cukru prostego glukozy $C_6H_{12}O_6$.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 28 ▶ • Cukry są związkami organicznymi węgla, wodoru i tlenu. W większości przypadków ich wzór ogólny można zapisać jako $C_xH_{2y}O_y$.
- s. 28 ▶ • Cząsteczki cukrów prostych składają się z 3–7 atomów węgla. Jeden z nich wchodzi w skład grupy aldehydowej lub ketonowej, a każdy z pozostałych jest połączony wiązaniem pojedynczym z grupą hydroksylową OH.
- s. 28 ▶ • Cukry klasyfikujemy ze względu na liczbę atomów węgla w cząsteczce (triozy, tetrozy, pentozy, heksozy itp.) oraz ze względu na rodzaj grupy karbonylowej: aldozy (zawierają grupę aldehydową) i ketozy (zawierają grupę ketonową).
- s. 29 ▶ • Cząsteczki cukrów (z wyjątkiem dihydroksypropanonu) zawierają centra chiralności (stereogeniczne), więc mogą tworzyć stereoizomery. Liczba stereoizomerów szybko rośnie wraz z liczbą asymetrycznych atomów węgla w cząsteczce.
- s. 31 ▶ • Cząsteczki cukrów prostych występują głównie w formie pierścieniowej powstającej wskutek reakcji jednej z grup hydroksylowych z grupą karbonylową tej samej cząsteczki. Najtrwalsze są pierścienie pięcioczłonowe (furanozy) i sześcioczłonowe (piranozy).
- s. 32 ▶ • W wyniku zamykania się łańcuchowej cząsteczki cukru w pierścień mogą powstać dwa stereoizomery zwane anomerami. Anomery różnią się położeniem przestrzennym grupy hydroksylowej powstającej w wyniku cyklizacji cząsteczki. W roztworze wodnym cukry proste istnieją przede wszystkim w formie pierścieniowej. Udział procentowy anomerów zależy od ich trwałości.

2. Właściwości i znaczenie cukrów prostych

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z właściwościami fizycznymi cukrów prostych, takimi jak temperatura topnienia i rozpuszczalność;
- przeanalizujesz reakcje charakterystyczne dla cukrów prostych;
- zrozumiesz, jakie znaczenie mają cukry proste dla organizmów żywych;
- poznasz zastosowania cukrów prostych.

Budowa cząsteczek cukrów prostych wykazuje bardzo daleko idące podobieństwa. Dlatego związki te mają bardzo zbliżone właściwości fizyczne i chemiczne.

2.1. Właściwości fizyczne

Doświadczenie 1. Badanie zachowania się cukrów prostych podczas ogrzewania

Odczynniki: glukoza $C_6H_{12}O_6$

Sprzęt laboratoryjny: probówki, palnik laboratoryjny

Opis:

W probówce umieść nieco stałej glukozy. Ogrzewaj zawartość w płomieniu palnika. Zbadaj zapach powstałego produktu – zachowaj przy tym szczególną ostrożność.

Obserwacje:



a) Glukoza.



b) W wyniku ogrzewania glukoza ciemnieje.



c) Na ściankach probówki pojawiają się kropelki cieczy.

- Cukry proste są bezbarwnymi (białymi), krystalicznymi ciałami stałymi o stosunkowo wysokich temperaturach topnienia. Na przykład temperatura topnienia glukozy wynosi 146°C , a fruktozy ma wartość 103°C . Topnieniu cukrów towarzyszy ich rozkład związany ze stopniową utratą wody. Dlatego podczas ich ogrzewania obserwujemy kondensację pary wodnej w chłodniejszych częściach probówki oraz ciemnienie stopionej masy. Ciemne produkty rozkładu o charakterystycznym zapachu nazywamy karmelem, a reakcję rozkładu cukrów w podwyższonej temperaturze – **karmelizacją**.

karmelizacja

Stan skupienia i temperatura topnienia cukrów są skutkami budowy wewnętrznej tych związków. W stanie stałym cukry występują wyłącznie w formie pierścieniowych cząsteczek, regularnie ułożonych w sieci krystalicznej. Liczne grupy hydroksylowe umożliwiają tworzenie się wiązań wodorowych między cząsteczkami, dzięki czemu przyciągają się one wzajemnie z dużą siłą. Przejście w stan ciekły (topnienie) wymaga znacznego nakładu energii niezbędnej do zerwania wiązań wodorowych między cząsteczkami. Dlatego topnienie zachodzi dopiero w stosunkowo wysokiej temperaturze, w której może już dochodzić do zrywania niektórych wiązań kowalencyjnych, co z kolei prowadzi do stopniowego rozkładu (karmelizacji) cukrów.

Doświadczenie 2. Badanie rozpuszczalności cukrów prostych

Odczynniki: glukoza $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, etanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, benzyna ekstrakcyjna lub heksan C_6H_{14}

Sprzęt laboratoryjny: probówki, uniwersalny papierek wskaźnikowy

Opis:

W trzech probówkach umieść nieco stałej glukozy. Do pierwszej probówki dodaj kilka cm^3 wody, do drugiej – podobną objętość etanolu, a do trzeciej – podobną objętość benzyny ekstrakcyjnej lub heksanu. Wstrząśnij zawartością probówek. Ostrożnie zbadaj smak roztworu wodnego glukozy – w tym celu umieść kroplę roztworu na języku. (Pamiętaj, że badanie smaku substancji może być niebezpieczne, a tę czynność należy wykonywać tylko na wyraźne polecenie). Zbadaj odczyn wodnego roztworu glukozy za pomocą uniwersalnego papierka wskaźnikowego.

Badanie rozpuszczalności



a) w benzynie



b) w wodzie

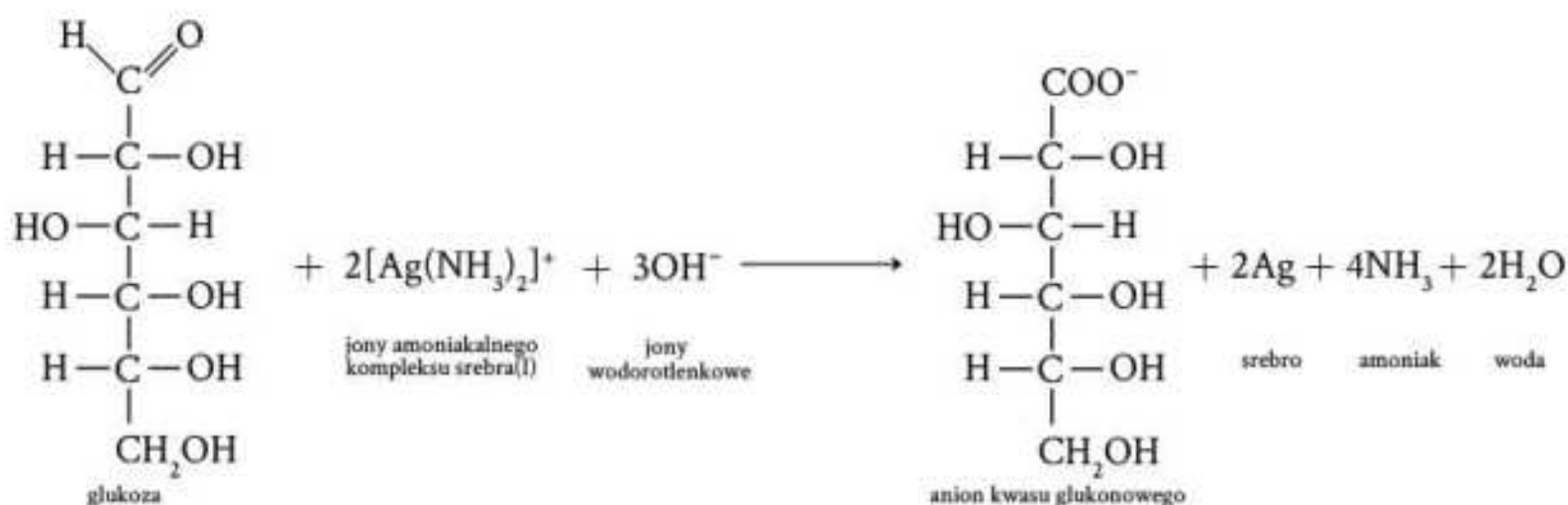


Grupy hydroksylowe zawarte w cząsteczkach cukrów pozwalają na tworzenie wiązań wodorowych z cząsteczkami wody i etanolu. Dzięki temu cukry bardzo dobrze rozpuszczają się w wodzie i dobrze w etanolu. Natomiast są trudno rozpuszczalne w rozpuszczalnikach mniej polarnych, niezdolnych do tworzenia wiązań wodorowych. Rozpuszczalność cukrów w wodzie jest tak wysoka, że trudno uzyskać kryształy cukrów przez odparowanie roztworu wodnego. Cząsteczki wody są bardzo silnie przytrzymywane przez cukry – w wyniku odparowywania roztworu otrzymuje się gęsty, lepki syrop, który może krystalizować się dopiero po dłuższym czasie. Cukry to związki o słodkim smaku. Ich roztwory mają odczyn obojętny, gdyż ich cząsteczki nie zawierają grup funkcyjnych o charakterze kwasowym i zasadowym.

2.2. Reakcje cukrów prostych

Grupa aldehydowa CHO zawarta w aldozach (np. w glukozie) z łatwością ulega utlenieniu do grupy karboksylowej COOH w wyniku działania nawet łagodnych utleniaczy, takich jak jony srebra(I) (próba Tollensa) czy jony miedzi(II) (próba Trommera).

grupa aldehydowa cukrów



Doświadczenie 3. Utlenianie glukozy w próbie Tollensa

Odczynniki: azotan(V) srebra(I) AgNO_3 , wodny roztwór amoniaku NH_3 o stężeniu 25%

Sprzęt laboratoryjny: probówki, zlewka z wodą, palnik laboratoryjny

Opis:

Umieść w probówce nieco azotanu(V) srebra AgNO_3 i rozpuść go w mniej więcej 1 cm^3 wody. Następnie dodawaj po kropli wodnego roztworu amoniaku NH_3 , aż początkowo wytrącony osad tlenku srebra Ag_2O rozтворzy się i powstanie bezbarwny, przeźroczysty roztwór związku kompleksowego srebra $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$.

Do tak przygotowanego roztworu Tollensa dodaj nieco glukozy, wymieszaj zawartość i umieść probówkę w zlewce z gorącą wodą.



Roztwór Tollensa



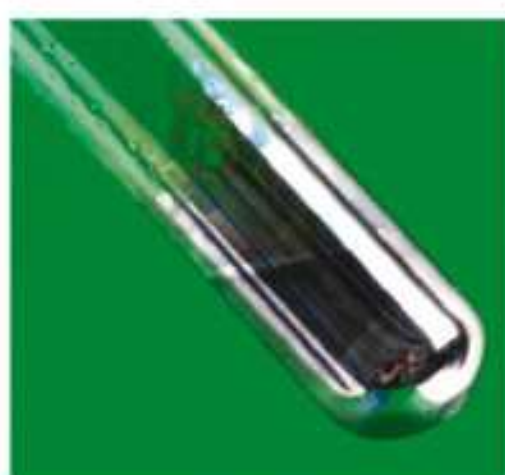
a) przed dodaniem glukozy



b) po dodaniu glukozy



c) po wymieszaniu składników



d) po ogrzaniu w łaźni wodnej – ścianki probówki pokrywają się błyszczącym metalicznym lustrem

Doświadczenie 4. Utlenianie glukozy w próbie Trommera

Odczynniki: pentahydrat siarczanu(VI) miedzi(II) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, roztwór wodorotlenku sodu NaOH o stężeniu 1 mol/dm^3 , glukoza $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

Sprzęt laboratoryjny: probówki, palnik laboratoryjny

Opis:

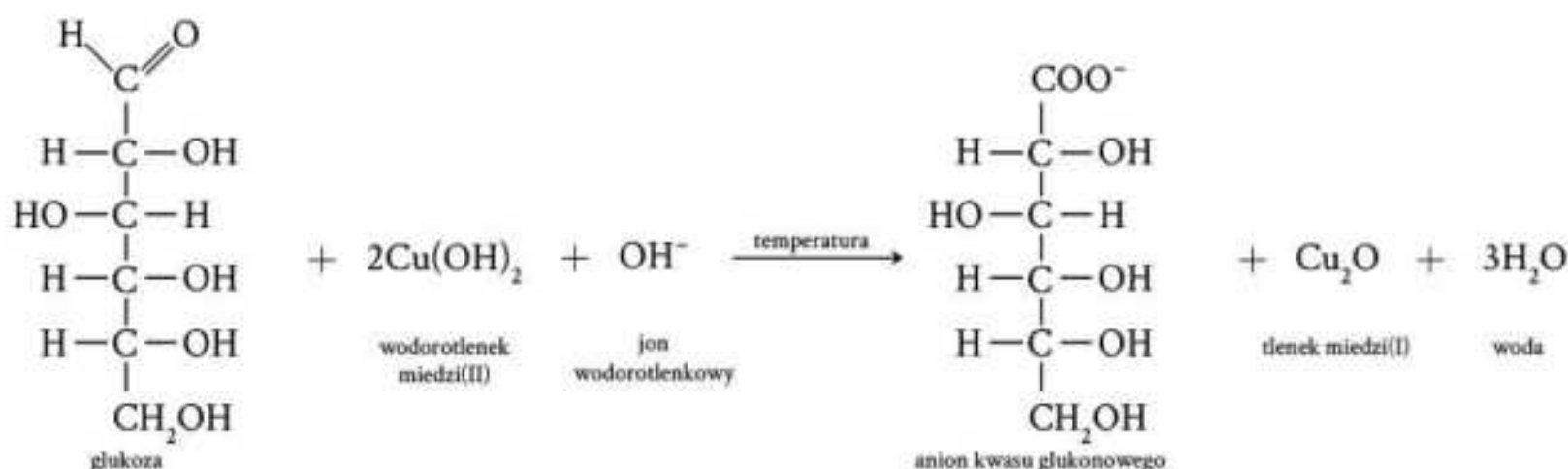
Umieść w probówce nieco pentahydratu siarczanu(VI) miedzi(II) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ i rozpuść go w mniej więcej 1 cm^3 wody. Następnie dodaj parę kropel roztworu wodorotlenku sodu NaOH , aż powstanie zawiesina niebieskiego wodorotlenku miedzi(II) $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Do mieszaniny dodaj nieco glukozy i starannie wymieszaj zawartość. Ogrzewaj probówkę ostrożnie w płomieniu palnika.



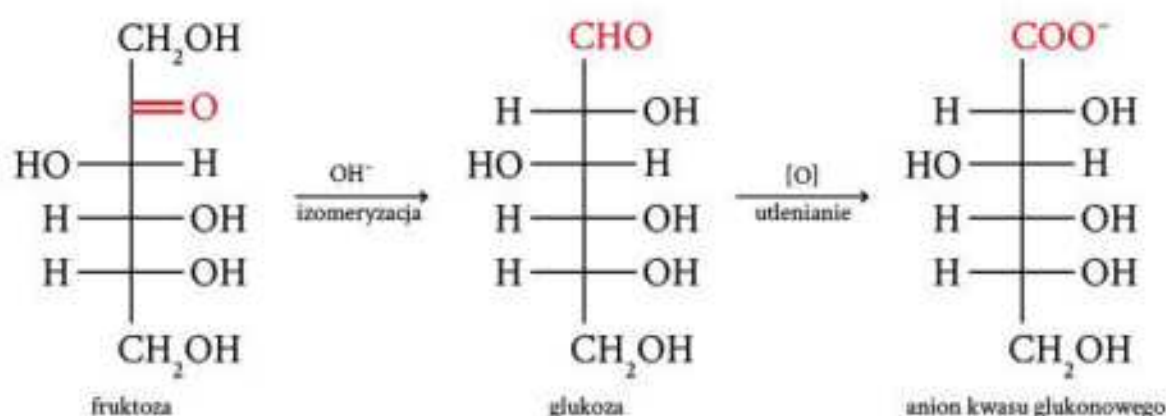
a) Mieszanina na początku ogrzewania.



b) Mieszanina po ogrzaniu.

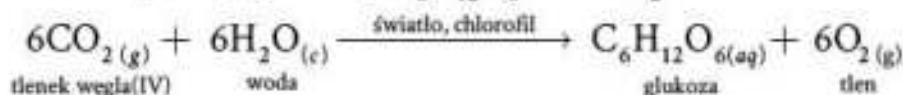


W reakcji bierze udział otwarta, łańcuchowa forma cząsteczki. Zatem glukoza i inne aldozy należą do grupy cukrów redukujących. Ketozy zawierające odporną na utlenianie grupę ketonową również mogą ulec próbie Tollensa i Trommera. W środowisku zasadowym zachodzi reakcja izomeryzacji, która prowadzi do przekształcenia ketoz w aldozy, a te z kolei mogą dalej ulegać utlenianiu. Przykładowo fruktoza także daje pozytywny wynik w próbach Tollensa i Trommera, chociaż reakcje te zachodzą wolniej niż w przypadku glukozy.



2.3. Znaczenie cukrów prostych

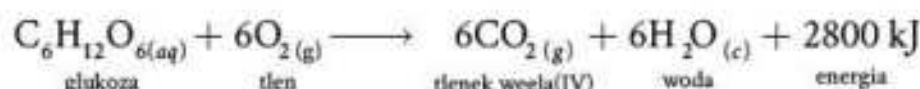
Cukry są produkowane przez rośliny zielone na wielką skalę w wyniku procesu **fotosyntezy**. W tym procesie tlenek węgla(IV) CO_2 i woda H_2O zostają prze- fotosynteza
kształcone w cukier prosty glukozę $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ i tlen O_2 .



Reakcja fotosyntezy jest katalizowana przez chlorofil – zielony barwnik roślinny, w którego skład wchodzi między innymi jon magnezu(II). Do jej zajścia niezbędne jest również światło. Proces fotosyntezy ma ogromne znaczenie dla życia na Ziemi. Glukoza to substrat do wytwarzania przez rośliny innych cukrów prostych (np. fruktozy), disacharydów (np. sacharozy) i polisacharydów (np. celulozy stanowiącej podstawowy budulec ciał roślin).

Cukry, a w szczególności **glukoza**, stanowią dla organizmów podstawowe źród- glukoza
ło energii niezbędnej do zachodzenia najważniejszych procesów życiowych. Utlenianie glukozy jest reakcją egzotermiczną (egzoenergetyczną), której towa-

rzyszy wydzielanie się energii w postaci ciepła. W ten sposób 1 mol glukozy dostarcza 2800 kJ energii, co ilustruje następujące równanie termochemiczne:

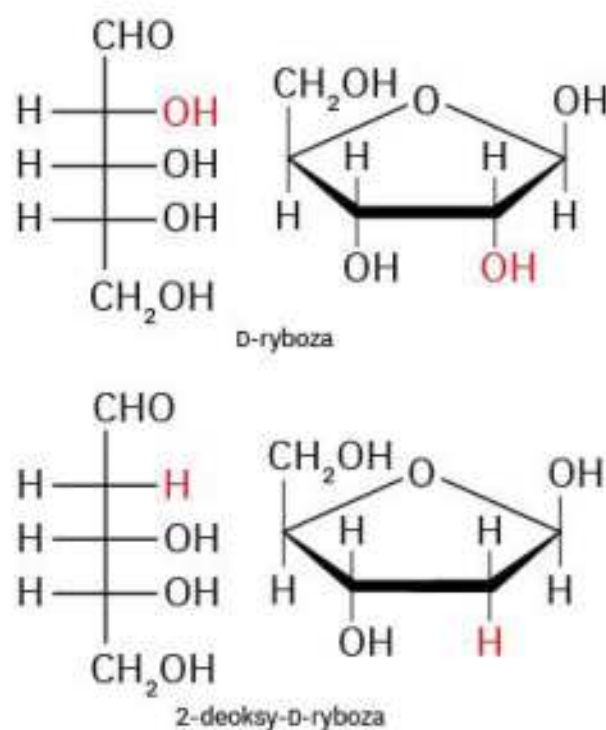


ryboza ► **Ryboza** i jej pochodna pozbawiona grupy hydroksylowej 2-deoksyryboza (rys. 2.1.) odgrywają ważną rolę we wszystkich organizmach żywych. Wchodzą w skład cząsteczek kwasów nukleinowych RNA (kwasu rybonukleinowego) i DNA (kwasu deoksyrybonukleinowego).

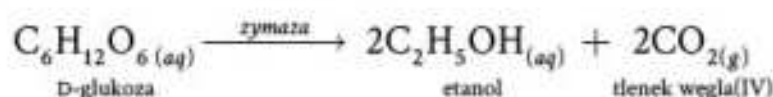
Cukry proste charakteryzują się wyraźnie słodkim smakiem. Za słodki smak owoców, warzyw i miodu są odpowiedzialne przede wszystkim dwa cukry proste: **glukoza** i **fruktoza**. Co ciekawe, znacznie różnią się one zdolnością do wywoływania wrażenia słodczy – fruktoza wydaje się 2,35 razy słodsza niż glukoza.

Glukoza jest ważnym substratem do produkcji wielu użytecznych substancji metodą fermentacji. Na przykład pod wpływem enzymu zymazy, wytwarzanego przez drożdże *Saccharomyces* (rodzaj grzybów jednokomórkowych), glukoza ulega fermentacji alkoholowej, w wyniku której powstają etanol i tlenek węgla(IV).

fermentacja alkoholowa



Rys. 2.1. Wzory łańcuchowe i taflowe D-rybozy i 2-deoksy-D-rybozy. Różnice w budowie obu cząsteczek zaznaczono czerwonym kolorem.

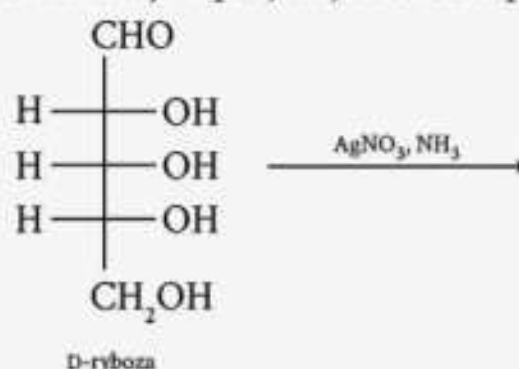


Inne produkty otrzymywane z glukozy przy udziale enzymów wytwarzanych przez mikroorganizmy to: kwas octowy (etanowy), kwas cytrynowy, kwas mlekowy oraz kwas askorbinowy (witamina C).

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Wyjaśnij, dlaczego cukry proste mają stosunkowo wysokie temperatury topnienia i bardzo dobrze rozpuszczają się w wodzie.
- Oblicz zawartość procentową węgla w glukozie $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Oceń, czy w karmelu zawartość procentowa węgla będzie wyższa czy niższa.
- Wykorzystaj wzór taflowy i narysuj w zeszycie schematycznie wiązania wodorowe, które mogą tworzyć się między cząsteczką α -D-glukopiranozy a cząsteczkami:
 - wody,
 - etanolu.

4. Narysuj w zeszycie wzór łańcuchowy w projekcji Fischera produktu następującej reakcji:



5. Wyjaśnij, dlaczego ketozy, np. fruktoza, reagują z odczynnikiem Tollensa podobnie jak aldozy.
6. Opisz w zeszycie przebieg fotosyntezy.
7. Oblicz, ile kJ energii w postaci ciepła wydzielili się w wyniku utlenienia 1 g glukozy $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, skoro utlenienie 1 mola tego związku daje 2800 kJ energii. Wartość energetyczną pokarmów określa się w jednostkach kcal/g (kilokalorie na gram). Podaj wartość energetyczną glukozy, jeżeli $1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$.
8. Fruktoza jest 2,35 razy słodsza od glukozy. Oblicz, ile gramów fruktozy należy użyć, aby uzyskać ten sam efekt słodzący, jaki daje 10 g glukozy.
9. W wyniku analizy próbki miodu stwierdzono, że zawiera on 40% glukozy i 40% fruktozy. Na podstawie informacji z zadania 8. oblicz, ile razy zmaleje lub zwiększy się słodkość miodu, jeżeli:
 - a) całą glukozę zawartą w miodzie zastąpimy fruktozą;
 - b) całą fruktozę zawartą w miodzie zastąpimy glukozą.
10. Jeden kilogram soku wytłoczonego z winogron, który zawierał 12% masowych glukozy, poddano fermentacji alkoholowej. Oblicz, jaka była procentowa (masowa) zawartość etanolu w uzyskanym winie oraz ile dm^3 tlenku węgla(IV) (w temperaturze 0°C i pod ciśnieniem 100 kPa) wydzielilo się podczas fermentacji.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Cukry proste są bezbarwnymi (białymi) krystalicznymi ciałami stałymi o stosunkowo wysokich temperaturach topnienia i bardzo dobrej rozpuszczalności w wodzie. Ich właściwości fizyczne są konsekwencją zdolności do tworzenia wiązań wodorowych. Cukry ulegają karmelizacji w wysokiej temperaturze; nie wykazują właściwości kwasowych ani zasadowych. s. 36
- Grupa aldehydowa znajdująca się w cząsteczkach aldoz utlenia się z łatwością do grupy karboksylowej pod wpływem działania odczynnikami Tollensa i odczynnikami Trommera. Ketozy również mogą ulegać tej reakcji z powodu zachodzącej izomeryzacji. s. 37
- Cukry są wytwarzane w przyrodzie w wyniku fotosyntezy. Glukoza stanowi podstawowe źródło energii dla organizmów żywych. Ryboza i 2-deoksyryboza stanowią ważne elementy strukturalne cząsteczek kwasów nukleinowych: RNA i DNA. Cukry proste wykorzystujemy do słodzenia pokarmów oraz jako substrat do wytwarzania wielu użytecznych produktów metodą fermentacyjną. s. 39

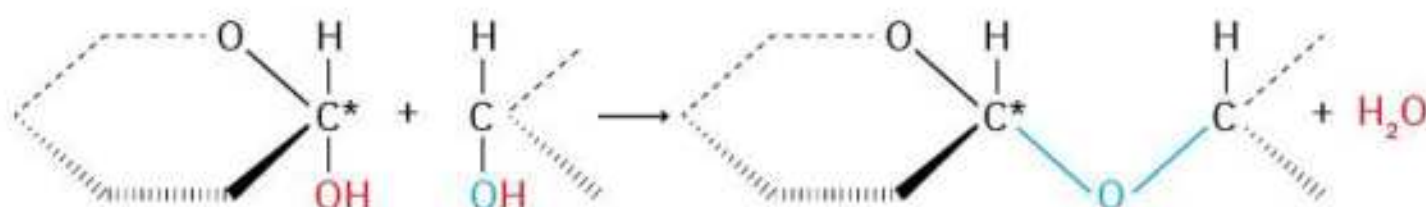
3. Disacharydy

NA TEJ LEKCJI:

- odkryjesz, w jaki sposób cząsteczki cukrów prostych mogą się łączyć ze sobą za pomocą wiązania glikozydowego;
- poznasz strukturę i właściwości najważniejszych disacharydów: sacharozy, maltozy i laktozy;
- dowiesz się, od czego zależą właściwości redukujące disacharydów;
- zapoznasz się z reakcją hydrolizy disacharydów.

wiązanie
O-glikozydowe

Anomeryczny (lub karbonylowy) atom węgla cukru prostego może reagować z grupą hydroksylową innej cząsteczki z utworzeniem tak zwanego **wiązania O-glikozydowego** C—O—C (rys. 3.1.).



Rys. 3.1. Schemat powstawania wiązania O-glikozydowego. Atom tlenu grupy hydroksylowej wyróżniony po lewej kolorem niebieskim łączy się z anomerycznym atomem węgla oznaczonym gwiazdką w reakcji substytucji. Powstaje wiązanie glikozydowe (po prawej kolor niebieski) i cząsteczka wody.

Jeżeli wiązanie glikozydowe połączy ze sobą dwie cząsteczki cukrów prostych, produktem reakcji będzie cząsteczka **disacharydu** (rys. 3.2.). Do najważniejszych disacharydów należą sacharoza, maltoza i laktoza.



Rys. 3.2. Ogólny schemat powstawania disacharydów. Wiązanie glikozydowe wyróżniono kolorem czerwonym.

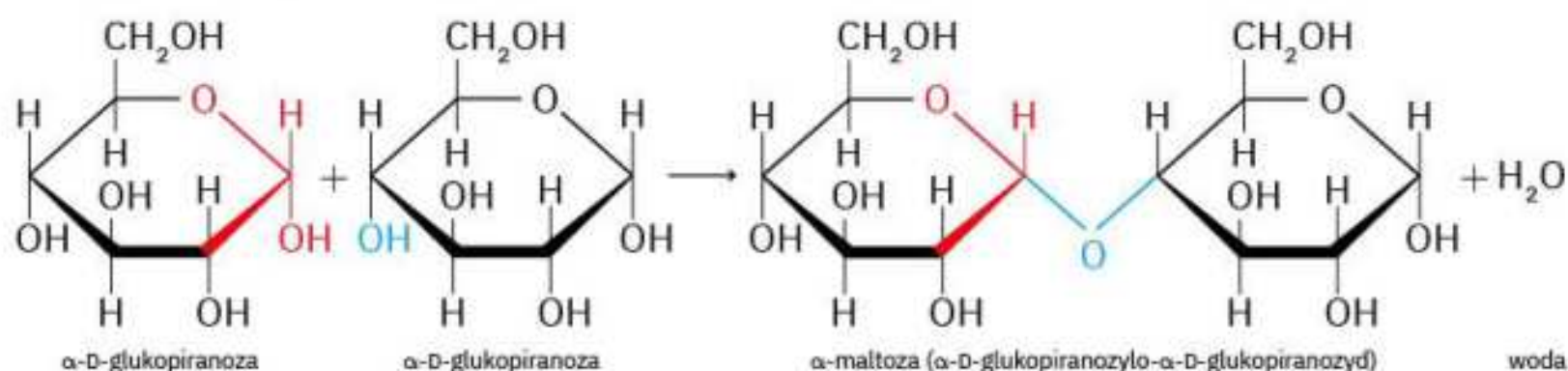
3.1. Struktura disacharydów

sacharoza ▶ **Sacharoza** jest najbardziej znanym disacharydem. Cukier biały, powszechnie stosowany do słodzenia, to właśnie czysta, krystaliczna sacharoza. W skład cząsteczki sacharozy wchodzi reszta glukozy w formie pierścieniowej α -D-glukopiranozy oraz reszta fruktozy w formie β -D-fruktofuranozy. Obie reszty są związane ze sobą wiązaniem glikozydowym (rys. 3.3.).



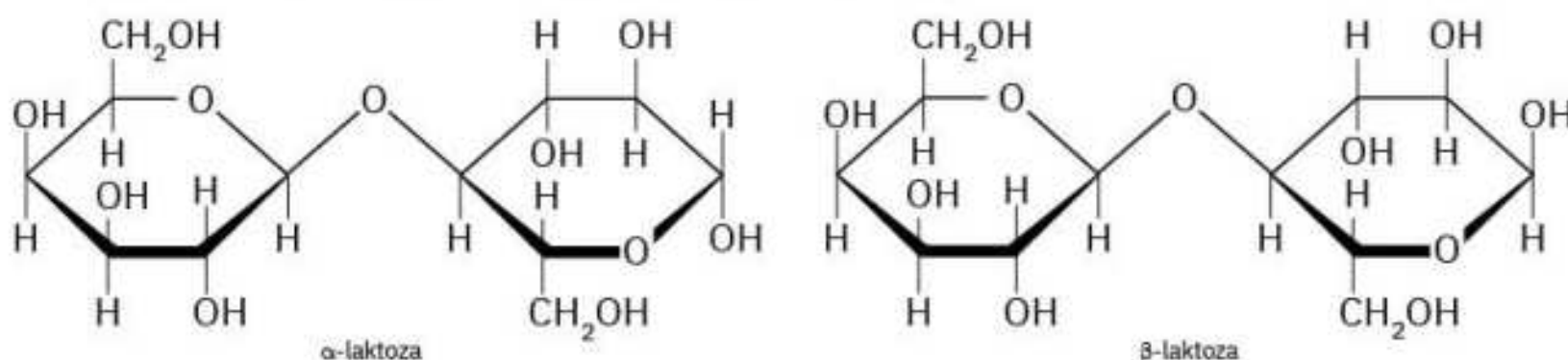
Rys. 3.3. Powstawanie cząsteczki sacharozy z cząsteczki $\alpha\text{-D-glukopiranozy}$ i z cząsteczki $\beta\text{-D-fruktofuranozy}$. Kolorem czerwonym wyróżniono otoczenie anomerycznego atomu węgla glukozy, kolorem niebieskim – grupę hydroksylową fruktozy, biorącą udział w reakcji, oraz powstające wiązanie glikozydowe.

Maltoza jest produktem enzymatycznego rozkładu skrobi, zachodzącego na przykład podczas kiełkowania ziaren zbóż. Jej cząsteczka jest zbudowana z dwóch reszt glukozy (rys. 3.4.) połączonych wiązaniem glikozydowym. Jedna z nich występuje w formie anomeru α , natomiast druga może występować jako anomer α lub β . Dlatego maltoza może również istnieć w postaci dwóch anomerów: α -maltozy i β -maltozy.



Rys. 3.4. Powstawanie cząsteczki α -maltozy z dwóch cząsteczek $\alpha\text{-D-glukopiranozy}$. Kolorem czerwonym wyróżniono otoczenie anomerycznego atomu węgla jednej cząsteczki glukozy, kolorem niebieskim – biorącą udział w reakcji grupę hydroksylową innej cząsteczki glukozy oraz powstające wiązanie glikozydowe. Jeżeli jedną cząsteczkę $\alpha\text{-D-glukopiranozy}$ (po prawej) zastąpimy cząsteczką $\beta\text{-D-glukopiranozy}$, produktem reakcji będzie β -maltoza.

Innym ważnym disacharydem jest **laktoza** zawarta w mleku ssaków. Cząsteczka laktozy składa się z reszt galaktozy i glukozy (rys. 3.5.).



Rys. 3.5. Struktura dwóch anomerów laktozy.

3.2. Właściwości disacharydów

Doświadczenie 1. Badanie właściwości sacharozy

Odczynniki: sacharoza (biały cukier) $C_{12}H_{22}O_{11}$, benzyna ekstrakcyjna lub heksan C_6H_{14}

Sprzęt laboratoryjny: probówki, palnik laboratoryjny, uniwersalny papier wskaźnikowy

Opis:

Do trzech probówek wsyp nieco sproszkowanej sacharozy (białego cukru). Pierwszą z nich ogrzewaj ostrożnie bezpośrednio w płomieniu palnika. Zbadaj zapach produktu ogrzewania – zachowaj przy tym szczególną ostrożność. Do drugiej probówki dodaj kilka cm^3 wody destylowanej, a do trzeciej – kilka cm^3 benzyny ekstrakcyjnej lub heksanu. Wstrząśnij zawartością obu probówek. Ostrożnie umieść kroplę wodnego roztworu sacharozy (druga probówka) na języku, aby zbadać smak cieczy. Za pomocą uniwersalnego papierka wskaźnikowego sprawdź odczyn wodnego roztworu sacharozy (druga probówka).

Obserwacje:

Sacharoza:



a) jest białym, krystalicznym ciałem stałym



b) w podwyższonej temperaturze ulega karmelizacji



c) bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie, a wodny roztwór sacharozy nie barwi uniwersalnego papierka wskaźnikowego



d) nie rozpuszcza się w benzynie ekstrakcyjnej

Sacharoza, podobnie jak inne disacharydy, jest białym ciałem krystalicznym o stosunkowo wysokiej temperaturze topnienia $186^{\circ}C$. Topnieniu disacharydów towarzyszy karmelizacja i wydzielanie pary wodnej.

Disacharydy nie rozpuszczają się w rozpuszczalnikach niepolarnych, takich jak benzyna, natomiast świetnie rozpuszczają się w wodzie. Wodne roztwory disacharydów mają odczyn obojętny. Sacharoza ma wyraźnie słodki smak. Właściwości disacharydów są zbliżone do właściwości cukrów prostych ze względu na duże podobieństwo w budowie cząsteczek, zwłaszcza obecność licznych grup hydroksylowych OH.

Doświadczenie 2. Porównanie właściwości redukujących maltozy i sacharozy (próba Trommera)

Odczynniki: pentahydrat siarczanu(VI) miedzi(II) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, roztwór wodorotlenku sodu NaOH o stężeniu 1 mol/dm^3 , sacharoza, maltoza lub laktoza

Sprzęt laboratoryjny: probówki, palnik laboratoryjny

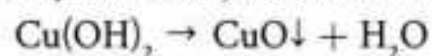
Opis:

Rozpuść nieco pentahydratu siarczanu(VI) miedzi(II) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ w kilku cm^3 wody. Wlej po mniej więcej 1 cm^3 uzyskanego roztworu do dwóch probówek. Następnie do każdej z nich dodaj po kilka kropel roztworu wodorotlenku sodu NaOH o stężeniu 1 mol/dm^3 , aż powstanie zawiesina niebieskiego wodorotlenku miedzi(II) $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Do pierwszej probówki dodaj nieco maltozy, do drugiej – nieco sacharozy. Starannie wymieszaj zawartość probówek. Ogrzewaj ostrożnie probówki w płomieniu palnika i obserwuj zachodzące zmiany.

Uwaga!

W doświadczeniu zamiast maltozy można użyć znacznie tańszej laktozy, w której reszta glukopiranozydu ma identyczną strukturę.

Próba Trommera wykazuje, że maltoza (i laktoza) mają właściwości redukujące, gdyż w wyniku reakcji powstaje ceglastoczerwony osad tlenku miedzi(I) Cu_2O . Natomiast sacharoza nie wykazuje takich właściwości. W wyniku reakcji powstaje czarny osad – jest to wynik reakcji rozkładu termicznego

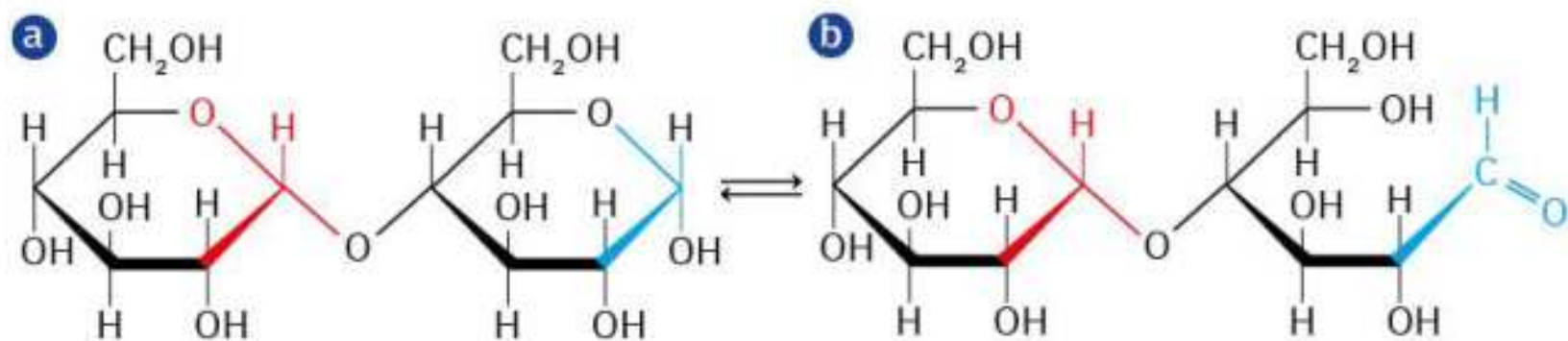


To świadczy o tym, że jony miedzi(II) nie ulegają redukcji do miedzi(I). Podobny wynik daje próba Tollensa (patrz rozdz. 2.2.) – tylko w przypadku maltozy (i laktozy) obserwujemy powstanie lustra srebrnego. Zatem maltozę i laktozę zaliczamy do tak zwanych **cukrów redukujących**, natomiast sacharozy do nich nie zaliczamy.

◀ cukry redukujące

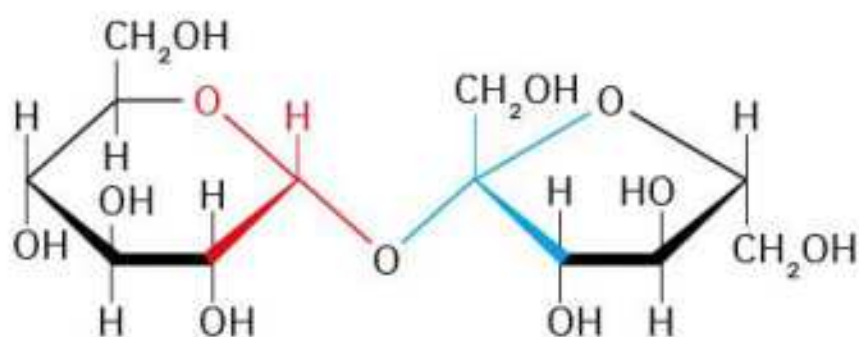
Opisana różnica we właściwościach redukujących wynika z różnic w budowie cząsteczek disacharydów. W cząsteczce maltozy (i laktozy) grupa hydroksylowa OH znajdująca się na anomerycznym atomie węgla jednej z reszt glukozy nie jest zaangażowana w wiązanie glikozydowe (rys. 3.6.a). Zatem w roztworze wodnym pierścień glukopiranozydu może się otwierać z utworzeniem grupy aldehydowej CHO (rys. 3.6.b). Grupa ta może być dalej utleniona przez jony miedzi(II) (lub jony srebra(I)) do grupy karboksylowej COOH.

Dlatego maltoza i laktoza mają właściwości redukujące.



Rys. 3.6. Możliwe struktury cząsteczki maltozy. Kolorami czerwonym i niebieskim wyróżniono wiązania tworzone przez anomeryczne atomy węgla reszt glukozy. a) Obie reszty cukrów prostych występują w formie pierścieniowej. b) Jeden z pierścieni zostaje otwarty z utworzeniem grupy aldehydowej CHO.

Natomiast w cząsteczce sacharozy obie grupy hydroksylowe zaangażowane w wiązanie glikozydowe są związane z anomerycznymi atomami węgla, odpowiednio glukozy i fruktozy (rys. 3.7.). W tej sytuacji żaden z pierścieni nie może się otworzyć z utworzeniem grupy aldehydowej, dzięki czemu sacharoza należy do grupy cukrów nieredukujących.



Rys. 3.7. Struktura cząsteczki sacharozy. Kolorem czerwonym wyróżniono wiązania tworzone przez anomeryczny atom węgla glukozy, a kolorem niebieskim – wiązania tworzone przez anomeryczny atom węgla fruktozy.

Doświadczenie 3. Hydroliza sacharozy katalizowana przez kwasy

Odczynniki: pentahydrat siarczanu(VI) miedzi(II) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, roztwór wodorotlenku sodu NaOH o stężeniu 1 mol/dm^3 , kwas solny HCl o stężeniu 1 mol/dm^3 , sacharoza

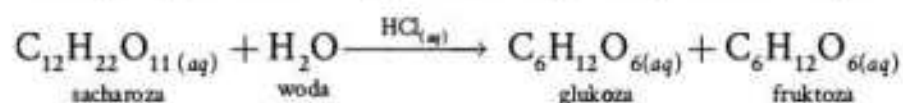
Sprzęt laboratoryjny: probówki, palnik laboratoryjny

Opis:

W probówce przygotuj zawiesinę wodorotlenku miedzi(II) $\text{Cu}(\text{OH})_2$ do próby Trommera w taki sam sposób, jak w doświadczeniu 2. z podrozdziału 3.2. W drugiej probówce rozpuść nieco sacharozy w wodzie destylowanej, dodaj parę kropli kwasu solnego o stężeniu 1 mol/dm^3 i ogrzewaj przez kilka minut w płomieniu palnika. Uzyskany roztwór ostudź (np. pod bieżącą wodą) i zobojętnij paroma kroplami roztworu wodorotlenku sodu o stężeniu 1 mol/dm^3 . Następnie wlej roztwór do zawiesiny wodorotlenku miedzi(II). Powstałą mieszaninę ogrzewaj ostrożnie w płomieniu palnika.



Wiązanie glikozydowe w disacharydach ulega hydrolizie pod wpływem działania wodnych roztworów kwasów. Na przykład hydroliza sacharozy rozcieńczonym kwasem solnym prowadzi do powstania glukozy i fruktozy.



Oba monosacharydy powstające w wyniku hydrolizy sacharozy dają pozytywny wynik w próbach Tollensa i Trommera. W organizmach żywych wiązanie glikozydowe w disacharydach jest hydrolizowane pod wpływem specyficznie działających enzymów. Na przykład w hydrolizie sacharozy bierze udział enzym cukraza (α -glikozydaza sacharozy), a maltozy – enzym maltaza.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Ogólny wzór sumaryczny cukrów prostych można zapisać jako $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$. Zapisz w zeszycie w podobny sposób wzór sumaryczny disacharydów.
- Wyjaśnij, co to jest wiązanie glikozydowe.
- Przepisz do zeszytu równania chemiczne i uzupełnij je nazwami odpowiednich anomerów cukrów prostych.
 - $\dots + \dots \rightarrow \beta\text{-maltoza} + \text{woda}$
 - $\dots + \dots \rightarrow \text{sacharoza} + \text{woda}$
- Opisz w zeszycie i wyjaśnij zachowanie disacharydów podczas ogrzewania oraz ich rozpuszczalność w wodzie i rozpuszczalnikach niepolarnych.
- Wyjaśnij, dlaczego sacharoza jest cukrem nieredukującym, podczas gdy maltoza (i laktoza) to cukier redukujący.
- Na podstawie wzoru taflowego α -laktozy (rys. 3.5.) naszkicuj w zeszycie wzór półstrukturalny cząsteczki z otwartym pierścieniem odpowiedzialnym za jej właściwości redukujące.
- Jakie cukry proste powstaną w wyniku działania rozcieńczonym kwasem solnym na:
 - maltozę,
 - sacharozę?
- Zapisz w zeszycie ciąg równań reakcji prowadzących od maltozy do octanu (etanianu) etylu.

PODSUMOWANIE LEKCJI

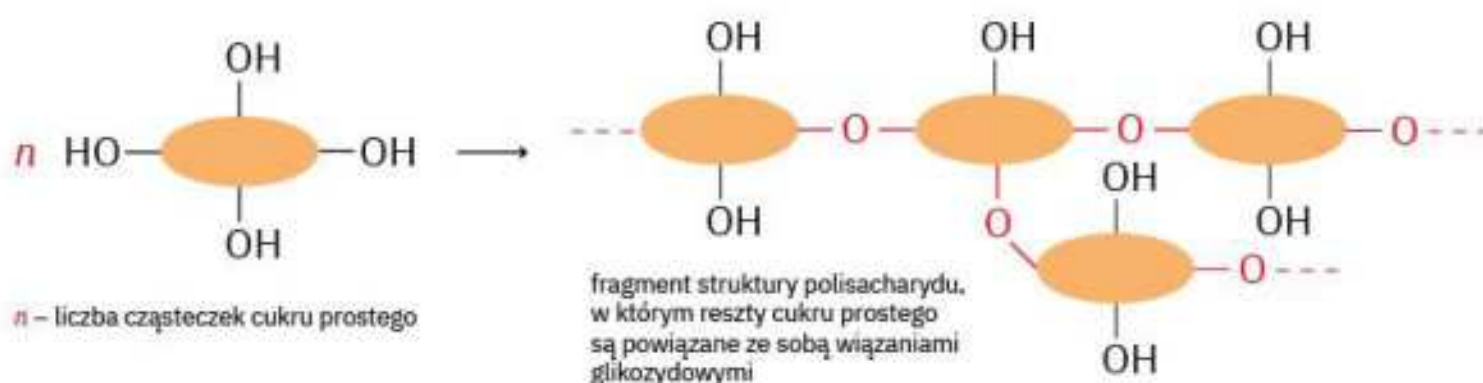
- Cząsteczki disacharydów (dwucukrów) składają się z dwóch reszt cukrów prostych połączonych s. 42 wiązaniem glikozydowym, które powstaje w wyniku reakcji między anomerycznym atomem węgla cząsteczki cukru prostego z grupą hydroksylową innej cząsteczki cukru prostego.
- Do najważniejszych disacharydów zaliczamy sacharozę (cukier biały) oraz maltozę. Disacharydy mają właściwości fizyczne i chemiczne bardzo zbliżone do cukrów prostych. Sacharoza należy do grupy cukrów nieredukujących, natomiast maltoza jest cukrem redukującym. Wiązanie glikozydowe w cząsteczkach disacharydów ulega hydrolizie pod wpływem rozcieńczonego roztworu kwasu z utworzeniem cukrów prostych. s. 42, 43

4. Polisacharydy

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz najważniejsze biopolimery należące do grupy polisacharydów;
- dowiesz się, jak są zbudowane cząsteczki amylozy i amylopektyny – polisacharydów wchodzących w skład skrobi;
- odkryjesz właściwości skrobi;
- poznasz strukturę i właściwości celulozy oraz innych ważnych biologicznie polisacharydów.

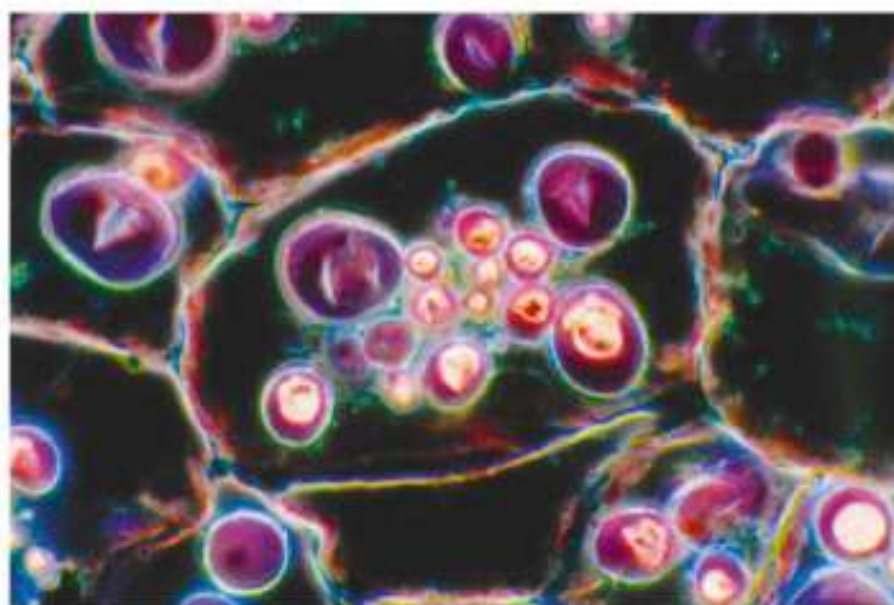
Cząsteczki cukrów prostych mogą łączyć się ze sobą nie tylko w cząsteczki disacharydów, lecz także w cząsteczki złożone z wielu reszt cukrów prostych i tworzyć polisacharydy. Schemat powstawania polisacharydów przedstawiono na rysunku 4.1.



Rys. 4.1. Schemat powstawania polisacharydów. Wiązania glikozydowe wyróżniono czerwonym kolorem.

4.1. Skrobia

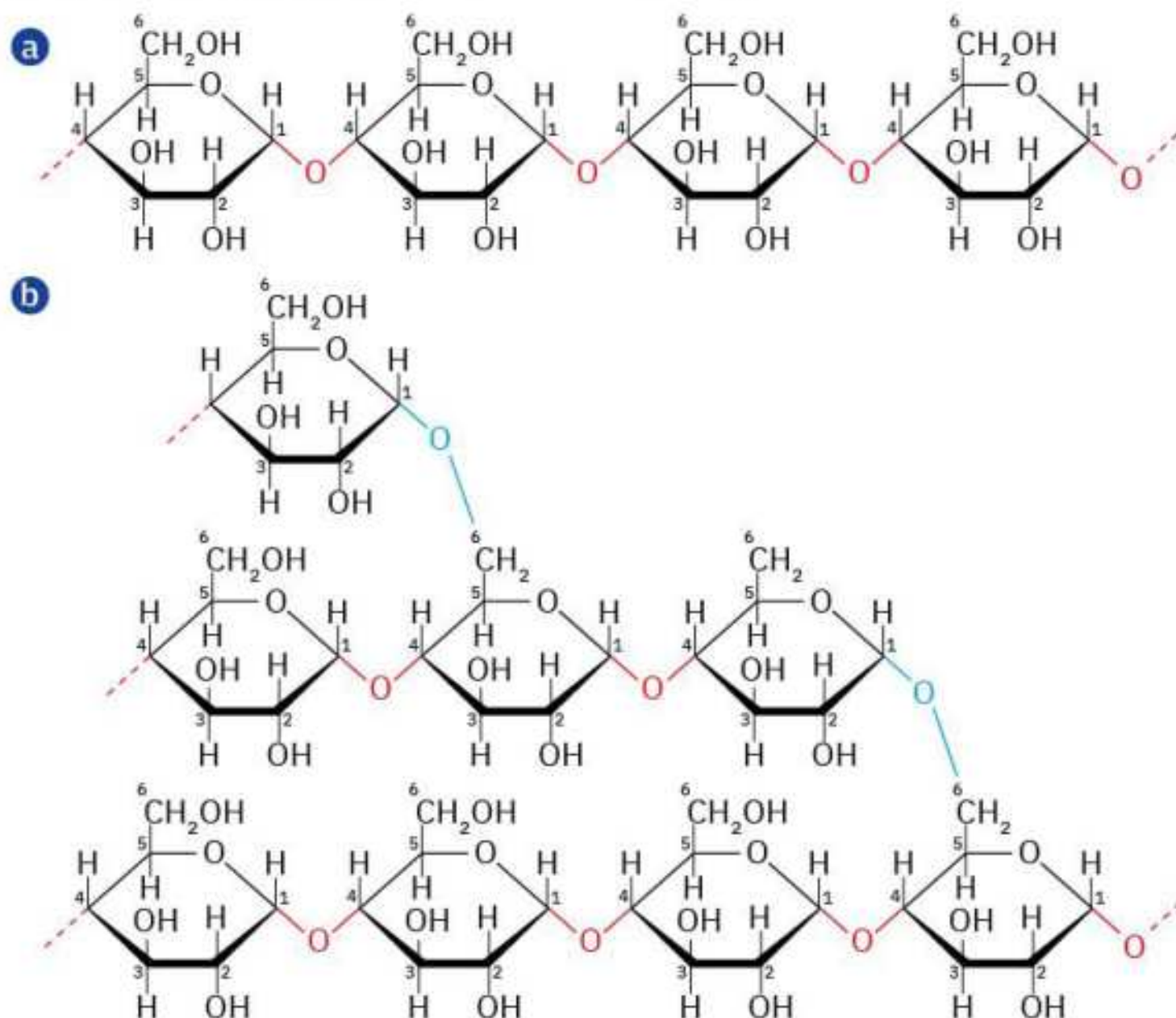
skrobia ▶ **Skrobia** jest polisacharydem, który odgrywa bardzo ważną biologiczną rolę – stanowi swoisty magazyn energii dla roślin zielonych. Rośliny produkują skrobię z glukozy. Magazynują ją w nasionach (np. ziarna zbóż), owocach (np. banany) czy też w kłączach lub bulwach (ziemniaki). Skrobia nie jest jednorodnym związkiem chemicznym – składa się z dwóch rodzajów polisacharydów: amylozy oraz amylopektyny. Oba polisacharydy są zbudowane wyłącznie z reszt glukozy połączonych ze sobą wiązaniami glikozydowymi. Ponieważ wszystkie reszty gluko-



Rys. 4.2. Ziarna skrobi widoczne w komórkach ziemniaka.

zy występują w pierścieniowej formie α -piranozy, wiązania te określa się mianem wiązań α -glikozydowych.

Cząsteczki **amylozy** mają postać względnie krótkich, praktycznie nierozgałęzionych łańcuchów, w których reszty glukozy (od 24 do 30 reszt) łączą się ze sobą wyłącznie wiązaniem α -1,4-glikozydowym (rys. 4.3.a). Cząsteczki **amylopektyny** są znacznie większe i silnie rozgałęzione (rys. 4.3.b), gdyż reszty D-glukozy wiążą się w nich wiązaniami zarówno α -1,4-glikozydowymi, jak i α -1,6-glikozydowymi (rozgałęzienie występuje średnio na co 27. reszcie glukozy).



Rys. 4.3. Struktury: a) amylozy, b) amylopektyny. Na rysunkach uwzględniono sposób numeracji atomów węgla reszt α -D-glukopiranozydu.

Skrobię można wyodrębnić z rozdrobnionego materiału roślinnego przez wypłukiwanie wodą i odparowanie powstałej zawiesiny. W ten sposób skrobię produkuje się z ziemniaków. Uzyskany produkt nazywa się w handlu mąką ziemniaczaną.

Doświadczenie 1. Badanie rozpuszczalności skrobi

Odczynniki: mąka ziemniaczana

Sprzęt laboratoryjny: zlewka, bagietka, palnik laboratoryjny, wskaźnik laserowy

Opis:

Wsyp pół łyżeczki mąki ziemniaczanej do zlewki zawierającej 100 cm³ wody destylowanej o temperaturze pokojowej. Mieszaj zawartość zlewki bagietką szklaną, aby zbadać rozpuszczalność skrobi w wodzie. Sprawdź lepkość powstałej mieszaniny (zanurz bagietkę, unieś ją nad roztworem i obserwuj, jak ciecz spływa po bagietce). Następnie ogrzej zlewkę wraz z zawartością do wrzenia. Zbadaj lepkość mieszaniny. Oświetl zlewkę z boku wąskim promieniem światła, np. z laserowego wskaźnika, i sprawdź, czy droga promienia przez zlewkę jest widoczna. Ostudź zawartość zlewki i ponownie zbadaj lepkość mieszaniny.



a) Mąka ziemniaczana po wprowadzeniu do wody.



b) Promień światła padający na zlewkę z wodnym roztworem mąki ziemniaczanej.

Skrobia ma postać białego, drobnego proszku. W zimnej wodzie praktycznie się nie rozpuszcza, lecz tworzy zawiesinę. Ogrzewanie tej zawiesiny powoduje pęcznienie ziarenek skrobi, które w końcu pękają, przez co uwalnia się zawarta w nich amyloza. Powstaje półprzeźroczysty, stosunkowo lepki roztwór, zwany kleikiem skrobiowym. Cząsteczki polisacharydów są na tyle duże, że rozpraszają światło: jeżeli oświecimy roztwór z boku, widzimy drogę promieni świetlnych w roztworze (obserwujemy efekt Tyndalla). Zatem kleik skrobiowy ma charakter roztworu koloidalnego (zolu). Ochłodzenie gorącego kleiku skrobiowego powoduje dalszy wzrost lepkości (gęstnienie) związany z przechodzeniem zolu w żel.

Doświadczenie 2. Reakcje chemiczne skrobi



Odczynniki: kleik skrobiowy z doświadczenia 1., jod I_2 (ewentualnie roztwór nadtlenku wodoru H_2O_2 o stężeniu 3%), jodek potasu KI, pentahydrat siarczanu(VI) miedzi(II) $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, roztwór wodorotlenku sodu NaOH o stężeniu 1 mol/dm^3 , kwas solny HCl o stężeniu 1 mol/dm^3

Sprzęt laboratoryjny: probówki, palnik laboratoryjny, pipety Pasteura

Opis:

Przygotuj roztwór jodu w jodku potasu. W tym celu rozpuść 1 g jodku potasu KI w $2\text{--}3 \text{ cm}^3$ wody. Następnie dodaj do mieszaniny szczyptę sproszkowanego jodu I_2 . Całość rozcieńcz wodą do objętości około 10 cm^3 (zamiast jodu można do roztworu 1 g jodku potasu w 10 cm^3 wody dodać parę kropel roztworu nadtlenku wodoru H_2O_2 , który utleni część jonów jodkowych do jodu). Przygotuj odczynniki (kieruj się opisem z doświadczenia 4. w rozdziale 2.) do przeprowadzenia próby Trommera.

Przenieś po kilka cm^3 kleiku skrobiowego z doświadczenia 1. do dwóch probówek. Do pierwszej dodaj parę kropel przygotowanego roztworu jodu w jodku potasu. W drugiej probówce przeprowadź próbę Trommera. Do zlewki zawierającej resztę kleiku skrobiowego dodaj $1\text{--}2 \text{ cm}^3$ kwasu solnego i ogrzewaj mieszaninę, tak aby utrzymywać ją w stanie wrzenia. Po pięciu minutach pobierz dwie próbki mieszaniny do osobnych probówek i je ostudź. Na pierwszej próbce wykonaj próbę z roztworem jodu w jodku potasu. Drugą próbkę zalkalizuj roztworem wodorotlenku sodu i przeprowadź na niej próbę Trommera. Powtórz obie próby na próbkach pobranych w kolejnych pięciominutowych odstępach.

Skrobia reaguje z jodem, a w tej reakcji powstaje ciemnogrnatowy związek addycyjny. Ta reakcja jest tak czuła, że może służyć do wykrywania skrobi w różnych produktach. Skrobia nie jest cukrem redukującym, gdyż jej cząsteczka składa się z wielu reszt glukozowych, połączonych ze sobą, z których tylko jedna (ostatnia) ma zdolność otwierania pierścienia, związaną z obecnością niezwiązanego anomerycznego atomu węgla. W rezultacie skrobia daje wynik negatywny w próbie Trommera. Pod wpływem wodnych roztworów kwasów skrobia hydrolizuje – najpierw powstają cząsteczki o mniejszej liczbie reszt glukozy, tak zwane dekstryny, następnie disacharyd maltoza i wreszcie glukoza. Dlatego ogrzewaniu skrobi z kwasem solnym towarzyszą stopniowy spadek intensywności ciemnoniebieskiej barwy związku skrobi z jodem oraz pojawienie się właściwości redukujących w próbie Trommera, związanych z powstawaniem maltozy i glukozy. Hydroliza skrobi do maltozy i dalej do glukozy zachodzi również pod wpływem wyspecjalizowanych enzymów.



Doświadczenie 3. Wykrywanie skrobi w produktach żywnościowych

Odczynniki: roztwór jodu w jodku potasu (patrz doświadczenie 2.), próbki mąki, ryżu, chleba, płatków śniadaniowych itp.

Sprzęt laboratoryjny: pipeta Pasteura

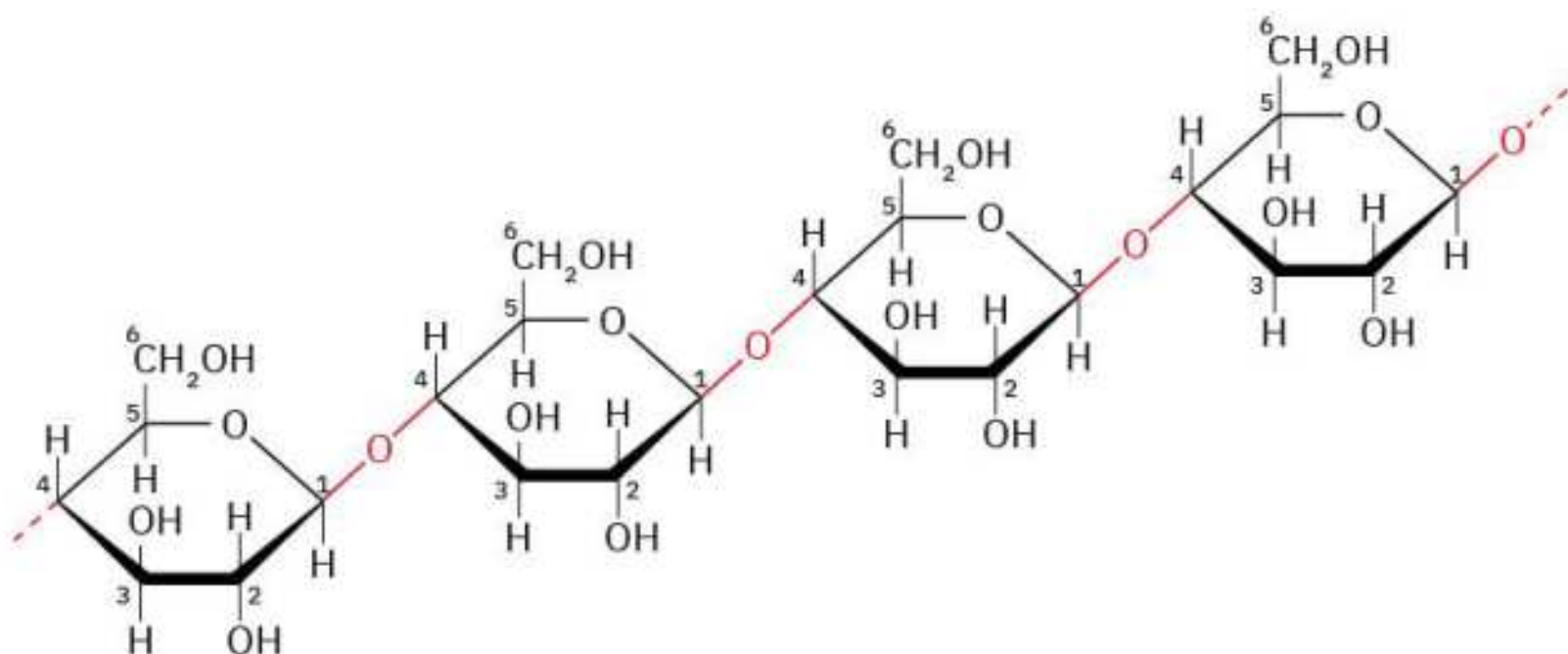
Opis:

Do każdej próbki dodaj parę kropel roztworu jodu w jodku potasu.

Skrobia jest najważniejszym źródłem węglowodanów w naszej diecie. Wchodzi w skład pokarmów mącznych: chleba, ryżu, kasz, makaronu, płatków śniadaniowych, ziemniaków itp. Zdolność skrobi do pęcznienia i tworzenia roztworów koloidalnych jest wykorzystywana w przygotowywaniu produktów żywnościowych, na przykład budyniu i kisielu.

4.2. Celuloza i inne polisacharydy

celuloza ▶ **Celuloza** jest biopolimerem glukozy, w którym reszty glukozy w formie β -glukopiranozy są powiązane ze sobą wiązaniami β -1,4-glikozydowymi (rys. 4.4.). Cząsteczki celulozy są liniowe (nierozgałęzione) i bardzo długie – składają się średnio z 2800 reszt glukozy.



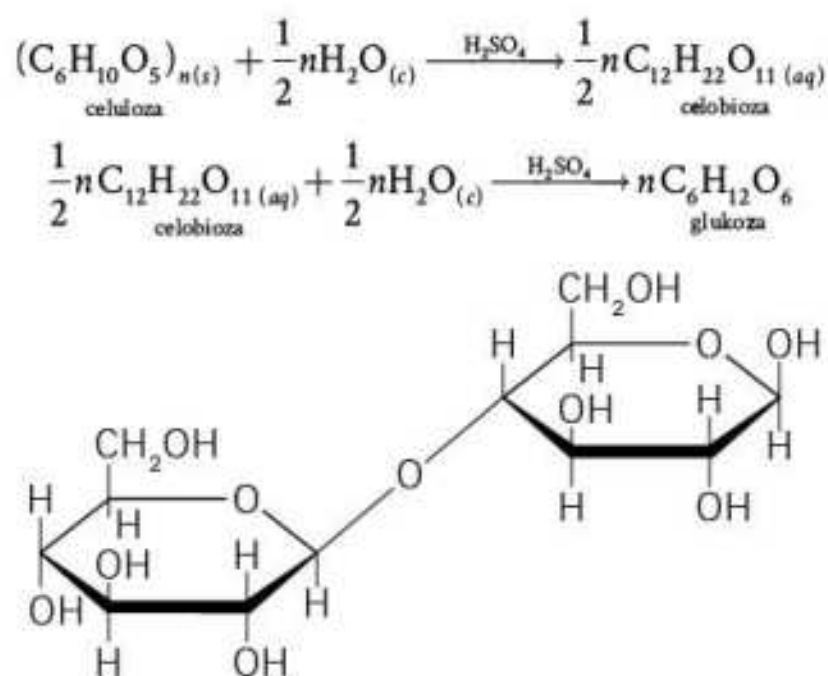
Rys. 4.4. Struktura celulozy. Wiązania β -1,4-glikozydowe wyróżniono czerwonym kolorem. Rysunek uwzględnia sposób numeracji atomów węgla reszt β -glukopiranozy.

Cząsteczki celulozy układają się w podłużne wiązki, w których w przybliżeniu równoległe łańcuchy polisacharydu wiążą się ze sobą poprzecznie licznymi wiązaniami wodorowymi, tworzonymi przez grupy hydroksylowe. W ten sposób powstają mocne mikrowłókna wykorzystywane przez rośliny jako materiał konstrukcyjny do budowy tkanek i organów. Celuloza nadaje odpowiednią wytrzymałość i sztywność ścianom komórek roślinnych. Stanowi połowę masy drewna, a bawełna to praktycznie czysta celuloza.



Rys. 4.5. Włóknista osłona nasion bawełny *Gossypium hirsutum* to prawie czysta celuloza.

Celuloza jest białym ciałem stałym, nierozpuszczalnym w wodzie. Jest budulcem włókien roślinnych, zatem wata, nici i tkaniny bawełniane (oraz lniane) to praktycznie czysta celuloza. Podobnie jak inne polisacharydy celuloza ulega hydrolizie pod wpływem wodnych roztworów kwasów mineralnych. W wyniku tej reakcji powstaje najpierw celobioza, produkt pośredni należący do grupy disacharydów, i ostatecznie glukoza.



Rys. 4.6. Struktura cząsteczki celobiozy – produktu pośredniego powstającego podczas hydrolizy celulozy.

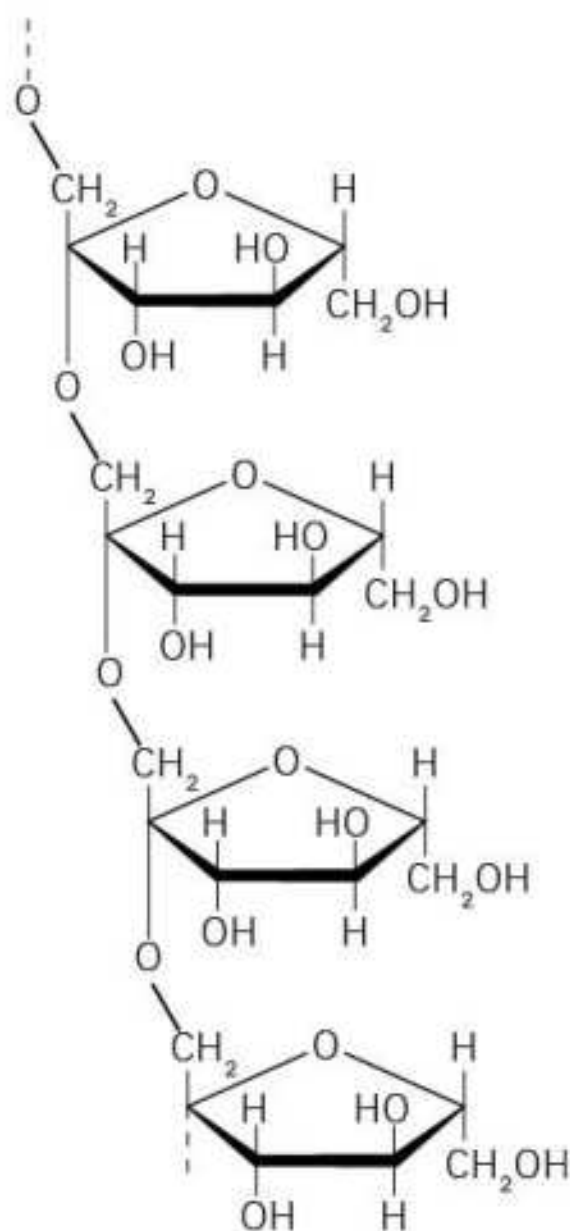
Wiązania β -glikozydowe są jednak bardziej odporne na hydrolizę niż α -glikozydowe, dlatego hydroliza celulozy zachodzi znacznie trudniej niż hydroliza skrobi. Celuloza jest również odporna na działanie enzymów hydrolitycznych

człowieka i wielu zwierząt. Z tego względu człowiek nie potrafi trawić celulozy i wykorzystać jej jako źródła pokarmu. Mimo to pełni ona (jako tzw. błonnik) istotną funkcję w procesach trawiennych człowieka, ponieważ wspomaga ruchy perystaltyczne jelit. Celuloza należy do cukrów nieredukujących, ponieważ – podobnie jak skrobia – jest złożona z wielu reszt glukozowych, połączonych ze sobą, z których tylko jedna (ostatnia) ma zdolność otwierania pierścienia, związaną z obecnością niezwiązanego anomerycznego atomu węgla.

Do grupy polisacharydów ważnych dla procesów życiowych organizmów roślinnych i zwierzęcych należą również glikogen, inulina i chityna. **Glikogen** jest materiałem zapasowym zwierząt i ludzi, magazynowanym w wątrobie i mięśniach. Struktura glikogenu przypomina amylopektynę – reszty glukozy łączą się wiązaniami α -1,4-glikozydowymi i α -1,6-glikozydowymi, dzięki czemu cząsteczka jest silnie rozgałęziona. Glikogen uczestniczy w utrzymywaniu właściwego poziomu stężenia glukozy we krwi. Gdy stężenie to spada, na przykład wskutek wysiłku fizycznego lub głodu, glikogen (pod wpływem hormonu glukagonu) uwalnia cząsteczki glukozy do krwi, przywracając właściwy poziom glukozy.

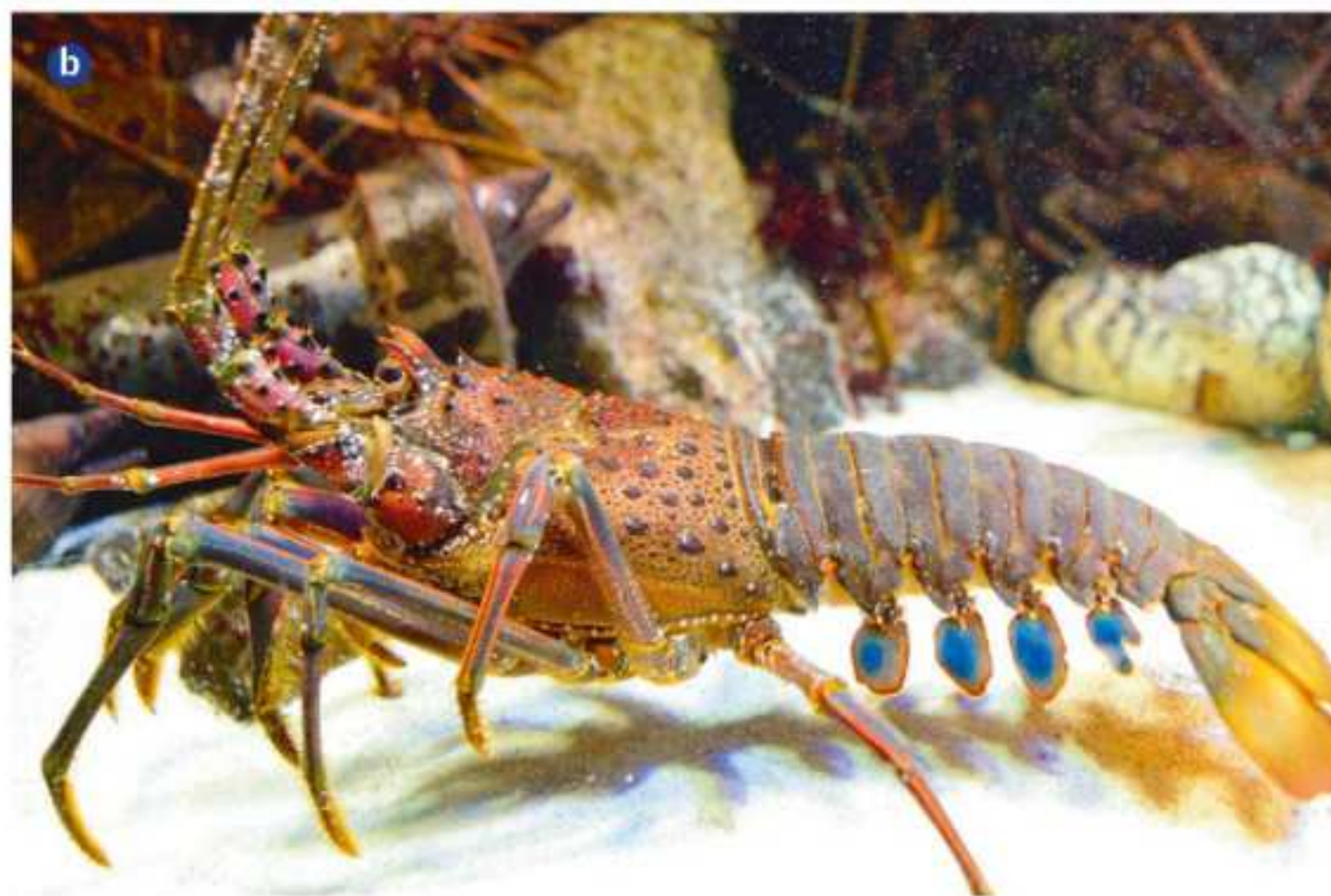
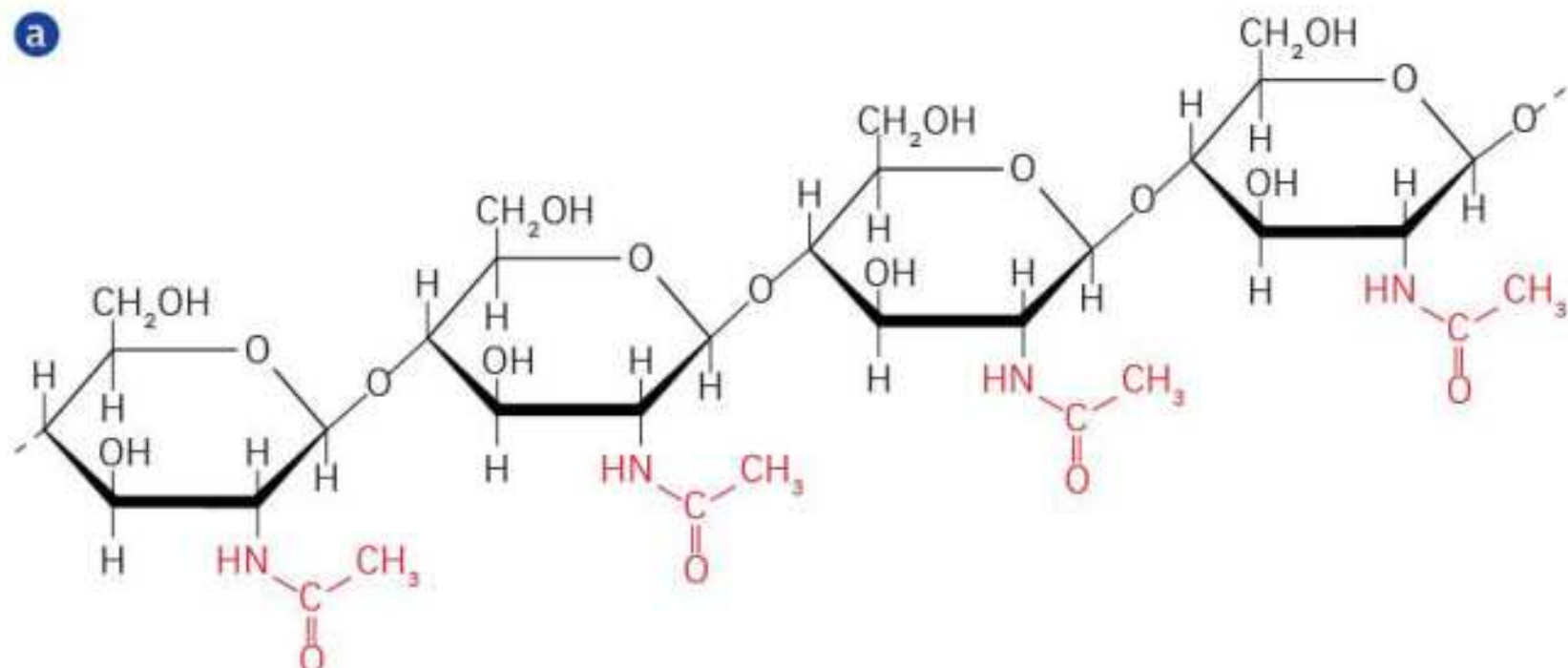
Inulina jest alternatywnym do skrobi materiałem zapasowym niektórych roślin, na przykład cebuli i czosnku. Tworzy długie, nierozgałęzione cząsteczki składające się głównie z wielu reszt β -D-fruktofuranozy połączonych ze sobą wiązaniami β -2,1-glikozydowymi (ryc. 4.7.). Człowiek nie potrafi trawić inuliny, zatem jej spożycie może powodować wzdęcia i bóle brzucha.

Chityna jest polisacharydem występującym zarówno w organizmach zwierzęcych, jak i roślinnych. Wchodzi w skład ściany komórkowej komórek grzybów. Stanowi także główny materiał strukturalny szkieletów zewnętrznych (pancerzy) owadów, pajęczaków i skorupiaków oraz szkieletów wewnętrznych (muszli) głowonogów. Strukturalnie to polimer podobny do celulozy, przy czym jedna z grup hydroksylowych w każdej monomerycznej reszcie glukozy jest zastąpiona grupą *N*-acetyloaminową -NHCOCH_3 (rys. 4.8.a). Wiązania wodorowe między cząsteczkami chi-



Rys. 4.7. Fragment struktury cząsteczki inuliny.

tyny są znacznie silniejsze niż między cząsteczkami celulozy. Z tego względu chityna jest mocnym i sztywnym tworzywem, które się doskonale nadaje jako materiał do budowy twardych części organizmów (rys. 4.8.b).



Rys. 4.8. a) Fragment struktury cząsteczki chityny, grupy *N*-acetyloaminowe wyróżniono czerwonym kolorem. b) Materiałem budulcowym pancerzy skorupiaków jest chityna.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wzór sumaryczny glukozy można zapisać jako $C_6H_{12}O_6$. Jej liniowym biopolimerem jest amyloza. Podaj wzór ogólny amylozy.
2. Odpowiedz, dlaczego wiązania łączące ze sobą reszty glukozy w amylozie i amylopektynie noszą nazwę wiązań α -glikozydowych.
3. Podaj, ile procent reszt glukozy tworzy trzy wiązania glikozydowe w amylopektynie.
4. Opisz w zeszycie zmiany obserwowane podczas:
 - a) mieszania skrobi z zimną wodą,
 - b) ogrzewania powstałej mieszaniny,
 - c) ochłodzenia produktu ogrzewania,
 - d) działania na uzyskany produkt roztworem jodu w jodku potasu.
5. Podaj, w jaki sposób można sprawdzić, czy producent użył mąki do zagęszczenia sosu.
6. Wyjaśnij, czym różnią się wiązania glikozydowe występujące w celulozie od wiązań glikozydowych występujących w amylozie oraz dlaczego nazywa się je wiązaniami β -glikozydowymi.
7. Pojedyncza cząsteczka celulozy składa się średnio z 2800 powiązanych ze sobą reszt glukozy. Oblicz średnią masę cząsteczkową celulozy.
8. Wskaż podobieństwa i różnice w budowie cząsteczek celulozy i chityny.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 48 ▶ • Polisacharydy są to biopolimery cukrów prostych, których cząsteczki są złożone odpowiednio z kilku lub z bardzo wielu reszt cukrów powiązanych ze sobą wiązaniami glikozydowymi.
- s. 48 ▶ • Skrobia składa się z dwóch polisacharydów będących biopolimerami glukozy: amylozy i amylopektyny, w których reszty glukozy są powiązane ze sobą wiązaniami α -glikozydowymi. Skrobia tworzy roztwory koloidalne. Reaguje z jodem z utworzeniem ciemnoniebieskiego produktu reakcji. Ulega hydrolizie pod wpływem roztworów kwasów. Należy do grupy cukrów nieredukujących.
- s. 52 ▶ • Celuloza jest polisacharydem o prostoliniowych, nierozgałęzionych cząsteczkach, w których reszty glukozy są powiązane ze sobą wiązaniami β -glikozydowymi. Celuloza nie rozpuszcza się w wodzie; ulega hydrolizie pod wpływem roztworów kwasów.

Podsumowanie przed sprawdzianem

- Cukry proste są związkami organicznymi o wzorze ogólnym $C_xH_{2x}O_x$. Jeden z atomów węgla s. 28
cząsteczki tworzy grupę karbonylową $C=O$, a pozostałe są związane grupami hydroksylowymi OH . Najważniejszymi cukrami prostymi są glukoza i fruktoza.
- Cząsteczki cukrów prostych z reguły zawierają kilka centrów chiralności (stereogenicznych), mogą s. 29
więc występować w formie różnorodnych stereoizomerów. W wyniku reakcji grupy karbonylo-
wej z grupą hydroksylową tej samej cząsteczki cukru prostego powstają formy pierścieniowe (naj-
częściej furanozy i piranozy), które mogą występować w formie dwóch różnych anomerów.
- Cząsteczki cukrów prostych mogą łączyć się ze sobą za pomocą wiązań glikozydowych. Di- s. 48
sacharydy, np. sacharoza i maltoza, składają się z dwóch reszt cukrów prostych. Cząsteczki poli-
sacharydów składają się z bardzo wielu reszt cukrów prostych połączonych ze sobą w struktury
liniowe lub rozgałęzione. Do najważniejszych polisacharydów zaliczamy skrobię (mieszaninę
amylozy i amylopektyny) oraz celulozę. Oba polisacharydy są biopolimerami glukozy.

Ważne!

Po zapoznaniu się z tym działem zdobędziesz następujące umiejętności:

- opisywanie struktury i właściwości najważniejszych cukrów prostych, disacharydów i poli-
sacharydów;
- klasyfikowanie cukrów na proste i złożone, redukujące i nieredukujące;
- przedstawianie cząsteczek cukrów w postaci wzorów łańcuchowych i taflowych;
- projektowanie i wykonywanie doświadczeń ilustrujących najważniejsze właściwości chemicz-
ne poszczególnych cukrów;
- zapisywanie w postaci równań chemicznych najważniejszych przemian, którym ulegają cukry;
- opisywanie i wskazywanie wiązań glikozydowych w cukrach złożonych.

Sprawdź, czy umiesz!

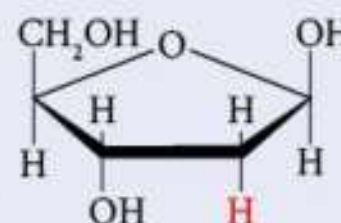
1. Określ, w jaki produkt przekształci się glukoza pod wpływem:

- a) amoniakalnego roztworu soli srebra(I),
- b) ogrzewania do temperatury $200^{\circ}C$,
- c) działania enzymów drożdży *Saccharomyces*.

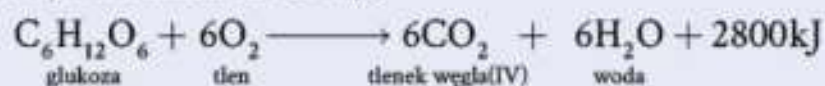
Narysuj w zeszycie wzory półstrukturalne powstających produktów. Opisz zmiany obserwowane podczas reakcji (np. zmiana zabarwienia, wydzielenie się osadu lub pęcherzyków gazu itp.).

2. Na rysunku obok podano wzór taflowy 2-deoksy-D-rybozy – podsta-
wowej cegiełki struktury kwasu deoksyrybonuleinowego DNA.

- a) Zapisz w zeszycie wzór sumaryczny 2-deoksy-D-rybozy.
- b) Odpowiedz, czy wzór sumaryczny 2-deoksy-D-rybozy spełnia kry-
teria wzoru ogólnego dla węglowodanów.
- c) Narysuj w zeszycie wzór taflowy drugiego anomeru 2-deoksy-D-rybozy.



3. Fotosynteza jest reakcją odwrotną do reakcji spalania glukozy, przedstawionej poniżej (przebiega od strony prawej równania do lewej):



- Zapisz w zeszycie równanie chemiczne procesu fotosyntezy z uwzględnieniem energii.
 - Oblicz, ile gramów tlenku węgla(IV) i wody musi zużyć roślina, aby wyprodukować 10 g glukozy w procesie fotosyntezy.
 - Oblicz, ile gramów tlenu wydzieli się w tej reakcji do atmosfery.
 - Oblicz, ile energii słonecznej musi pobrać roślina, aby zsyntezować tę ilość glukozy.
4. Dienne zapotrzebowanie na energię dorosłego człowieka wynosi ok. 2000 kcal. Wykorzystaj równanie chemiczne z zadania 4., aby obliczyć, ile gramów glukozy wystarczy do zaspokojenia dziennego zapotrzebowania na energię, jeżeli $1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$.
5. Podane cukry podziel na cukry proste, disacharydy i polisacharydy: amyloza, celuloza, fruktoza, glukoza, maltoza. Podaj przykłady miejsca ich występowania w przyrodzie ożywionej. Odpowiedź zapisz w zeszycie.
6. Oblicz masę wody, jaka wydzieli się wskutek całkowitego rozkładu termicznego 10 g sacharozy.
7. Celobioza jest disacharydem powstającym podczas hydrolizy celulozy. Wzór chemiczny tego związku przedstawiono na rys. 4.6.
- Podaj nazwę reszt cukrów prostych, z jakich składa się cząsteczka celobiozy.
 - Określ, w formie którego z anomerów (α czy β) występują te reszty w cząsteczce celobiozy.
 - Ustal, czy celobioza rozpuszcza się w wodzie. Odpowiedź uzasadnij.
 - Napisz w zeszycie wzór grupowy produktu reakcji celobiozy z odczynnikiem Tollensa. Jeżeli jednak reakcja nie zachodzi, to zapisz odpowiednią informację.
 - Oceń, czy celobioza jest cukrem redukującym czy nieredukującym.
8. Wymień podobieństwa i różnice w strukturze i właściwościach amylozy i celulozy.
9. Wskaż produkty, które będą się barwić na ciemnoniebieski kolor pod wpływem rozcieńczonego roztworu jodu.
- pióro ptasie
 - świeżo przekrojony ziemniak
 - jajko ugotowane na twardo
 - wstążka bawełniana
 - jogurt owocowy
 - budyń waniliowy
 - ugotowane spaghetti



Osiągnięcia chemii znajdują wiele praktycznych zastosowań w życiu codziennym. Jednak rzadko dostrzegamy ich związek z tą gałęzią nauki. W tym rozdziale poznasz wybrane przykłady praktycznego wykorzystania dokonań chemii i przekonasz się, ile prawdy kryje się w stwierdzeniu „Chemia ubiera, leczy, żywi oraz dba o higienę i środowisko naturalne”.

III Chemia wokół nas



- ▶ Włókna naturalne
- ▶ Włókna sztuczne i syntetyczne
- ▶ Środki czystości i kosmetyki
- ▶ Substancje o działaniu leczniczym i toksycznym
- ▶ Chemia napojów i żywności
- ▶ Odpady stałe i ich utylizacja

1. Włókna naturalne

NA TEJ LEKCJI:

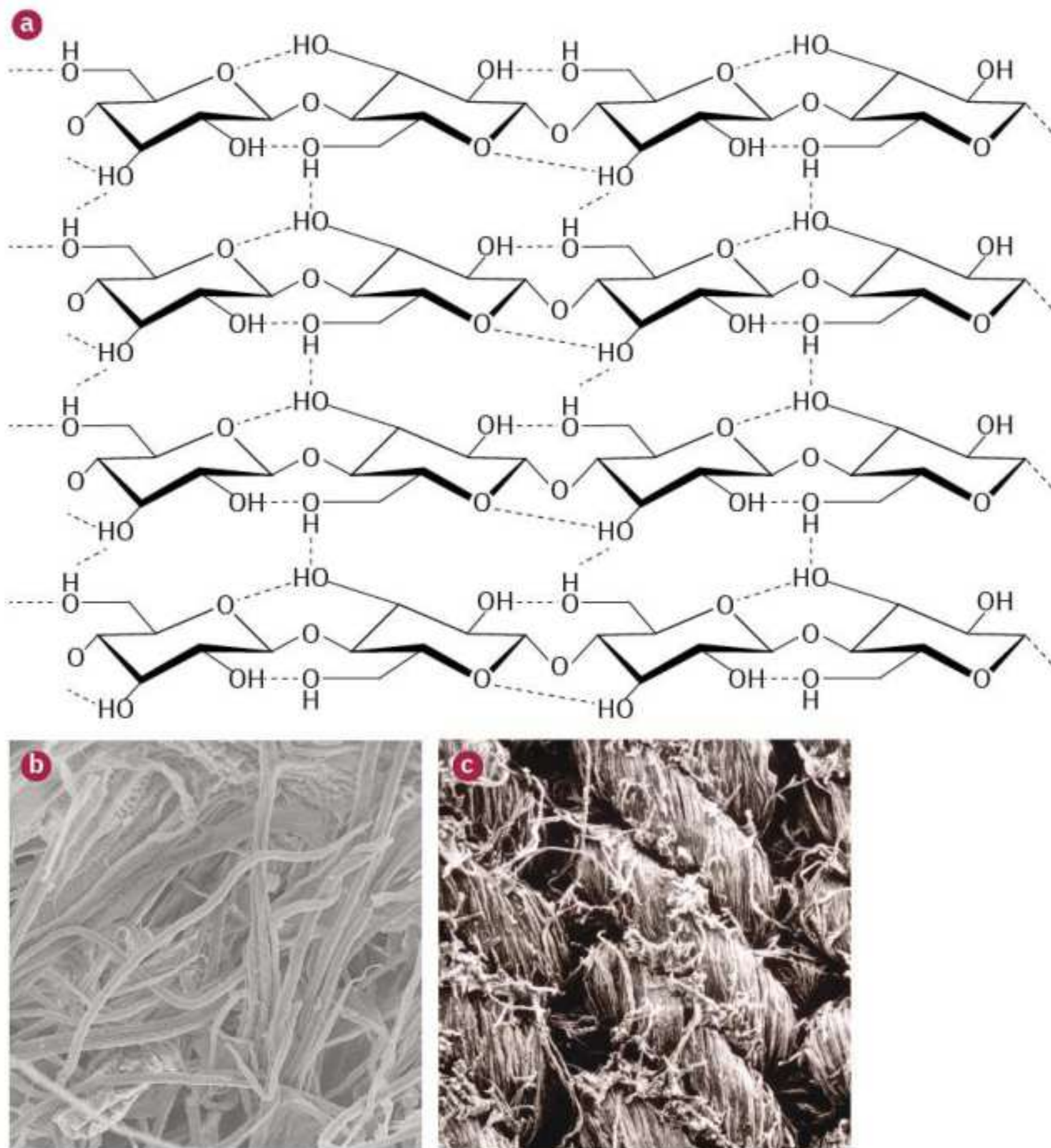
- zapoznasz się z najważniejszymi włóknami pochodzenia naturalnego (roślinnego i zwierzęcego);
- poznasz strukturę włókien celulozowych i zbadasz ich właściwości;
- dowiesz się, czym jest papier i jak się go wytwarza;
- odkryjesz strukturę molekularną keratyny – białka stanowiącego główny składnik włosów zwierzęcych, również wełny;
- zbadasz właściwości włókien białkowych: wełny i jedwabiu;
- dowiesz się, w jaki sposób struktura wewnętrzna nici jedwabnej wpływa na jej obserwowane właściwości fizyczne i chemiczne.

Człowiek używa tkanin od wieków. Wykorzystuje je jako materiał na odzież, pościel, dywany, ozdobne obicia, przedmioty powszechnego użytku (worki, torby) itp. Tkanina to nic innego jak regularnie splecione ze sobą nici przędzy, a te z kolei powstają w wyniku skręcenia ze sobą cienkich, wytrzymałych włókien. Ze względu na materiał, z którego są wykonane, włókna klasyfikujemy jako naturalne (pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego), sztuczne (powstające na skutek modyfikacji włókien naturalnych) oraz syntetyczne (wykonane z polimerów otrzymanych na drodze syntezy chemicznej).

1.1. Włókna celulozowe

włókno
bawełniane

Najpospolitszym włóknem roślinnym powszechnie stosowanym do wytwarzania tkanin jest **włókno bawełniane**. Wytwarza się je z puszystych okryw otaczających nasiona roślin z rodzaju *Gossypium*, czyli krzewów bawełnianych, uprawianych w strefie gorącego klimatu na całym świecie (patrz rys. 4.5. w poprzednim rozdziale). Po przekwitnięciu i pęknięciu torebek nasiennych okrywy się zbiera, oddziela od nasion i oczyszcza. W ten sposób otrzymuje się włókna (rys. 1.1.b) składające się właściwie z czystej celulozy. We włóknach cząsteczki celulozy są ułożone w przybliżeniu równolegle. Wiążą się ze sobą poprzecznymi wiązaniami wodorowymi tworzonymi przez liczne grupy hydroksylowe –OH. Dzięki temu powstaje mocna, wytrzymała struktura. Włókna skręca się razem w nici przędzy bawełnianej, z których następnie splota się tkaninę (rys. 1.1.c).



Rys. 1.1. Włókna bawełniane. a) Ułożenie cząsteczek celulozy we włóknach. b) Nieuprzedzone włókna widziane pod mikroskopem. c) Struktura tkaniny bawełnianej w dużym powiększeniu.

Współcześnie tkaniny bawełniane stanowią około 70% wszystkich tkanin produkowanych na świecie. W Europie bawełna była znana od starożytności. Jej upowszechnienie nastąpiło dopiero w XIX w. w okresie rewolucji przemysłowej, gdy wynalezienie maszyn tkackich znacząco usprawniło produkcję tkanin. W tym okresie uprawa bawełny stała się źródłem fortun właścicieli plantacji

w południowej części USA, dzięki pracy czarnoskórych niewolników. Rozwój przemysłu włókienniczego przyczynił się również do wzbogacenia się miast, w których rozwijała się produkcja tkanin. W Polsce były to przede wszystkim Łódź i okoliczne miejscowości (realia wytwarzania tkanin w tamtych czasach dobrze opisał Władysław Reymont w powieści *Ziemia obiecana*). Obecnie tkaniny bawełniane produkuje się na całym świecie, a ich wytwarzanie jest w wysokim stopniu zautomatyzowane.

Doświadczenie 1. Badanie właściwości włókien celulozowych

Odczynniki: próbki tkaniny bawełnianej (najlepiej wielokrotnie pranej), wata bawełniana, stężony kwas siarkowy(VI) H_2SO_4

Sprzęt laboratoryjny: palnik laboratoryjny lub zapalniczka gazowa, tacka aluminiowa, szkiełka zegarkowe (lub szalki Petriego), pręcik drewniany, pęseta

Opis:

Owiń koniec drewnianego pręcika małym kłębkem waty. Wprowadź kłębek do płomienia i spróbuj go zapalić. Zbadaj zapach palącej się waty. Po spaleniu odłóż pręcik na tackę. Zbadaj konsystencję pozostałości otrzymanych po spaleniu – w tym celu spróbuj je pokruszyć. Następnie umieść w płomieniu za pomocą pęsety próbkę tkaniny bawełnianej. W ten sam sposób, co poprzednio, zbadaj otrzymane pozostałości.

Weź dwa szkiełka zegarkowe. Na pierwszym szkiełku umieść mały kłębek waty, a na drugim – skrawek tkaniny. Za pomocą pipety Pasteura nanieś na obie próbki nieco wody i obserwuj, jak wsiąka. Powtórz eksperyment, ale użyj stężonego kwasu siarkowego(VI) (ostrożnie, substancja żrąca!). Zbadaj zmiany zachodzące w próbkach.

Uwaga! Doświadczenie wykonuj pod wyciągiem albo w dobrze wietrzonym miejscu.

celuloza ▶ **Celuloza** to związek organiczny zbudowany z węgla, wodoru i tlenu, zatem jest palna. Paleniu się towarzyszy wydzielanie się dymu o charakterystycznym zapachu oraz czernienie próbki wskutek częściowego jej zwęglenia w wysokiej temperaturze. Pozostałość po spaleniu jest krucha, łatwo daje się rozdrobnić. Włókna bawełniane są higroskopijne (dobrze wchłaniają wilgoć). Dlatego tkaniny bawełniane nadają się na te części odzieży, które znajdują się blisko ciała, na przykład: bielizna, koszule. Chłonność bawełny wiąże się z obecnością w cząsteczkach celulozy licznych grup hydroksylowych, które mogą wytwarzać wiązania wodorowe z cząsteczkami wody, oraz luźną, drobnowłóknistą strukturą nici, ułatwiającą penetrację wody. Działanie stężonego kwasu siarkowego(VI) skutkuje destrukcją celulozy i jej zwęgleniem. Kwasy i zasady o umiarkowanym stężeniu powodują stopniową hydrolizę wiązań glikozydowych w cząsteczkach celulozy, co prowadzi do obniżenia właściwości mechanicznych i w końcu



do uszkodzenia tkaniny bawełnianej. Natomiast ten materiał jest odporny na działanie rozcieńczonych zasad i kwasów. Dla przykładu: tkaniny bawełniane można z powodzeniem prać w alkalicznych roztworach proszku do prania, a po takim praniu nie widać oznak zniszczenia.

Włókna celulozowe pozyskuje się również z innych roślin, na przykład: lnu, konopi, juty i agawy. Tkaniny lniane (rys. 1.2.) dominowały w Europie przed rewolucją przemysłową, a obecnie ich rozpowszechnienie jest znacznie mniejsze. Odzież lnianą uważa się współcześnie za bardziej luksusową niż odzież bawełnianą. Pozyskiwanie **włókien z lnu** jest bardzo pracochłonne: wymaga wyodrębnienia ich z łodyg i usunięcia zbędnego materiału roślinnego w drodze długotrwałej obróbki mechanicznej. Dlatego ceny tkanin lnianych są wyraźnie wyższe. Włókno lniane ma właściwości bardzo podobne do włókna bawełnianego. Jest jednak mocniejsze, a tkaniny lniane są bardzo odporne na zużycie.



Rys. 1.2. Lniana tkanina.

Włókna pozyskiwane z **konopi** uchodzą za najmocniejsze włókna pochodzenia roślinnego. Wyodrębnia się je podobnie jak włókna lnu – z łodyg dojrzałych roślin. Włókna konopne mogą służyć również do produkcji tkanin. Jednak najczęściej są stosowane do wytwarzania szczególnie mocnych nici, sznurów i lin (rys. 1.3.).



Rys. 1.3. Sznurki konopne.

Włókna juty i agawy (sizal) są grubsze, sztywniejsze i bardziej szorstkie. Nie nadają się na tkaniny odzieżowe, natomiast świetnie sprawdzają się w wyrobach, w których wymagana jest wysoka wytrzymałość mechaniczna i odporność na ścieranie, jak: worki, sznury, chodniki, maty, plecionki itp. (rys. 1.4. i 1.5.).



Rys. 1.4. Jutowa torba na zakupy.



Rys. 1.5. Wycieraczka z sizalu (włókna agawy).

◀ włókna z lnu

◀ włókna z konopi

◀ włókna z juty i agawy

1.2. Papier

papier ▶

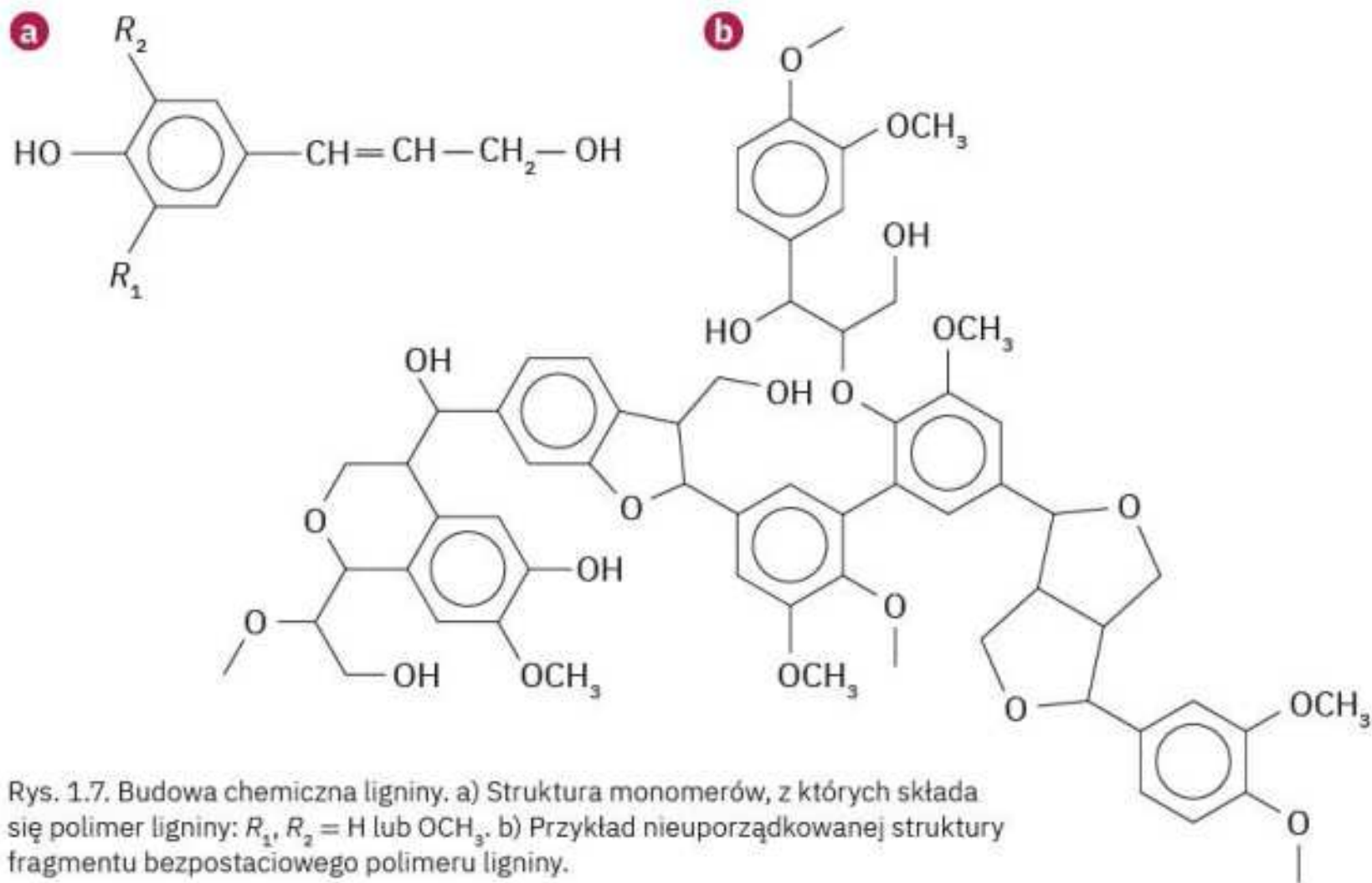
Włókna celulozowe znalazły również zastosowanie w produkcji **papieru**. Mikroskopowe fotografie ujawniają, że papier w zasadzie jest matą splątanych ze sobą i sprasowanych takich włókien (rys. 1.6.).



Rys. 1.6. Mikrofotografia krawędzi kartki papieru uzyskana za pomocą mikroskopu elektronowego.

W Europie pierwsze manufaktury papieru powstały w średniowieczu, w XII–XIII w. Aż do XIX w. papier wytwarzano ze starych, zużytych tkanin lnianych, które zbierali według określonych reguł szmaciarze. Szmaty moczo w wodzie i rozdrabniano mechanicznie w celu otrzymania wodnej zawiesiny włókien celulozy. Tę zawiesinę wylewano na gęste, płaskie sito, na powierzchni którego osadzała się warstwa włókien. Po jej wysuszeniu i zdjęciu z sita uzyskiwało się arkusz papieru czerpanego. Dziś tradycyjny sposób wytwarzania papieru można zobaczyć w za- bytkowej papierni znajdującej się nieopodal Dusznik-Zdroju na Dolnym Śląsku.

Współcześnie surowcem do produkcji papieru jest drewno. Zawiera ono do 45% celulozy, która razem z hemicelulozą oraz ligniną wchodzi w skład ścian komórkowych zdrewniałych komórek roślinnych. W drewnie długie włókna celulozy, splecione z krótszymi włóknami hemicelulozy (polisacharydu złożonego z reszt glukozy i innych cukrów, np. ksylozy, arabinozy, mannozy), są zanurzone w bezpostaciowej matrycy **ligniny** (produktu polimeryzacji alkoholu koniferylowego i jego pochodnych; rys. 1.7.). Unieruchomienie sieci mocnych włókien w polimerycznej matrycy nadaje drewnu twardość oraz wysoką wytrzymałość mechaniczną.



Rys. 1.7. Budowa chemiczna ligniny. a) Struktura monomerów, z których składa się polimer ligniny: $R_1, R_2 = \text{H}$ lub OCH_3 . b) Przykład nieuporządkowanej struktury fragmentu bezpostaciowego polimeru ligniny.

Produkcja papieru polega przede wszystkim na usunięciu ligniny z drewna rozdrobnionego mechanicznie na miazgę. Do tego celu stosuje się reagenty, które powodują degradację ligniny i przekształcają ją w produkty rozpuszczalne w wodzie, na przykład w wodny roztwór wodorosiarczanu(IV) wapnia $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ (metoda siarczynowa) lub wodorotlenku sodu NaOH i siarczku sodu Na_2S (metoda *Kraft*, z niem. mocny, silny). Włókna celulozy oddziela się od roztworu, poddaje procesowi bielenia oraz miesza z różnymi dodatkami: klejem, środkami poprawiającymi biel (np. tlenek tytanu(IV) TiO_2) itp. Powstałą masę formuje się we wstęgę lub arkusze i suszy. ◀ produkcja papieru

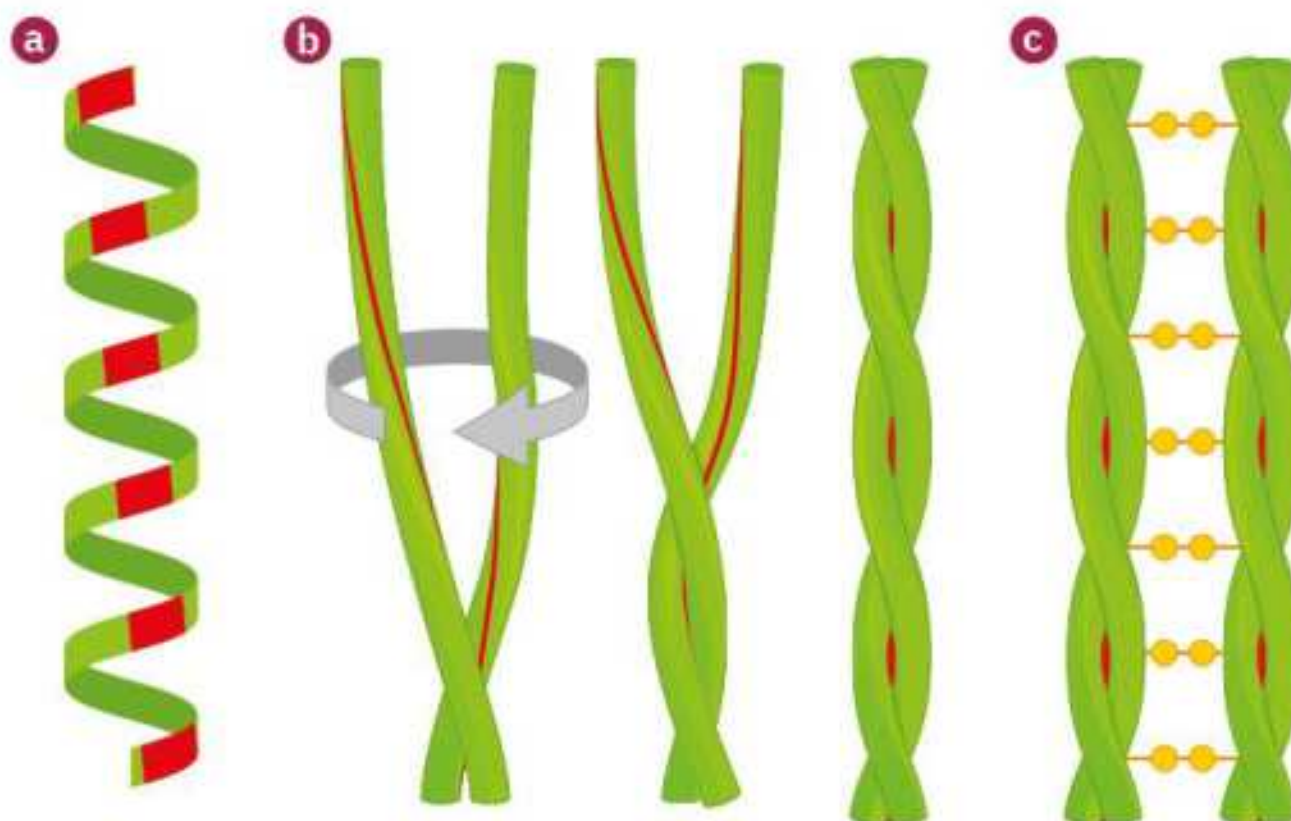
Współczesne **zużycie papieru** jest bardzo wysokie. Przede wszystkim wykorzystuje się go jako nośnik informacji (papier drukarski) oraz jako materiał do wytwarzania opakowań. Papier poddaje się recyklingowi ze względu na ochronę zasobów naturalnych (chronienie lasów przed wyrębem) oraz wymogi ochrony środowiska (zapobieganie zaśmiecaniu środowiska). Zużyty papier rozdrabnia się mechanicznie, płucze w celu usunięcia nadmiaru farby drukarskiej i dodaje do świeżej masy papierowej uzyskanej z drewna przed etapem bielenia miazgi. Na przykład: papier gazetowy zawiera około 60% celulozy pochodzącej z recyklingu, a opakowania kartonowe są wytwarzane właściwie wyłącznie z surowca wtórnego. **Papier z recyklingu** ma jednak gorsze właściwości użytkowe: zazwyczaj jest zabarwiony na szaro (od resztek farby drukarskiej) oraz wykazuje niższą wytrzymałość na rozerwanie (włókna celulozy skracają się w wyniku powtórnego przetwarzania). ◀ zużycie papieru

1.3. Włókna białkowe

Włókna pochodzenia zwierzęcego są zbudowane z białek. Do tej grupy włókien należy **welna**. Welnę uzyskuje się z długowłosej sierści zwierząt, przede wszystkim owiec (również kóz, wielbłądów, lam itp.). Po ostrzyżeniu owiec surową welnę się pierze, aby usunąć z niej substancje tłuszczowe wydzielane przez gruczoły skórne. Oddzielona frakcja tłuszczowa stanowi cenny surowiec dla przemysłu kosmetycznego. Oczyszczoną welnę następnie przedzie się w nici welniane. ◀ welna

Głównym składnikiem ludzkich włosów i paznokci oraz zwierzęcych włosów, pazurów, rogów i kopyt jest białko **keratyna**. Łańcuchy polipeptydowe cząsteczek keratyny zawierają stosunkowo znaczny udział reszt cysteiny oraz reszt aminokwasów hydrofobowych, na przykład: fenyloalaniny, waliny, leucyny itp. Cząsteczka jest skręcona w lewostronną helisę alfa w taki sposób, że reszty aminokwasów hydrofobowych znajdują się blisko siebie po jednej stronie spirali. Dwie tak uformowane cząsteczki skręcają się razem w podwójną spiralę (superhelisę) dzięki oddziaływaniom między resztami hydrofobowymi odpowiednio zorientowanymi względem siebie (oddziaływania hydrofobowe). Ułożone rów- ◀ keratyna

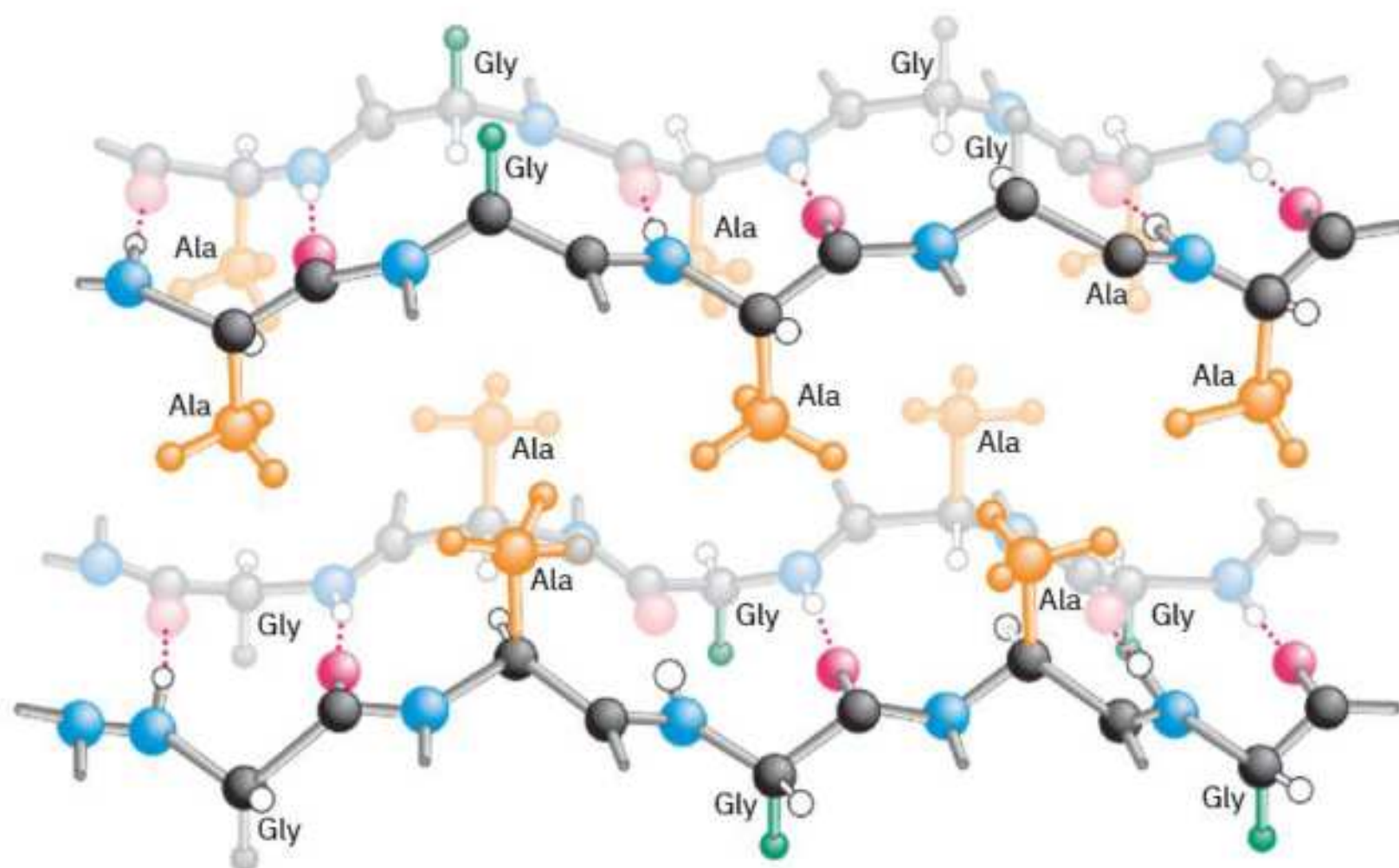
noległe względem siebie podwójne spirale łączą się ze sobą poprzecznie mostkami disiarczkowymi. Dzięki takiej strukturze mikrowłókna keratyny są bardzo mocne i wytrzymałe.



Rys. 1.8. Struktura keratyny.

- a) Lewoskrętna helisa alfa łańcucha polipeptydowego; na czerwono zaznaczono części spirali, w których znajdują się reszty aminokwasów hydrofobowych.
 b) Zwijanie się dwóch łańcuchów polipeptydowych w prawoskrętną podwójną spiralę wskutek oddziaływań między hydrofobowymi resztami aminokwasów.
 c) Podwójne spirale łączą się dodatkowo poprzecznymi mostkami disiarczkowymi utworzonymi przez reszty cysteiny.

- jedwab** ▶ Innym popularnym włóknem pochodzenia zwierzęcego jest **jedwab**. Surowcem do produkcji jedwabiu są kokony, którymi są otoczone larwy motyla jedwabnika morwowego (*Bombyx mori*) przed przepoczwarceniem. Kokon powstaje z cienkich, ale bardzo długich nitek, mających nawet ponad 1 km długości. Strukturalny rdzeń nitki jest zbudowany z **fibroiny** – białka o włóknistej strukturze, bogatego w aminokwasy glicynę, alaninę i serynę. W łańcuchu fibroiny reszty aminokwasów tworzą sekwencję –Gly-Ala-Gly-Ala-Gly-Ser, w której dwie reszty glicyny są rozdzielone resztą alaniny lub seryny. Ułożone antyrównoległe łańcuchy łączą się ze sobą w strukturę harmonijki beta za pomocą wiązań wodorowych i tworzą pofalowane płaszczyzny. Te z kolei mogą się zbliżyć do siebie (rys. 1.9.), na co pozwala niewielki rozmiar grupy bocznej reszt glicyny (atom wodoru). Dzięki temu możliwe jest silne przyciąganie między płaszczyznami, przez co włókna fibroiny uzyskują wyjątkową wytrzymałość mechaniczną. W nici jedwabnej włókna fibroiny są sklejone razem za pomocą serycyny – białka zawierającego ponad 30% reszt aminokwasu seryny.



Rys. 1.9. Fragment struktury fibroiny przedstawiający dwie połańdowane struktury harmonijki beta ułożone równolegle w taki sposób, że większe grupy boczne reszt alaniny (grupa CH_3) jednej ze struktur znajdują się naprzeciw mniejszych grup bocznych reszt glicyny (atom H) drugiej struktury, co pozwala na ciasne upakowanie połańdowanych płaszczyzn.

Doświadczenie 2. Badanie właściwości włókien zwierzęcych

Odczynniki: próbki włóczki wełnianej (najlepiej białej), tkaniny wełnianej, tkaniny jedwabnej, stężony kwas azotowy(V) HNO_3

Sprzęt laboratoryjny: palnik laboratoryjny lub zapalniczka gazowa, tacka aluminiowa, szkiełka zegarkowe (lub szalki Petriego), pęseta

Opis:

Przeprowadź badanie palności próbek podobnie jak w doświadczeniu 1. Zwróć szczególną uwagę na pojawiający się zapach. Na szkiełkach zegarkowych umieść niewielkie fragmenty tkanin i kawałek włóczki. Za pomocą pipety Pasteura nanieś na próbki nieco wody i obserwuj, jak szybko wsiąka. Powtórz eksperyment, ale użyj stężonego kwasu azotowego(V) (ostrożnie, substancja żrąca!). Zbadaj zmiany zachodzące w próbkach.

Uwaga! Doświadczenie wykonuj pod wyciągiem albo w dobrze wietrzonym miejscu.



- Włókna białkowe się palą, a wydzielający się intensywny zapach jest nieprzyjemny – przypomina woń przypalonego mleka. Pozostałość po spaleniu jest krusza, łatwa do rozdrobnienia. Wełna i jedwab dobrze wchłaniają wilgoć w wyniku tworzenia wiązań wodorowych między cząsteczkami białek a cząsteczkami wody. Działanie stężonego kwasu azotowego(V) na włókna powoduje zajście **reakcji ksantoproteinowej**, co objawia się żółknięciem próbek.

Pojedyncze włókna wełniane są bardzo cienkie, dzięki czemu wełna ma doskonałe właściwości izolacyjne – powietrze unieruchomione między włóknami sprawia, że przepływ ciepła jest utrudniony. Dlatego wełnę powszechnie wykorzystuje się do wytwarzania ciepłej odzieży, na przykład: swetrów, czapek, szalików. Z drugiej strony, cienkie włókna wełniane szczególnie łatwo ulegają spilśnieniu (sfilcowaniu), czyli zbiciu w matę splątanych włókien. Spilśnianiu sprzyja wilgoć, podwyższona temperatura oraz mechaniczne ugniatanie – z tego względu wyroby wełniane źle znoszą pranie w roztworach wodnych i wymagają raczej czyszczenia chemicznego (w rozpuszczalnikach organicznych). Niekiedy spilśnianie wełny prowadzi się celowo, aby wytworzyć sukno (materiał na ciepłą odzież wierzchnią, np. płaszcze), koce czy też filc, który ma wiele zastosowań technicznych.

Tkaniny jedwabne charakteryzują się wysokim połyskiem dzięki odbijaniu światła pod różnymi kątami przez płaskie powierzchnie mikrowłókien. Są wytrzymałe, ale mało elastyczne, a także miękkie i gładkie, ale nie śliskie.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Napisz w zeszycie wzór półstrukturalny reszty glukozy w cząsteczce celulozy. Określ, ile wiązań wodorowych z cząsteczkami wody mogą utworzyć grupy funkcyjne znajdujące się w tej reszcie (załóż, że jedna grupa funkcyjna wiąże jedną cząsteczkę wody). Narysuj te wiązania.
2. Oblicz, ile gramów wody może wchłonąć koszulka bawełniana o masie 250 g. Przyjmij, że woda wiąże się z celulozą wyłącznie za pomocą wiązań wodorowych w sposób, który określiłaś/określiłeś w zadaniu 1., i że bawełna składa się z czystej celulozy.
3. Mokry papier łatwiej się rwie niż papier suchy. Wyjaśnij to zachowanie na podstawie budowy wewnętrznej papieru. Wskazówka: rozważ wiązania wodorowe tworzone przez cząsteczki celulozy.
4. Wskaż podobieństwa i różnice w budowie i właściwościach włókien celulozowych (bawełna) i białkowych (wełna).
5. Rozważ strukturę chemiczną cząsteczek wchodzących w skład włókien białkowych i zdecyduj, czy włókna te mogą ulegać destrukcji pod wpływem działania kwasów lub zasad. Odpowiedź uzasadnij.

6. Wyjaśnij, dlaczego włókna wełniane i jedwabne cechują się wysoką wytrzymałością mechaniczną.
7. Oblicz, ile procent węgla, wodoru, tlenu i azotu zawiera fibroina. Przyjmij, że polipeptydowe łańcuchy tego białka składają się z wielokrotnie powtórzonej sekwencji GlyAlaGlyAlaGlySer.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Głównym składnikiem włókien pochodzenia roślinnego – bawełnianych, lnianych, konopnych i innych – jest celuloza. Włókna celulozowe są wytrzymałe mechanicznie, dobrze wchłaniają wodę, są odporne na pranie w podwyższonej temperaturze w alkalicznych roztworach wodnych detergentów. Są także palne. ◀ s. 62
- Papier otrzymuje się wskutek sprasowania ze sobą włókien celulozy uzyskanej z drewna oraz z powtórnej przeróbki zużytego papieru. ◀ s. 64
- Włókna naturalne pochodzenia zwierzęcego są zbudowane z cząsteczek białek. W skład wełny wchodzi głównie keratyna – białko, o długich cząsteczkach polipeptydowych, które wiążą się ze sobą poprzecznie wiązaniami hydrofobowymi i disiarczkowymi. Nici jedwabne zawdzięczają swoją wytrzymałość mechaniczną białku fibroinie, która tworzy pofalowane struktury harmonijki beta ułożone równolegle względem siebie. ◀ s. 65, 66
- Włókna białkowe są higroskopijne i palne. Podczas palenia się tych włókien wydziela się nieprzyjemny zapach przypalanego mleka. Włókna białkowe można rozpoznać za pomocą reakcji ksantoproteinowej. ◀ s. 68

2. Włókna sztuczne i syntetyczne

NA TEJ LEKCJI:

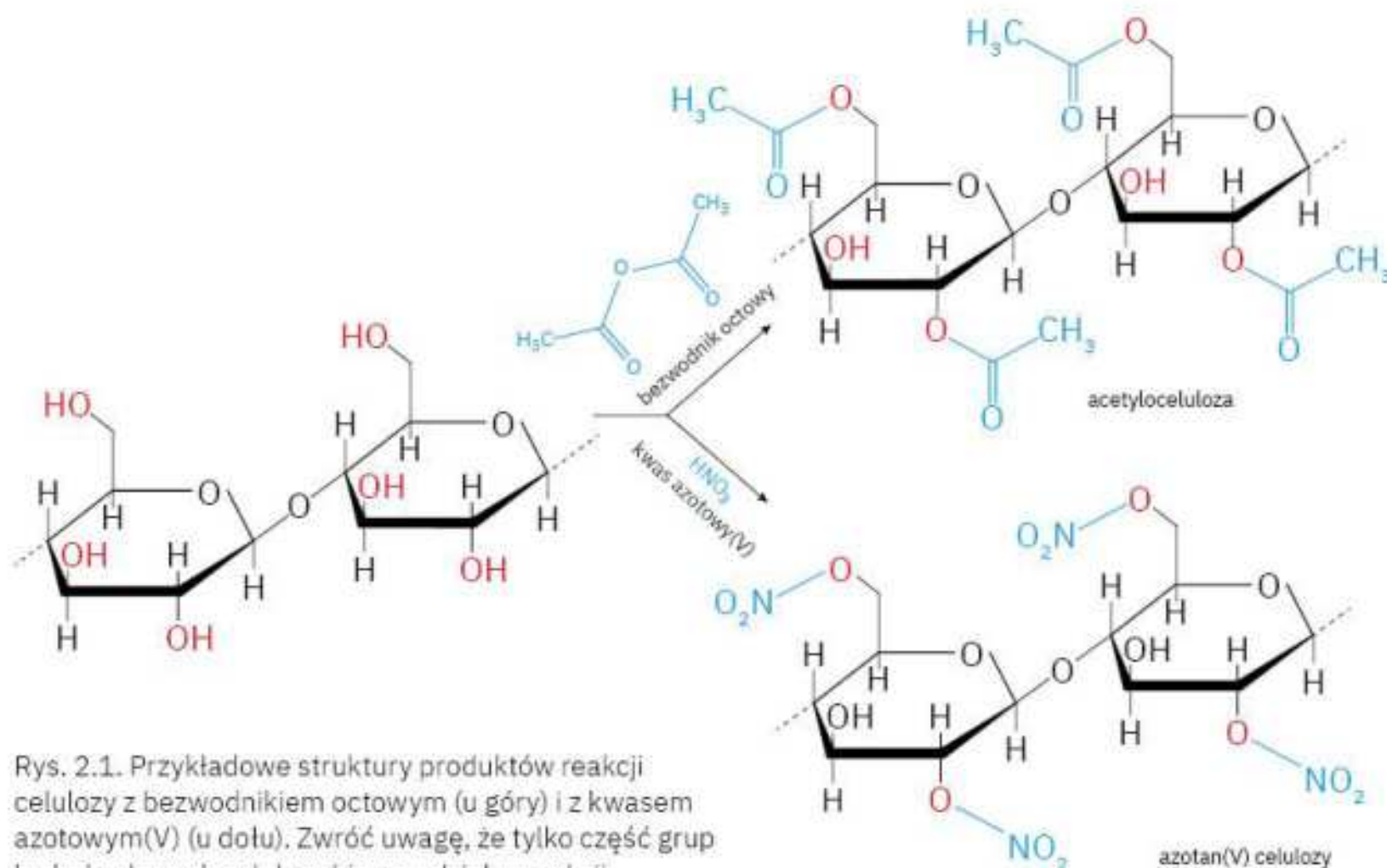
- poznasz definiując włókien sztucznych;
- zapoznasz się z procesem wytwarzania wiskozy;
- dowiesz się, jakie polimery są wykorzystywane do wytwarzania włókien syntetycznych;
- odkryjesz właściwości charakteryzujące włókna syntetyczne;
- przeanalizujesz, w jaki sposób chemiczna struktura cząsteczek polimeru wpływa na właściwości powstających z nich włókien;
- poznasz najważniejsze zastosowania włókien sztucznych i syntetycznych.

Współcześnie, obok włókien naturalnych, do wytwarzania tkanin stosuje się również włókna sztuczne i włókna syntetyczne. Włókna sztuczne powstają w wyniku chemicznej modyfikacji materiałów występujących we włóknach naturalnych (głównie celulozy). Włókna syntetyczne wytwarza się z polimerów otrzymywanych w wyniku syntezy chemicznej z prostych związków organicznych.

2.1. Włókna sztuczne

Grupy hydroksylowe $-OH$ znajdujące się w cząsteczce celulozy mogą wchodzić w reakcje typowe dla alkoholi. Na przykład: reakcja celulozy z bezwodnikiem octowym $(CH_3CO)_2O$ (lub kwasem octowym CH_3COOH) prowadzi do powstania acetylocelulozy (octanu celulozy), w której część grup hydroksylowych została zastąpiona grupami O-acetyłowymi (rys. 2.1.).

Ten polimer dość dobrze rozpuszcza się w rozpuszczalnikach organicznych, na przykład w propanonie $(CH_3)_2CO$ (acetonie). Otrzymane roztwory są lepkie. Jeżeli taki roztwór przetłoczy się przez niewielkie otwory dyszy przędzalniczej (rys. 2.3.a), powstają cienkie włókna, z których lotny rozpuszczalnik szybko odparowuje w podwyższonej temperaturze. W ten sposób wytwarza się tak zwany jedwab octanowy. Wytłaczanie roztworu przez wąską szczelinę prowadzi do uzyskania taśmy z acetylocelulozy, która w latach 1914–1980 była powszechnie stosowana jako podłoże filmu do negatywów fotograficznych oraz jako taśma filmowa. Taśma z acetylocelulozy zastąpiła wcześniej stosowaną taśmę z azotanu celulozy (rys. 2.1.), nazywanego niepoprawnie nitrocelulozą. Azotan(V) celulozy jest niezwykle łatwopalny i spala się błyskawicznie jasnym płomieniem. Z tego względu miejsca składowania taśm filmowych stanowiły kiedyś ogromne zagrożenie pożarowe. Współcześnie azotan(V) celulozy wykorzystuje się w materiałach wybuchowych jako tak zwaną bawełnę strzelniczą oraz jako składnik lakieru do paznokci, tworzący gładką powłokę na powierzchni paznokcia po odparowaniu rozpuszczalnika.



Najważniejszym włóknem otrzymywanym na dużą skalę w wyniku chemicznej modyfikacji celulozy jest **wiskoza**. Początkowo do jej wytwarzania używano tak zwanego odczynnika Schweizera, czyli amoniakalnego roztworu wodorotlenku miedzi(II), zawierającego jony kompleksowe $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})_2]^{2+}$. W środowisku zasadowym jon miedzi(II) tworzy wiązania koordynacyjne z grupami hydroksylowymi celulozy, co powoduje powstanie produktu rozpuszczalnego w wodzie.

Doświadczenie 1. Otrzymywanie wiskozy metodą Schweizera

Odczynniki: pentahydrat siarczanu(VI) miedzi(II) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, wodorotlenek sodu NaOH , stężony roztwór wodny amoniaku NH_3 (29%), roztwór wodny kwasu siarkowego(VI) H_2SO_4 o stężeniu 10%, wata bawełniana

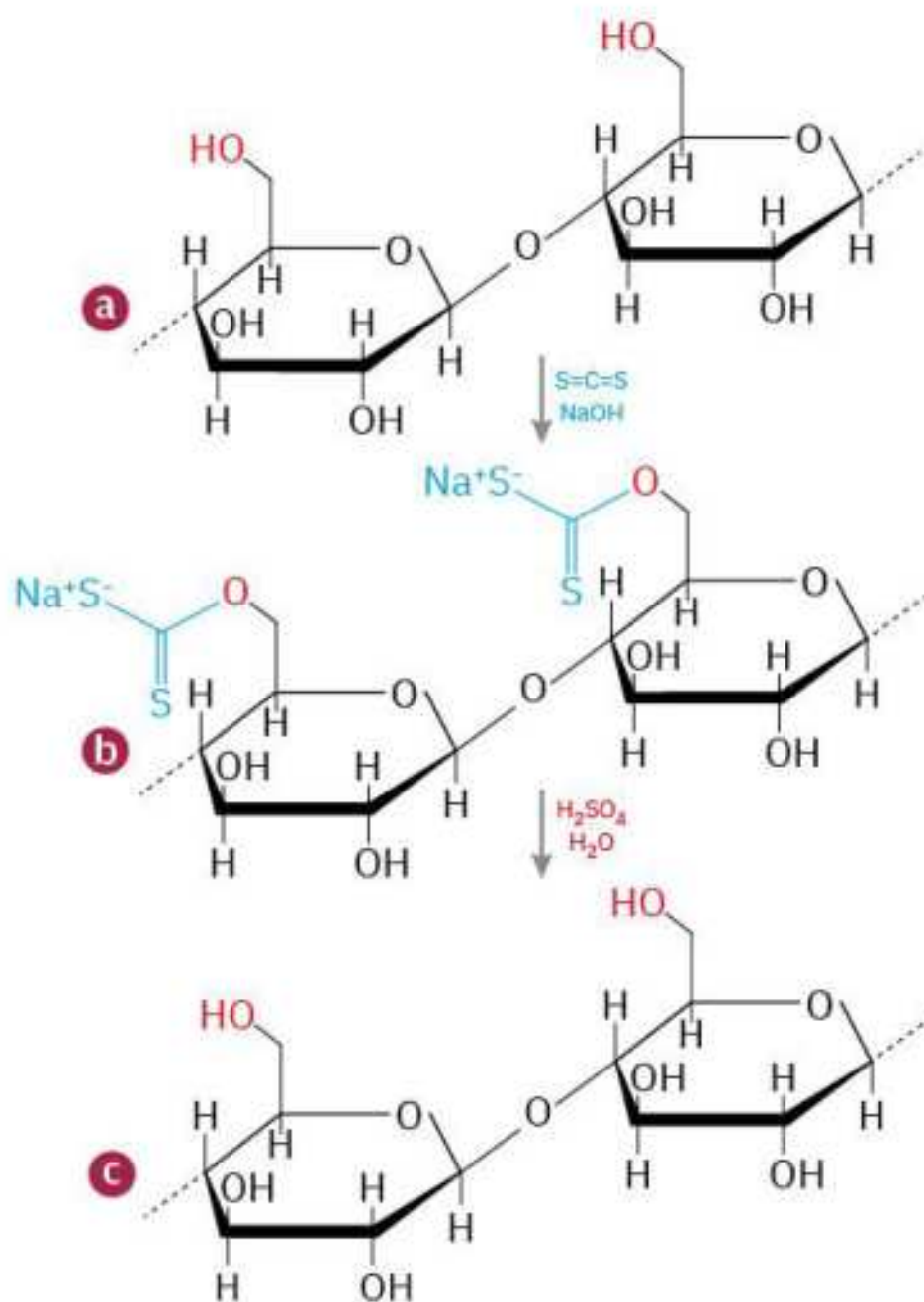
Sprzęt laboratoryjny: dwie zlewki o pojemności 500 cm^3 , zlewka o pojemności $25\text{--}50\text{ cm}^3$, bagietka szklana, pipeta Pasteura

Opis:

Uwaga! Odczynniki stosowane w tym doświadczeniu: amoniak, wodorotlenek sodu i kwas siarkowy(VI), należą do grupy substancji niebezpiecznych. Doświadczenie należy wykonywać pod wyciągiem i zachować w jego czasie wszelkie środki ostrożności (ubiór ochronny, okulary ochronne, rękawice). W jednej z dużych zlewek przygotuj roztwór: rozpuść $2,5\text{ g}$ pentahydratu siarczanu(VI) miedzi(II) w 250 cm^3 wody. Następnie w małej zlewce rozpuść $0,8\text{ g}$ wodorotlenku sodu w $5\text{--}8\text{ cm}^3$ wody (**Uwaga!** Rozpuszczaniu wodorotlenku sodu towarzyszy wydzielanie się ciepła; roztwór może się zrobić gorący.). Po ochłodzeniu roztworu wodorotlenku sodu dodaj go do zlewki z roz-

tworem siarczanu(VI) miedzi(II) i wymieszaj zawartość bagietką. Pozostaw mieszaninę w spokoju, aby wydzielony niebieski osad opadł na dno. Zdekantuj płyn znad osadu. Do zlewki wlej 100 cm³ wody, zamieszaj bagietką i odczekaj, aż osad opadnie. Ponownie zdekantuj płyn znad osadu. Następnie do osadu dodaj porcjami 200 cm³ stężonego roztworu amoniaku. Zawartość zlewki cały czas mieszaj. Nie przerywaj mieszania i dodaj do szafirowo-niebieskiego roztworu około 1 g waty małymi kłębkami. Za każdym razem czekaj, aż dodana porcja się rozpuści. Nabierz porcję uzyskanego lepkiego roztworu pipetą Pasteura, zanurz koniec pipety w zlewce zawierającej 100–150 cm³ kwasu siarkowego(VI) o stężeniu 10% i powoli wyciskaj roztwór do kwasu, wykonując końcówką pipety okrężne ruchy.

Celuloza stopniowo rozpuszcza się w odczynniku Schweizera – tworzy się lepki roztwór. Gdy wprowadzimy go do kwasu, związek kompleksowy celulozy z jonami miedzi(II) ulegnie rozkładowi, a celuloza wydzieli się ponownie w postaci **wiskoza** ▶ nierozpuszczalnej nici, którą nazywamy **wiskozą**. Ze względu na toksyczność

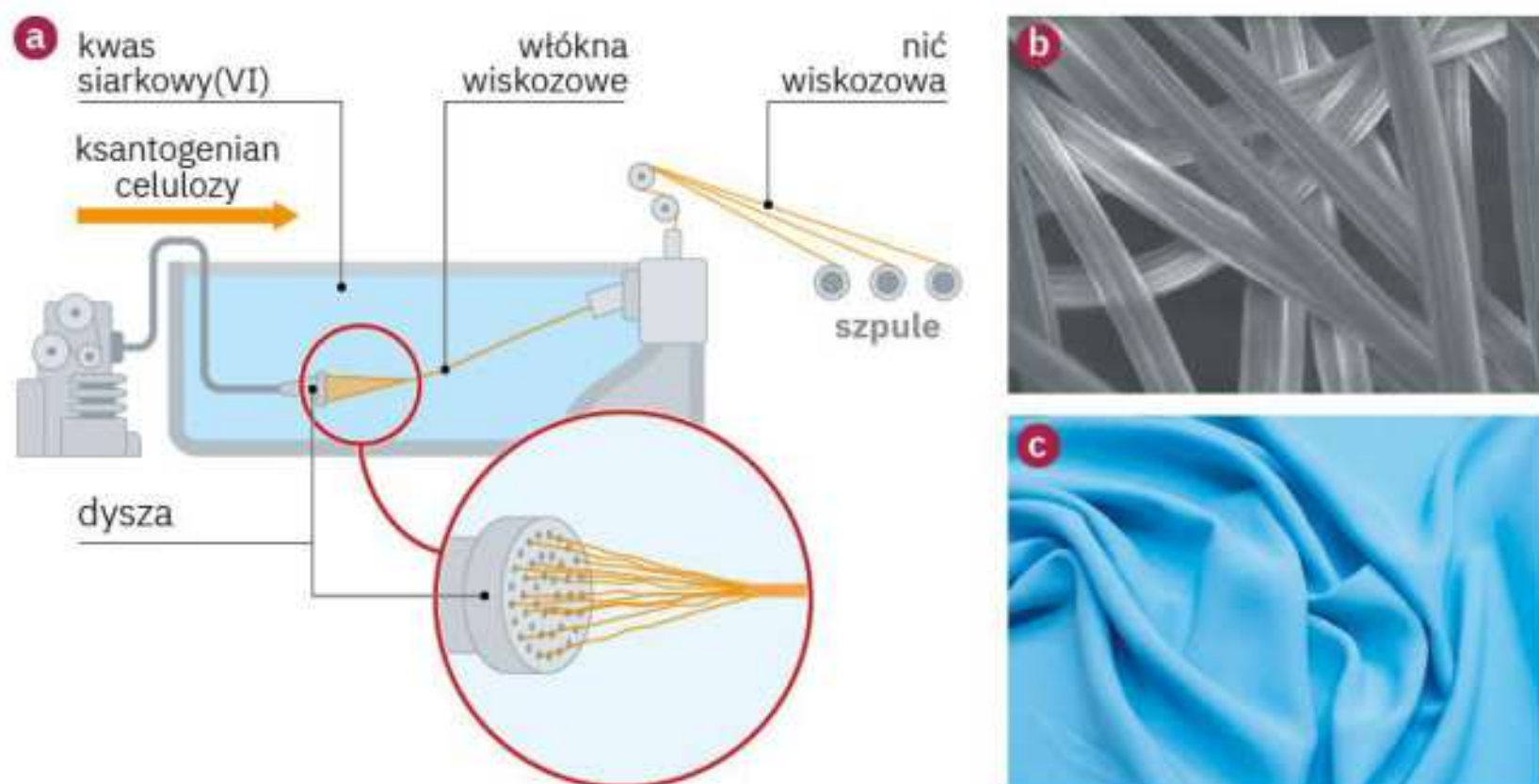


Rys. 2.2. Schemat reakcji zachodzących podczas produkcji wiskozy. a) Celuloza surowa. b) Ksantogonian celulozy. c) Celuloza w formie wiskozy.

solí miedzi i ich negatywny wpływ na środowisko obecnie wiskożę wytwarza się w inny sposób. Sproszkowaną celulozę (uzyskaną np. z miazgi drzewnej) rozpuszcza się w mieszaninie ciekłego siarczku węgla(IV) CS₂ i roztworu wodorotlenku sodu NaOH. W tych warunkach zachodzi reakcja chemiczna, w której powstaje ksantogonian celulozy – związek chemiczny o charakterze soli, dobrze rozpuszczający się w wodzie (rys. 2.2.).

Lepki roztwór ksantogonianu przetłacza się następnie przez niewielkie otworki w dyszy przedziałniczej do kadzi wypełnionej roztworem rozcieńczonego kwasu, na przykład kwasu siarkowego(VI) H₂SO₄ (rys. 2.3.a). W wyniku reakcji z kwasem ksantogonian przekształca się z powrotem w celulozę. Uformowane w ten sposób włókno wiskozowe ma identyczny skład chemiczny jak włókno bawełniane, jednak ze względu na proces produkcji ma gładką powierzchnię, odbijającą promienie świetlne (rys. 2.3.b, c).

Z tego względu zarówno nici wiskozowe, jak i tkaniny z nich otrzymane charakteryzują się wysokim połyskiem, dlatego wiskoza bywa nazywana sztucznym jedwabiem. Cienkie włókna wiskozowe można również ciąć na krótsze fragmenty i splatać je ze sobą, dzięki czemu otrzymuje się nici o właściwościach bardzo podobnych do nici z naturalnej bawełny. W ten sposób otrzymuje się włókno bambusowe, do wyrobu którego wykorzystuje się celulozę zawartą w łodygach bambusa. Tkaniny wytworzone z tego włókna są miękkie i dobrze chłoną wilgoć. Jeżeli roztwór ksantogenu celulozy zostanie wytłoczony przez wąską szczelinę, powstaje arkusz przeźroczystego tworzywa zwanego celofanem.



Rys. 2.3. a) Schemat wytwarzania nici wiskozowych. b) Mikrofotografia włókien wiskozowych. c) Tkanina wykonana z wiskozy (sztucznego jedwabiu).

2.2. Włókna syntetyczne – struktura chemiczna

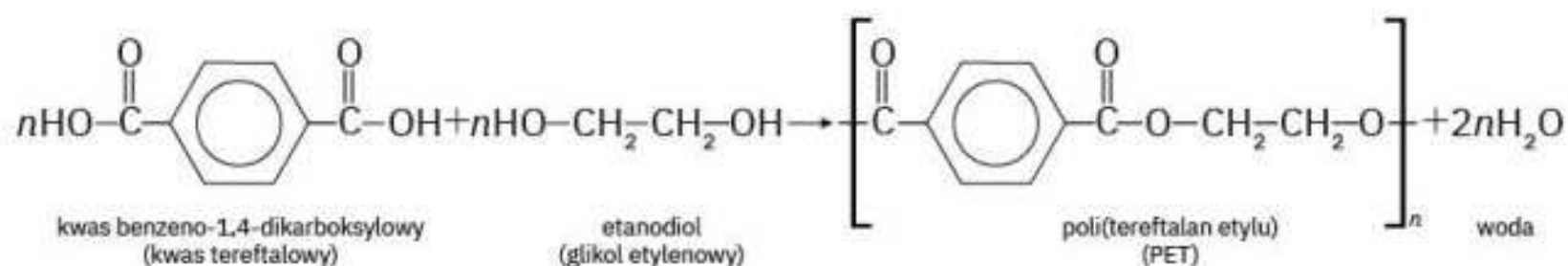
Poszukiwania włókien (i tkanin) o właściwościach lepszych niż właściwości włókien naturalnych doprowadziły do powstania całej gamy różnorodnych włókien syntetycznych. Otrzymuje się je z syntetycznych polimerów, przez ogrzanie ich powyżej temperatury topnienia i wytłoczenie powstałej lepkiej cieczy przez niewielkie otworki w dyszy przędzalniczej (rys. 2.3.a). Uformowane w ten sposób cienkie strużki szybko stygną i się zestalają. Włókna powstałe w ten sposób następnie splata się w nici. Tak można otrzymać włókna praktycznie z każdego polimeru o właściwościach termoplastycznych. Współcześnie największe znaczenie mają włókna poliestrowe, poliamidowe, akrylowe i poliolefinowe.

Najważniejszym polimerem służącym do otrzymywania **włókien poliestrowych** jest **poli(tereftalan etylenu)**, powszechnie znany pod akronimem (skrótowiec) **PET**. Powstaje on w wyniku reakcji etanodiolu (glikolu etylenowego) $(CH_2OH)_2$ z kwasem tereftalowym $(HOOC)_2$.

◀ włókna poliestrowe

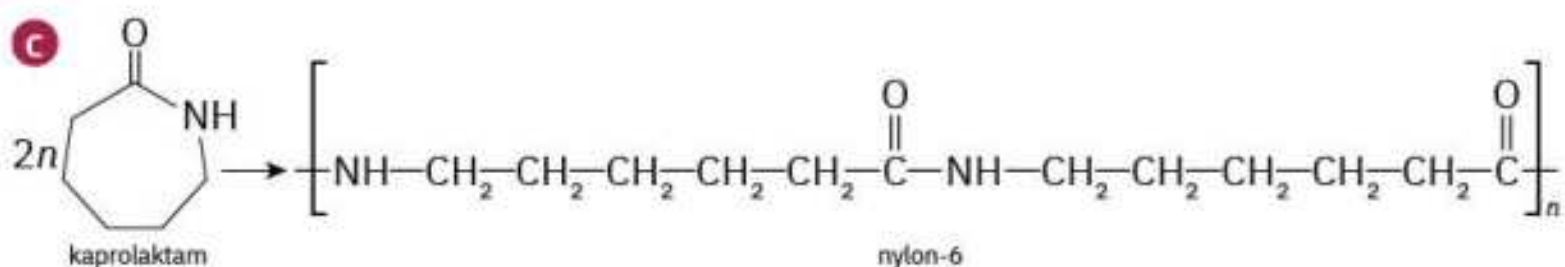
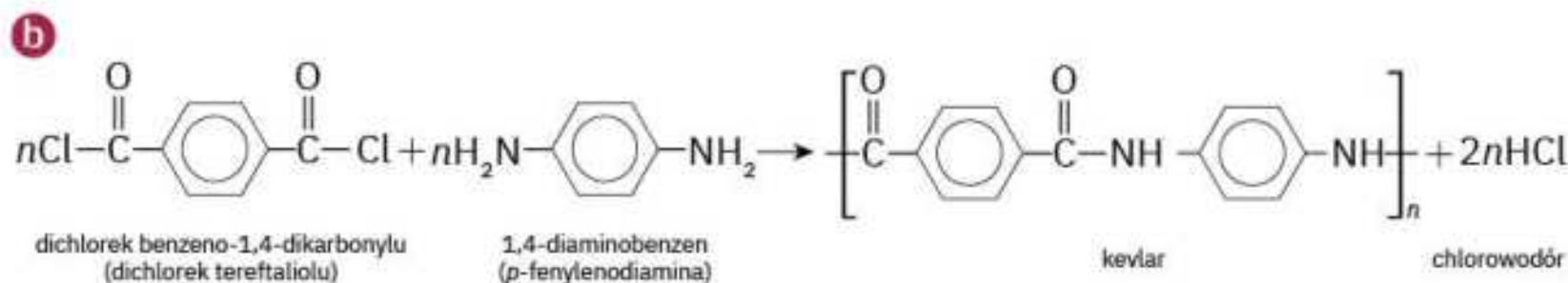
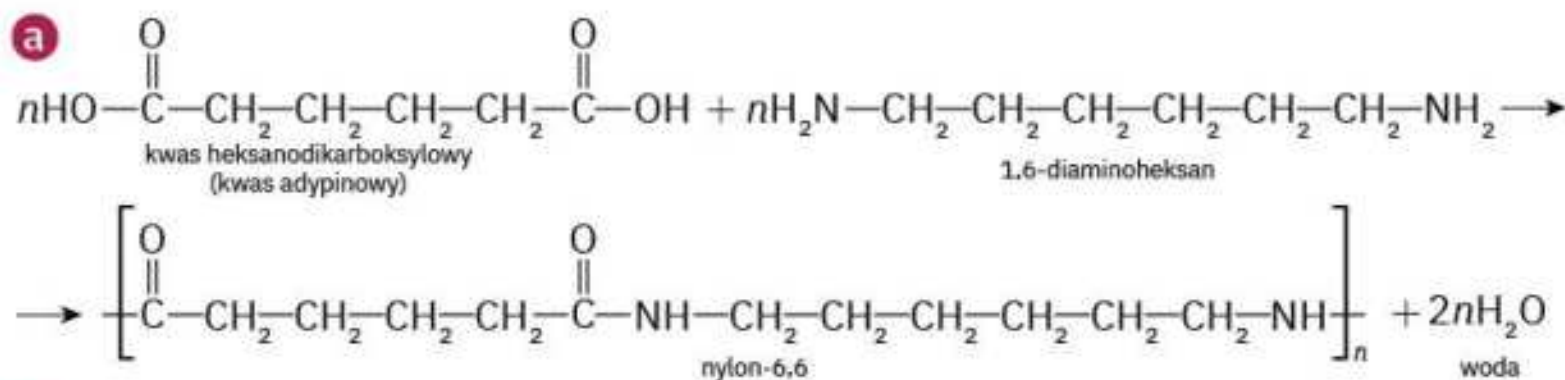
◀ PET

z kwasem benzeno-1,4-dikarboksylowym (tereftalowym) $C_6H_4(COOH)_2$ (rys. 2.4.). Cząsteczki kwasu i glikolu łączą się ze sobą wiązaniami estrowymi i tworzą długie, liniowe cząsteczki polimeru. W wyniku reakcji estryfikacji wydzielą się również woda, która stanowi uboczny produkt reakcji. Taki typ polimeryzacji, w której obok polimeru powstają niewielkie cząsteczki innych produktów, nazywamy reakcją polikondensacji. PET jest tworzywem termoplastycznym – w podwyższonej temperaturze mięknie i daje się formować. Wytwarza się z niego nie tylko włókna (i tkaniny) syntetyczne, lecz także butelki do napojów oraz folię.



Rys. 2.4. Równanie reakcji otrzymywania poliestru PET.

poliamidy ▶ **Poliamidy** zawierają wiązania amidowe w strukturze liniowych cząsteczek polimeru. Mogą powstawać w wyniku reakcji polikondensacji między kwasami zawierającymi dwie grupy karboksylowe (lub ich bardziej reaktywnymi pochodnymi) a aminami mającymi dwie pierwszorzędowe grupy aminowe w cząsteczce. Na przykład: poliamid **nylon-6,6** otrzymuje się w wyniku reakcji kwasu heksanodikarboksylowego (adypinowego) $C_6H_8(COOH)_2$ i 1,6-diaminoheksanu $C_6H_{12}(NH_2)_2$



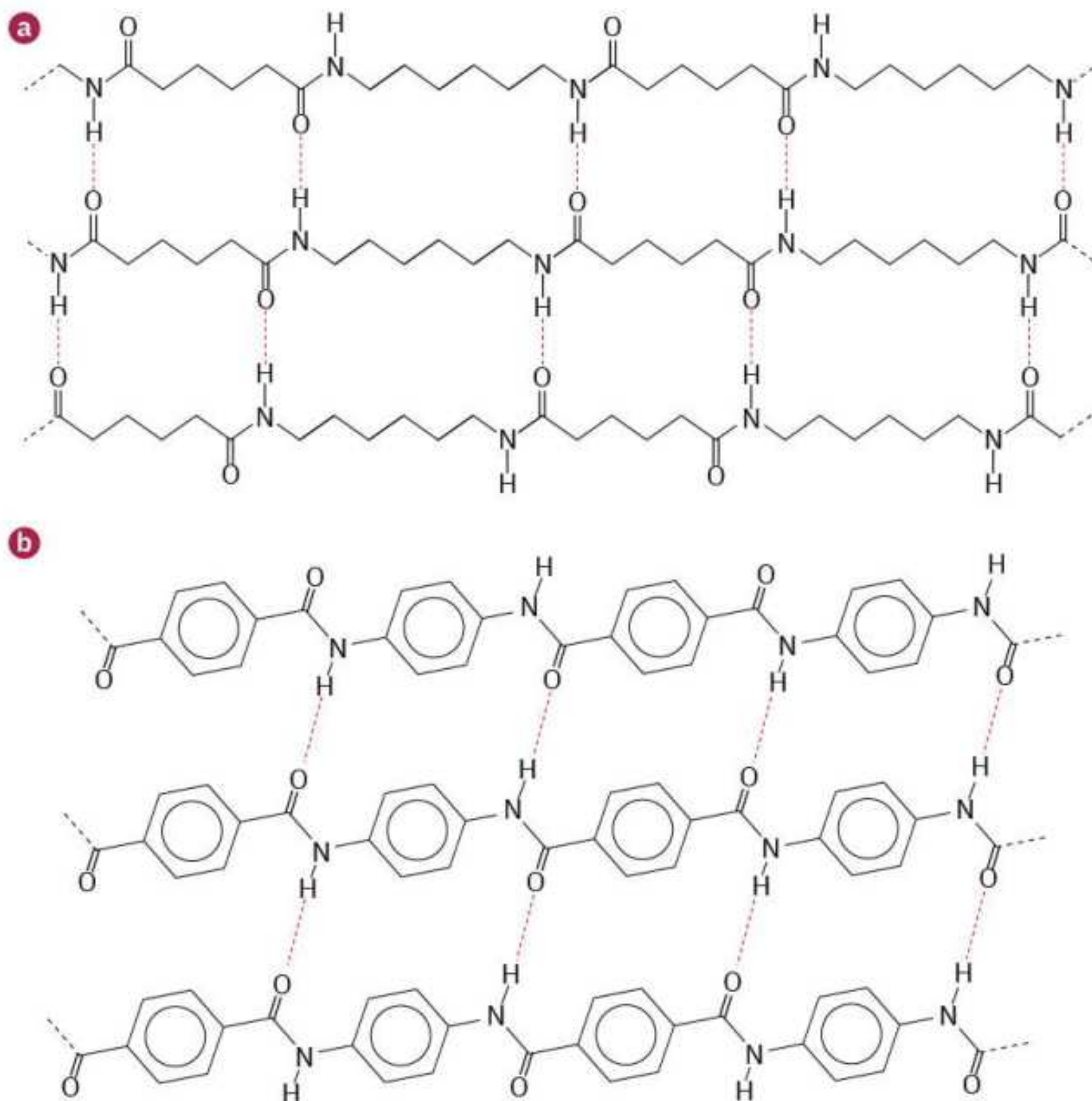
Rys. 2.5. Równania reakcji otrzymywania poliamidów: a) nylonu-6,6, b) kevlaru, c) nylonu-6.

(rys. 2.5.a), a **kevlar** – w reakcji dichlorku benzeno-1,4-dikarbonylu z 1,4-diamino-
benzenem (rys. 2.5.b). **Nylon-6** – inny ważny poliamid – powstaje w wyniku poli-
meryzacji kaprolaktamu – związku otrzymywanego przez cyklizację kwasu
6-aminoheksanowego $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$ (rys. 2.5.c). Ważnym etapem produkcji
jest rozciąganie na zimno uformowanych włókien poliamidowych. Prowadzi ono
do rozprostowania liniowych cząsteczek polimerów i ich równoległego ułożenia
względem siebie. To z kolei pozwala na utworzenie licznych, poprzecznych wiązań
wodorowych między cząsteczkami, dzięki czemu znacząco wzrasta wytrzymałość
mechaniczna włókien (rys. 2.6.).

◀ kevlar

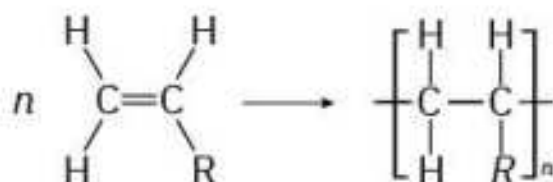
◀ nylon-6

◀ wiązania
wodorowe
w poliamidach



Rys. 2.6. Wiązania wodorowe między równoległe ułożonymi polimerycznymi cząsteczkami: a) nylonu-6,6, b) kevlaru.

włókna akrylowe ▶ **Włókna akrylowe** (rys. 2.7.a) otrzymuje się z tworzywa powstającego w wyniku polimeryzacji wolnorodnikowej propenonitrylu (akrylonitrylu) CH_2CHCN , często z niewielkim dodatkiem innych monomerów, na przykład octanu etenu (octanu winylu) $\text{CH}_3\text{COOCHCH}_2$ i propenianu metylu (metakrylanu metylu) $\text{CH}_2\text{CHCOOCH}_3$. Natomiast włókna poliolefinowe (rys. 2.7.b) formuje się z poli-
etenu (polietylenu) lub polipropenu (polipropylenu).



Rys. 2.7. Schemat reakcji otrzymywania polimerów wykorzystywanych we włóknach:
a) akrylowych ($R = \text{CN}$, $R = \text{OCOCH}_3$ i $R = \text{COOCH}_3$), b) poliolefinowych ($R = \text{H}$ polieten, inaczej polietylen, $R = \text{CH}_3$ polipropen, inaczej polipropylen).

2.3. Włókna syntetyczne – właściwości i zastosowanie

Doświadczenie 2. Badanie właściwości włókien syntetycznych

Odczynniki: próbki tkaniny nylonowej (np. rajstop), poliestrowej i włóczki akrylowej

Sprzęt laboratoryjny: palnik laboratoryjny lub zapalniczka gazowa, tacka aluminiowa, szkiełka zegarkowe (lub szalki Petriego), pęseta

Opis:

Przeprowadź badanie palności próbek. Wprowadź je za pomocą pęsety do płomienia palnika (zapalniczki). Ostrożnie zbadaj wydzielający się zapach. Umieść pozostałości po spaleniu na szkiełkach zegarkowych i po ostygnięciu zbadaj ich konsystencję – w tym celu spróbuj je pokruszyć.

Uwaga! Doświadczenie wykonuj pod wyciągiem albo w dobrze wietrzoną miejscu.

Na szkiełkach zegarkowych umieść niewielkie fragmenty tkanin i kawałek włóczki. Za pomocą pipety Pasteura nanieś na obie próbki nieco wody i obserwuj, czy wchłaniają wodę.

właściwości
włókien
syntetycznych

▶ **Włókna syntetyczne** są palne. Spalaniu towarzyszy wydzielanie nieprzyjemnego zapachu palonego plastiku oraz wyraźne topnienie materiału włókien. Ostudzona pozostałość po spalaniu ma formę ciała stałego, które jest szkliste, twarde i trudne do rozdrobnienia. Częsteczki wchodzące w skład włókien syntetycznych są zbudowane głównie z niepolarnych fragmentów węglowodorowych, zatem te włókna mają charakter hydrofobowy i słabo wchłaniają wilgoć (wodę). Natomiast są mocne, odporne na gnecenie, szybko wysychają, dobrze chronią przed wiatrem (są mało przewiewne), co czyni z nich doskonały materiał na odzież wierzchnią i sportową. Włókna poliestrowe dają się formować

na wiele różnych sposobów. Można z nich otrzymywać tkaniny przypominające fakturą tkaniny bawełniane, wełniane lub jedwabne. Często używa się ich w tkaninach o charakterze mieszanym, na przykład bawełna z poliestrem lub wełna z poliestrem. Z grubszych włókien poliestrowych wykonuje się bardzo mocne i odporne na ścieranie materiały, takie jak wykładziny dywanowe lub tkaniny na żagle (dakron). Z kolei tkaniny wykonane z bardzo cienkich włókien tego polimeru cechują się doskonałymi właściwościami termoizolacyjnymi, nie- rzadko nabierają one zdolności do mechanicznego wchłaniania wody na skutek działania sił kapilarnych. Przykładami takich materiałów są polar, czyli tka- nina ze spilśnionych (sfilcowanych) włókien poliestrowych, doskonała na cie- płą odzież, Thinsulate™, składający się z ultracienkich włókie- nek, pierwotnie zaprojektowany jako materiał izolacyjny do skafandrów kosmicznych, czy też CoolMax®, którego mikroskopijne włókna są pokryte biegnącymi wzdłużnie rowkami, dzięki którym tkanina wykonana z tego materiału znakomicie chł- nie wodę w wyniku działania sił kapilarnych. Włókna sztuczne słabo adsorbu- ją brud i są odporne na środki piorące, zatem tkaniny z nich wykonane łatwo utrzymać w czystości. Tkaniny te również szybko wysychają, gdyż cząsteczki wody słabo oddziałują z materiałem włókien.

zastosowanie
włókien
poliestrowych



Rys. 2.8. Wyroby z PET: a) butelka na napoje, b) ciepła bluza z polaru, c) żagle z dakronu, d) wykładzina dywa- nowa.

W przemyśle odzieżowym **nylon** wykorzystuje się do wytwarzania rajstop i pończoch. Zdecydowały o tym wysoka wytrzymałość cienkich nici nylonowych oraz ich charakterystyczny połysk – powierzchnia włókien jest gładka i odbija światło. Z nylonu wykonuje się również odzież sportową, plecaki, torby podróżne, a nawet spadochrony. Kevlar to wyjątkowo mocny materiał – ma wy- trzymałość wyższą od stali, ale jest od niej ponad pięć razy lżejszy. Wykorzystuje się go do wyrobu produktów o wyjątkowo wysokiej odporności na rozerwanie, jak kamizelki kuloodporne, liny do cumowania statków i platform wiertniczych, osłony światłowodów itp.

zastosowanie
nylonu



Rys. 2.9. Wyroby z włókien poliamidowych: a) rajstopy z nylonu, b) mikrofotografia splotu nici z nylonu, c) spadochron z nylonu, d) kamizelka kuloodporna z kevlaru.

zastosowanie
włókien akrylowych

- **Włókna akrylowe** stosuje się głównie do wyrobu dzianin na maszynach dziewiarskich, a także do szydełkowania czy też robienia na drutach. Włóczka akrylowa wizualnie przypomina włóczkę wełnianą. Cechuje się jednak znacznie niższą zdolnością do zatrzymywania ciepła i gorszą chłonnością wilgoci. Jednak jest bardziej odporna na zużycie i łatwiejsza do utrzymania w czystości.

zastosowanie
włókien
poliolefinowych

- **Włókien poliolefinowych** (z polietenu i polipropenu) raczej nie używa się do produkcji tkanin. Ze względu na swoją wysoką odporność mechaniczną i chemiczną znalazły one różnorodne zastosowania techniczne. Na przykład są stosowane do zbrojenia betonu, wzmacniania opon samochodowych czy wytwarzania wykładzin dywanowych i obiciowych.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij, czym się różnią włókna naturalne, sztuczne i syntetyczne.
2. Odszukaj w dostępnych źródłach informacje na temat chemikaliów stosowanych do produkcji wiskozy: disiarczku węgla CS_2 i wodorotlenku sodu NaOH . Na tej podstawie określ zagrożenia dla zdrowia człowieka oraz środowiska naturalnego, które wiążą się z produkcją wiskozy.
3. Wytlumacz, dlaczego tkaniny bawełniane są zazwyczaj matowe, a tkaniny z wiskozy charakteryzują się wyraźnym połyskiem.
4. Na podstawie znajomości struktury cząsteczek poliestrów, poliamidów i polimerów akrylowych określ, czy włókna z tych materiałów powinny być odporne na działanie kwasów mineralnych. Odpowiedź uzasadnij – zapisz w zeszycie odpowiednie równania reakcji chemicznych.

5. Nazwa nylon-6 pochodzi od tego, że cząsteczka tego materiału jest złożona z powtarzających się fragmentów zawierających po 6 atomów węgla. Podobnie w nazwie nylonu-6,6 pierwsza szóstka oznacza liczbę atomów węgla w powtarzającym się fragmencie pochodzącym od diaminy, a druga – liczbę tych atomów we fragmencie pochodzącym od kwasu dikarboksylowego. Na podstawie tej informacji zaproponuj wzory szkieletowe cząsteczek:
 - a) nylonu-11,
 - b) nylonu-5,10.
6. Rozciąganie włókien na zimno sprzyja powstawaniu wiązań wodorowych między cząsteczkami nylonu-6,6 (rys. 2.6.). Zastanów się, czy podobne wiązania mogą powstać w przypadku nylonu-6. Odpowiedź przedstaw w formie graficznej w zeszycie – za pomocą wzorów szkieletowych.
7. Wyjaśnij, dlaczego włókna wykonane z kevlaru cechują się wyjątkowo wysoką wytrzymałością mechaniczną.
8. U szereguj włókna w kolejności wzrastającej zdolności do wchłaniania wilgoci:
 - a) włókno wiskozowe,
 - b) włókno lniane,
 - c) włókno akrylowe.
 Odpowiedź uzasadnij.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- **Włókna sztuczne** powstają wskutek chemicznej modyfikacji włókien naturalnych. Wiskoza jest włóknem sztucznym otrzymanym przez przekształcenie celulozy w lepki roztwór ksantogenianu, przeciśnięcie roztworu przez otwory dyszy przędzalniczej i odtworzenie celulozy w otrzymanych włóknach w wyniku reakcji z kwasem siarkowym(VI). ◀ s. 72
- **Włókna syntetyczne** otrzymuje się przez formowanie polimerów termoplastycznych z grupy poliestrów, poliamidów, polimerów akrylowych oraz poliolefin. Łańcuch cząsteczek polimerów akrylowych i poliolefin składa się wyłącznie z atomów węgla. Cząsteczki poliestrów zawierają również atomy tlenu w łańcuchu (wiązania estrowe), a cząsteczki poliamidów – atomy azotu (wiązania amidowe). ◀ s. 73, 74
- Cząsteczki poliamidów mogą oddziaływać ze sobą międzycząsteczkowymi wiązaniami wodorowymi, dzięki czemu wzrasta wytrzymałość mechaniczna włókien wykonanych z tych polimerów. ◀ s. 75
- **Włókna syntetyczne** są raczej hydrofobowe i słabo chłoną wilgoć. Są jednak bardzo mocne oraz odporne na zużycie i na działanie środków piorących. Ponadto są palne; w trakcie spalania topią się i wydzielają zapach palonego plastiku. ◀ s. 76

3. Środki czystości i kosmetyki

NA TEJ LEKCJI:

- dowiesz się, dlaczego środki stosowane do czyszczenia urządzeń sanitarnych oraz udrażniania rur są silnie alkaliczne;
- przekonasz się, w jaki sposób działają detergenty;
- odkryjesz różnorodną strukturę cząsteczek detergentów i nauczysz się je klasyfikować;
- poznasz najważniejsze składniki popularnych środków czystości;
- dowiesz się, jak usuwać niektóre zanieczyszczenia, takie jak osad kamienia czy ciemny nalot na srebrnej biżuterii;
- zapoznasz się z najważniejszymi składnikami płynów do kąpieli i szamponów oraz z ich funkcją;
- zrozumiesz, dlaczego w skład pasty do zębów zazwyczaj wchodzi związek fluorku;
- odkryjesz, jak wytwarza się stabilne emulsje kremów kosmetycznych i balsamów do ciała;
- poznasz podstawowy skład kosmetyków służących do upiększania skóry.

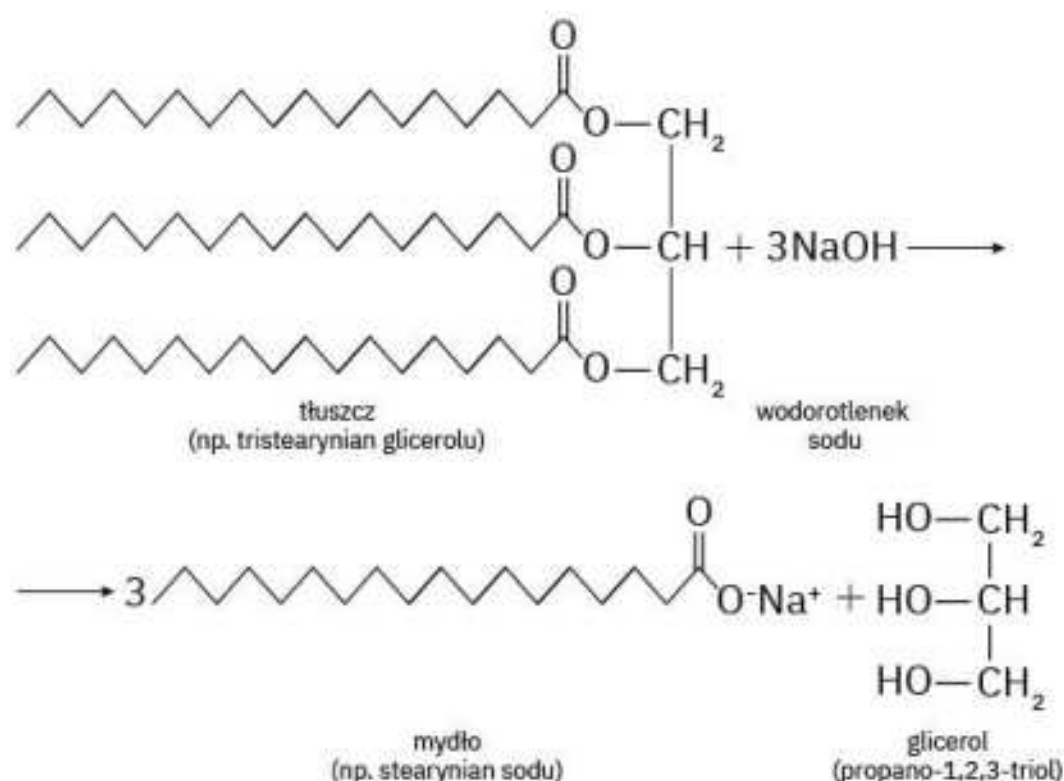
Utrzymanie czystości oraz pielęgnacja ciała wymagają użycia odpowiednich preparatów o szczególnych właściwościach fizykochemicznych. Duża dostępność takich środków wynika z systematycznego postępu w rozwoju chemii.

3.1. Środki piorące i czyszczące

W codziennym życiu nieustannie spotykamy się z problemem usuwania zanieczyszczeń, zwanych potocznie brudem. Codziennie myjemy ciało, pierzemy odzież, myjemy naczynia czy sprzątamy. Wszystkie te czynności wymagają specjalistycznych środków ułatwiających usuwanie brudu. Najczęściej są one opracowane w taki sposób, aby efektywnie usuwać zanieczyszczenia pochodzące od **tłuszczów**. Tłuszcze są nierozpuszczalne w wodzie, stanowią jednocześnie rodzaj spoiwa wiążącego inne zanieczyszczenia. Zatem preparaty umożliwiające przekształcenie tłuszczu w produkty łatwiej rozpuszczalne są na ogół bardzo efektywne jako środki czyszczące.

hydroliza
zasadowa

Jedną z metod przeprowadzenia tłuszczów w produkty rozpuszczalne w wodzie jest ich **hydroliza zasadowa** (alkaliczna). Działanie silnych zasad, na przykład wodnych roztworów wodorotlenku sodu, powoduje przekształcenie tłuszczów w sole sodowe kwasów karboksylowych oraz propano-1,2,3-triol (glicerol; rys. 3.1.).



Rys. 3.1. Równanie reakcji hydrolizy zasadowej tłuszczu.

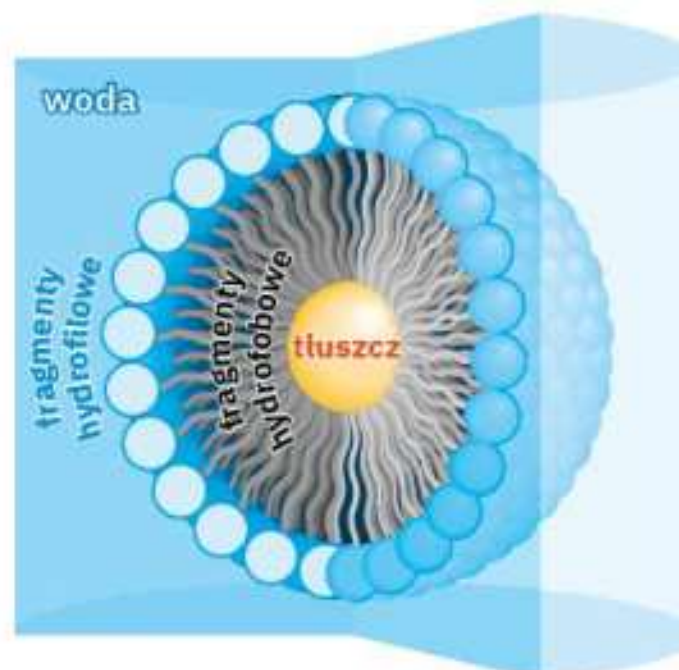
Dodatkowo hydrolizie zasadowej ulegają również inne organiczne związki wielkocząsteczkowe wchodzące w skład zabrudzeń: białka i polisacharydy, co ułatwia ich usuwanie. Jednakże wodne roztwory mocnych zasad są silnie żrące i mogą powodować nieodwracalne uszkodzenia czyszczonych obiektów. Dlatego w żadnym wypadku nie można ich stosować do mycia ciała, prania odzieży itp. Środki zawierające mocne zasady wykorzystuje się wyłącznie do czyszczenia obiektów odpornych na ich działanie, na przykład instalacji sanitarnych i rur kanalizacyjnych. Stały wodorotlenek sodu lub jego stężone roztwory stosuje się do udrażniania rur kanalizacyjnych. W silnie zasadowym środowisku składniki osadu odkładającego się w rurach ulegają przyspieszonej hydrolizie i przekształcają się w substancje rozpuszczalne w wodzie, które następnie można wypłukać. Wodorotlenek sodu wchodzi również w skład preparatów do mycia urządzeń sanitarnych, do czyszczenia i dezynfekcji toalet. W tych preparatach dodatkowo znajdują się silne utleniacze, takie jak chloran(I) sodu (podchloryn sodu) NaClO lub nadtlenek sodu Na_2O_2 . W czasie stosowania preparatów zawierających silne zasady należy bezwzględnie przestrzegać reguł postępowania z substancjami niebezpiecznymi, między innymi stosować rękawice ochronne.

Łagodniejszym sposobem usuwania tłustych zanieczyszczeń jest stosowanie związków powierzchniowo czynnych, zwanych również **detergentami**. Częsteczki detergentów mają **charakter amfifilowy**, to znaczy zawierają zarówno fragment o charakterze hydrofobowym (lipofilowym), jak i fragment o charakterze hydrofilowym. Część hydrofobowa cząsteczki wykazuje szczególną tendencję do łączenia się z substancjami niepolarnymi, na przykład tłuszczami,

♦ detergenty
♦ charakter amfifilowy

micela ▶

za pomocą oddziaływań dyspersyjnych. Natomiast część hydrofilowa silnie oddziałuje z cząsteczkami wody, głównie za pośrednictwem wiązań wodorowych. W wodnym roztworze detergentu tłuszcze ulegają rozbiciu na drobne kropelki, które następnie otaczają się cząsteczkami detergentu i tworzą uporządkowany twór zwany **micelą** (rys. 3.2.). Hydrofobowe fragmenty cząsteczek detergentu skierowane są do środka miceli i oddziałują z cząsteczkami tłuszczów, natomiast fragmenty hydrofilowe tworzą zewnętrzną otoczkę, przyciągającą cząsteczki wody. Micelle swobodnie unoszą się w wodzie, dzięki czemu tłuszcz zostaje przeniesiony z czyszczonego obiektu do roztworu wodnego.



Rys. 3.2. Struktura miceli powstającej w wyniku działania detergentów na tłuszcze.

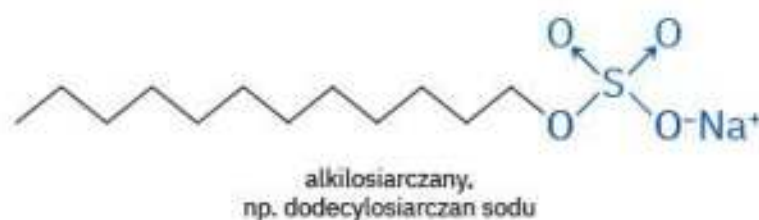
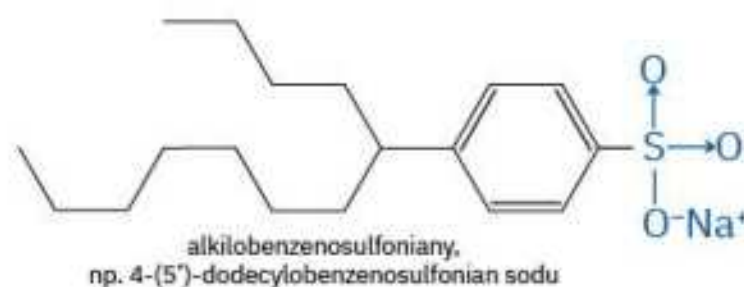
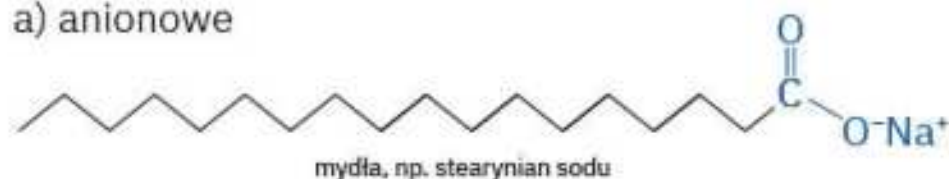
detergenty anionowe ▶

detergenty kationowe ▶

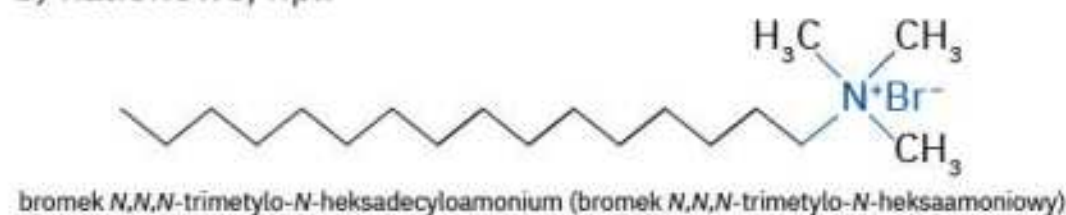
detergenty niejonowe ▶

Najstarszymi znanymi detergentami są oczywiście mydła. Jednak ich użycie jako środków myjących wiąże się z różnymi problemami. Jednym z nich jest wytrącanie się trudno rozpuszczalnych, mazistych soli wapnia i magnezu podczas prania w twardej wodzie. Roztwory mydła mają również dość silnie zasadowy odczyn (pH 9–10). Mydła należą do **detergentów anionowych**, gdyż część hydrofilową cząsteczek stanowi anion karboksylanowy COO^- (rys. 3.3.a). Syntetyczne detergenty anionowe zawierają grupy sulfonianowe SO_3^- lub siarczanowe OSO_3^- . Te detergenty wykazują mniejszą tendencję do tworzenia trudno rozpuszczalnych soli wapnia i magnezu, a także mają mniej zasadowy odczyn (są solami mocniejszych kwasów). Alkilobenzenosulfoniany i alkilosiarczany sodu stosuje się powszechnie w proszkach do prania (rys. 3.3.a). W **detergentach kationowych** grupa hydrofilowa jest obdarzona ładunkiem dodatnim. Najczęściej jest to ugrupowanie czwartorzędowej soli amoniowej, na przykład $\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$ (rys. 3.3.b). Związki tego typu często wykazują również działanie bakterio- i grzybobójcze. Część hydrofilowa cząsteczki detergentu może być również pozbawiona ładunku, wówczas mówimy o **detergentach niejonowych**. Są to najczęściej związki, których cząsteczki zawierają hydrofilowy fragment polieteru, zakończony grupą hydroksylową (rys. 3.3.c).

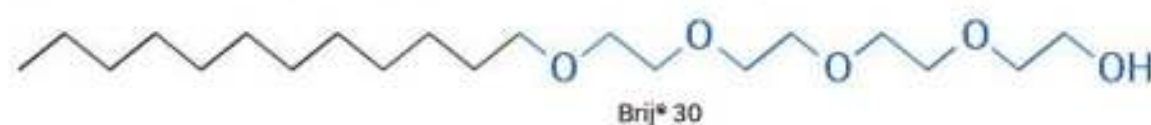
a) anionowe



b) kationowe, np.:



c) niejonowe, np. związki o podanych niżej wzorach i nazwach handlowych



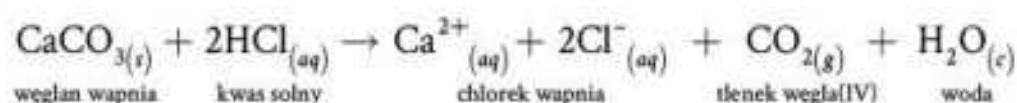
Rys. 3.3. Przykładowe struktury cząsteczek detergentów: a) anionowych, b) kationowych, c) niejonowych. Fragmenty hydrofilowe cząsteczek wyróżniono kolorem niebieskim.

Dostępne w sprzedaży płynne środki czyszczące zawsze zawierają detergent (anionowy, kationowy, niejonowy lub ich mieszaninę) oraz dodatkowe składniki – w zależności od przeznaczenia tych środków. Na przykład:

- preparaty do usuwania mocno przywierających zabrudzeń zawierają drobno sproszkowany, tworzący zawiesinę materiał ścierny, np. kredę (węglan wapnia CaCO_3) lub żel krzemionkowy (SiO_2);

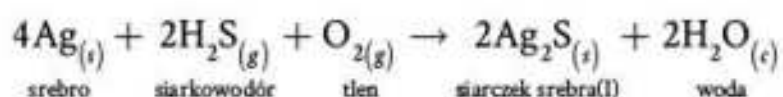
- płyny do mycia mogą zawierać amoniak NH_3 , ułatwiający usuwanie zanieczyszczeń pochodzenia biologicznego, oraz alkohol (etanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ lub propan-2-ol – izopropanol – $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$), pełniący funkcję rozpuszczalnika substancji organicznych;
- preparaty odkażające zawierają związki o charakterze biobójczym;
- środki do pielęgnacji mebli mają w swoim składzie woski w postaci emulsji, które nabłyszczają i konserwują powierzchnię drewna.

Niektórych uciążliwych zabrudzeń nie daje się usunąć za pomocą środków zawierających detergenty. Należy do nich nalot z kamienia powstający na powierzchniach spryskiwanych wodą, na przykład: na płytkach z glazury ceramicznej w łazienkach, na armaturze hydraulicznej, na ścianach kabin prysznicowych czy na zlewach. Osad ten składa się głównie z węglanów wapnia CaCO_3 i magnezu MgCO_3 . Tworzy się w wyniku odparowywania twardej wody zawierającej rozpuszczalne wodorowęglany tych metali. Do usuwania kamienia stosuje się preparaty zawierające kwasy: najczęściej kwas cytrynowy, kwas mlekowy lub nawet kwas solny. Te kwasy reagują z węglanami i przekształcają je w tlenek węgla(IV) CO_2 oraz produkty rozpuszczalne w wodzie.



Preparaty odkamieniające należy stosować ostrożnie, gdyż dłuższy kontakt kwaśnych roztworów z czyszczoną powierzchnią może ją uszkodzić.

Srebrna biżuteria stosunkowo szybko traci swój połysk i pokrywa się ciemnym nalotem siarczku srebra(I) Ag_2S na skutek reakcji z siarkowodorem H_2S i innymi lotnymi związkami siarki występującymi w śladowych ilościach w powietrzu:



Do czyszczenia srebra stosuje się różne metody. Jedną z nich polega na działaniu roztworem tiomocznika $\text{S}=\text{C}(\text{NH}_2)_2$, który roztwarza siarczek srebra (w wyniku reakcji powstają związki kompleksowe). Srebrne przedmioty można oczyścić również za pomocą elektrochemicznej redukcji siarczku srebra (do metalicznego srebra) glinem.

Doświadczenie 1. Usuwanie osadu siarczku srebra ze srebrnych przedmiotów

Odczynniki: wodorowęglan sodu NaHCO_3 , chlorek sodu NaCl , folia aluminiowa, gorąca woda, niewielki srebrny przedmiot pokryty osadem, na przykład łańcuszek

Sprzęt laboratoryjny: krystalizator lub plastikowa miseczka o pojemności około 500 cm^3

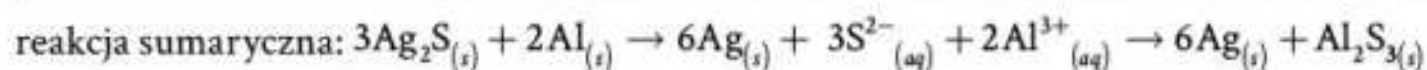
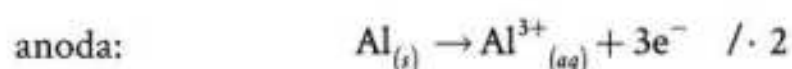
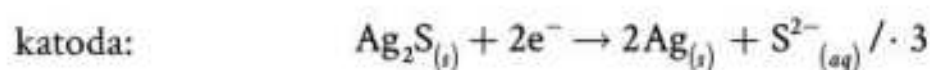


Opis:

Krystalizator (miseczkę) wyściel wewnątrz arkuszem folii aluminiowej tak, aby pokrywała ściany i dno naczynia. Wlej do niego około 200 cm³ gorącej wody, a następnie dodaj 3 g chlorku sodu i 12 g wodorowęglanu sodu. Do roztworu włóż czyszczony srebrny przedmiot i delikatnie zamieszaj. Wyciągnij przedmiot po mniej więcej 5 minutach i porównaj jego wygląd ze stanem początkowym.



Zestaw opisany w doświadczeniu 1. pełni funkcję ogniwa galwanicznego, w którym srebrny przedmiot stanowi katodę, a folia aluminiowa – anodę. Funkcję elektrolitu pełni roztwór chlorku i wodorowęglanu sodu, który nadaje roztworowi również słabo zasadowy odczyn. Zestaw zapewnia kontakt elektryczny zarówno między metalami, jak i między metalami a roztworem elektrolitu. Na katodzie zachodzi redukcja siarczku srebra(I) Ag₂S do metalicznego srebra, czemu towarzyszy uwolnienie jonów siarczkowych S²⁻. Na anodzie metaliczny glin Al utlenia się do jonów Al³⁺, które przechodzą do roztworu. W wyniku rekombinacji uwolnionych jonów powstaje trudno rozpuszczalny siarczek glinu Al₂S₃. Oznaką jego powstawania jest stopniowe mętnienie roztworu.



3.2. Środki higieny osobistej

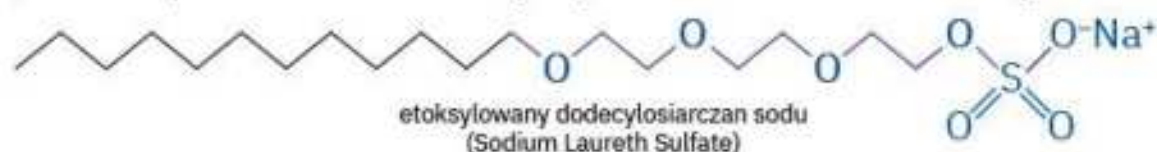
W naszej skórze znajdują się liczne gruczoły łojowe i potowe. Gruczoły łojowe produkują wydzielinę natłuszczającą skórę i zapewniającą jej odpowiednią elastyczność. Gruczoły potowe natomiast produkują wodnistą ciecz, która podczas odparowywania na powierzchni skóry przynosi efekt chłodzący, zatem bierze czynny udział w regulacji temperatury naszego ciała. Resztki tych wydzielin pozostające na skórze ulegają stopniowo rozkładowi bakteryjnemu. Produkty rozkładu są substancjami o przykrym zapachu. Mogą wywoływać podrażnienia skóry, a nawet stany zapalne. Aby zaradzić tym problemom, myjemy ciało i włosy. Mycie się jest najczęściej wykonywanym przez nas zabiegiem pielęgnacyjnym. Stosujemy w tym celu różne środki myjące, zawierające **środki powierzchniowo czynne**, które ułatwiają rozpraszanie drobnych kropelek tłuszczu w wodzie. Są to związki

środki
powierzchniowo
czynne

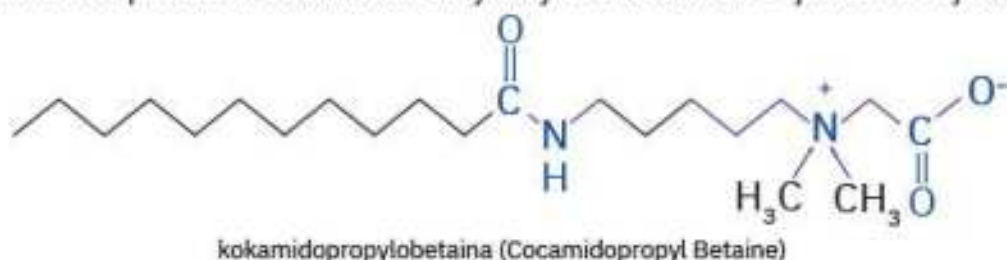
mydło ▶

chemiczne złożone z cząsteczek o charakterze amfifilowym, podobnie jak detergenty stosowane w środkach piorących i czyszczących (patrz wyżej). Wciąż bardzo popularnym środkiem myjącym jest **mydło**, czyli mieszanina soli sodowych różnych kwasów tłuszczowych (rys. 3.3.a). Zasadowy odczyn mydła może jednak negatywnie wpływać na włosy, dlatego płyny do kąpieli i szampony do włosów zawierają łagodniejsze środki powierzchniowo czynne, na przykład alkilosiarczany sodu (rys. 3.3.a) i inne pochodne o charakterze anionowym, kationowym, niejonowym oraz o strukturze jonu obojnego (rys. 3.4.). Na ogół kosmetyki stosowane do mycia są wieloskładnikowymi mieszaninami, zawierającymi obok środków powierzchniowo czynnych o różnej budowie również inne składniki, których zadaniem jest na przykład natłuszczenie skóry, nadanie kosmetykom zapachu lub barwy, zagęszczenie produktu, stabilizacja jego pH, a nawet działanie przeciwzapalne i biobójcze (np. w szamponie przeciwłupieżowym). Wybrane przykłady takich substancji przedstawiono na rysunku 3.4.

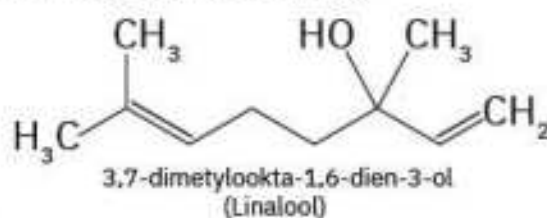
a) środek powierzchniowo czynny o charakterze anionowym



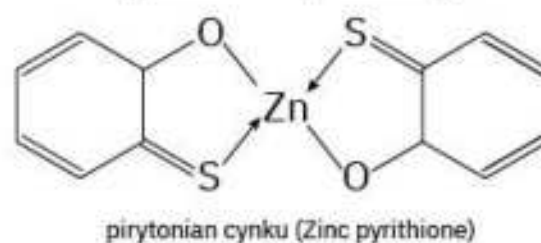
b) środek powierzchniowo czynny o strukturze jonu obojnego



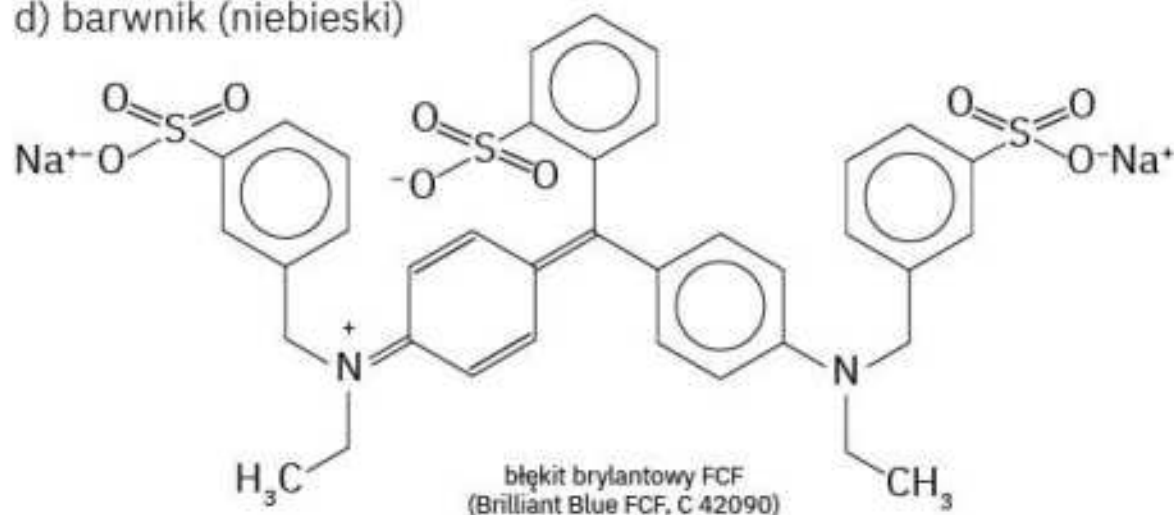
c) substancja zapachowa (zapach lawendy)



e) środek biobójczy
(przeciwłupieżowy)



d) barwnik (niebieski)



f) środek konserwujący



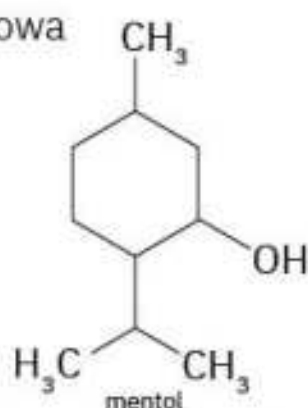
Rys. 3.4. Przykładowe składniki szamponów do włosów i płynów do kąpieli. W nawiasach podano nazwy angielskie i/lub inne oznaczenia tych związków występujące na etykietach kosmetyków. Fragmenty hydrofilowe w cząsteczkach środków powierzchniowo czynnych wyróżniono kolorem niebieskim.

Środki powierzchniowo czynne o charakterze detergentów, jak dodecylsiarczan sodu (rys. 3.3.), mogą być również składnikami **past do zębów**. Pasty zawierają ponadto środki ściernące w postaci zawiesin bardzo drobnego proszku (np. koloidalnej krzemionki SiO_2), ułatwiające usuwanie osadu powstającego na zębach (tzw. płytki nazębnej). Tak jak w każdym kosmetyku również w pastach do zębów znajdują się środki zapachowe (np. mentol), smakowe (np. glicerol), barwniki, konserwanty i inne. Ważnym składnikiem jest dodatek fluoru w postaci fluorku sodu NaF , monofluorofosforanu(V) sodu Na_2PFO_3 czy też aminofluorku (rys. 3.5.). Substancje te uwalniają jon fluorkowy F^- , który odgrywa ważną rolę profilaktyczną, ponieważ chroni zęby przed próchnicą.

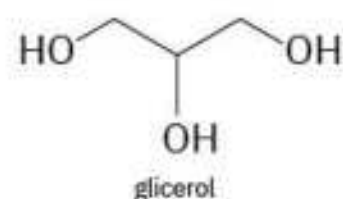
a) składnik zapewniający odpowiednie stężenie jonów fluorkowych



b) substancja zapachowa (o zapachu mięty)

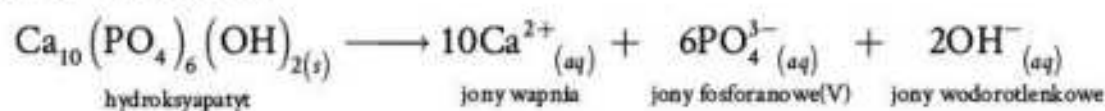


c) substancja smakowa (słodki smak)



Rys. 3.5. Przykładowe składniki pasty do zębów.

Bakterie żyjące w płytce nazębnej przekształcają cukry zawarte w pokarmie w kwasy organiczne, na przykład w kwas mlekowy. Kwasy te atakują szkliwo zębów, co sprzyja rozpuszczaniu **hydroksyapatytu**, mineralnego składnika zębów. Jest to związek jonowy o wzorze $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, zbudowany z kationów wapnia Ca^{2+} , anionów fosforanowych(V) PO_4^{3-} oraz jonów wodorotlenkowych OH^- . W roztworach o odczynie obojętnym lub zasadowym hydroksyapatyt rozpuszcza się bardzo słabo, a jego dysocjacja zachodzi w bardzo niewielkim stopniu zgodnie z równaniem:



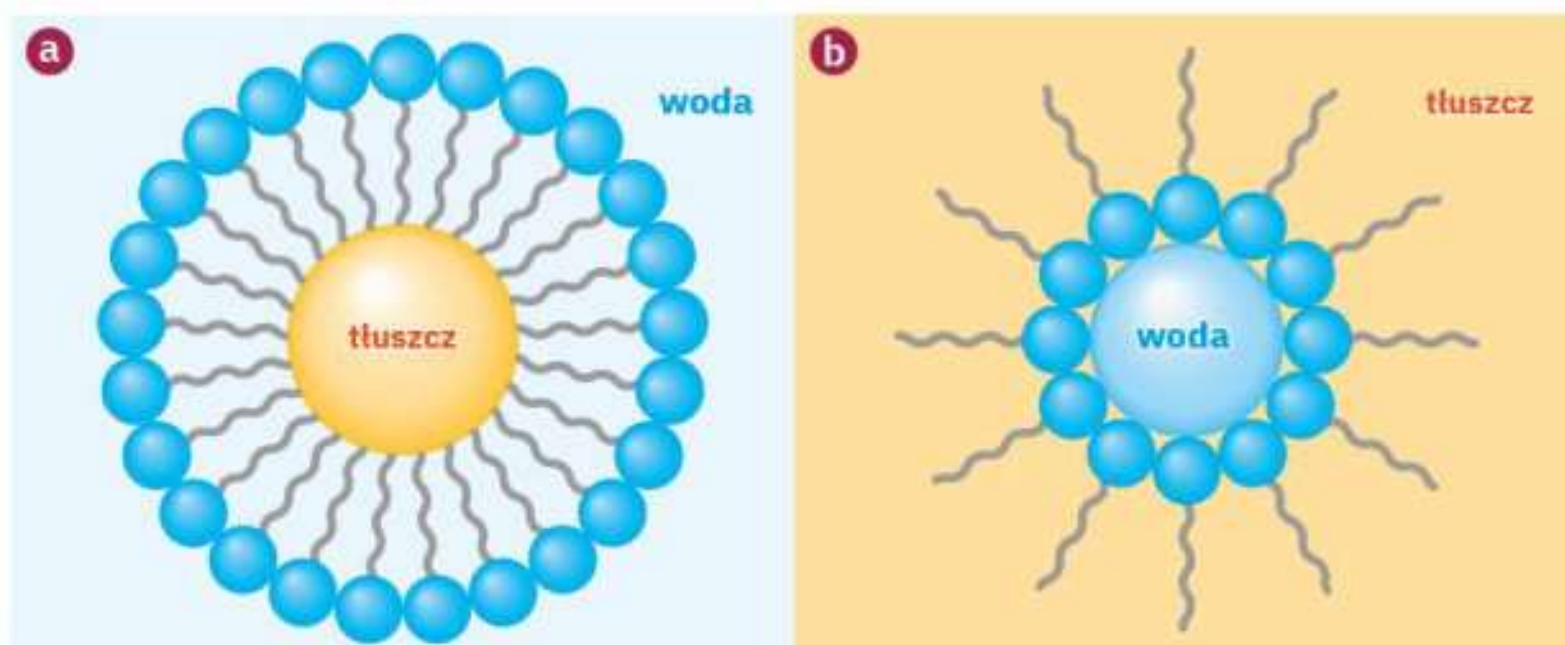
W środowisku kwasowym natomiast jony wodorowe H^+ reagują z powstającymi jonami wodorotlenkowymi OH^- i powstaje woda, spada zatem stężenie jonów OH^- i – zgodnie z regułą przekory Le Chateliera–Brauna (czytaj: le szateliera brauna) – równowaga przesunęta w kierunku produktów dysocjacji. Dlatego w obecności kwasów hydroksyapatyt zaczyna się rozpuszczać, co może prowadzić do ubytków

w szklwie i zapoczątkowania próchnicy. Jony fluorkowe zawarte w paście zajmują miejsce jonów wodorotlenkowych w hydroksyapatycie na powierzchni zębów i powstaje warstwa ochronna fluoroapatytu $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$. W wyniku dysocjacji tego związku nie powstają jony wodorotlenkowe, zatem jest on odporny na działanie kwasów. Dodatkowo jest to związek o charakterze bardziej hydrofobowym niż hydroksyapatyt, co utrudnia przywieranie zanieczyszczeń do powierzchni zębów i ułatwia ich higienę.

3.3. Środki do pielęgnacji ciała

W czasie mycia razem z zanieczyszczeniami jest usuwana ze skóry również naturalna ochronna warstwa tłuszczowa. Aby ją uzupełnić, stosujemy różnego rodzaju kremy (i balsamy) kosmetyczne. Kosmetyki te mają formę emulsji tłuszczowo-wodnej. Jako bazę tłuszczową stosuje się różnorodne substancje pochodzenia roślinnego (np. olejek migdałowy, masło kakaowe, olej jojoba, czytaj: żożoba), zwierzęcego (np. lanolina, воск pszczeli, olbrot), a nawet mineralnego (np. wazelina i ciekła parafina pozyskiwane z ropy naftowej). Aby zapobiec rozwarstwianiu się emulsji, do kremów dodaje się środki powierzchniowo czynne. Te substancje również składają się z cząsteczek amfifilowych, zawierających jednocześnie fragmenty hydrofobowe i hydrofilowe (rys. 3.7.). Dodanie tych

micele ▶ związków do roztworu sprawia, że tworzą się **micele** (rys. 3.6.), co skutecznie stabilizuje zarówno emulsję tłuszczu w wodzie (taką formę mają balsamy i kremy „na dzień”), jak i emulsję wody w tłuszczu (tłuste kremy „na noc”).



Rys. 3.6. Schematyczny przekrój przez micle tworzące się: a) w emulsji tłuszczu w wodzie (balsamy, kremy „na dzień”), b) w emulsji wody w tłuszczu (tłuste kremy „na noc”).

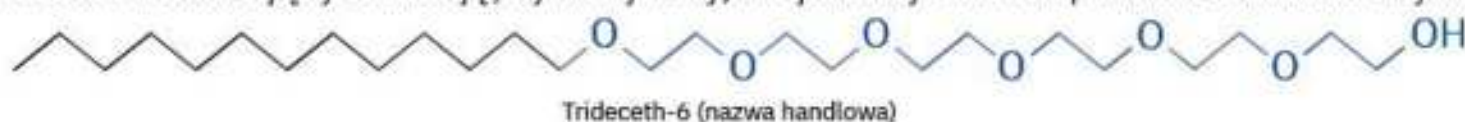
lanolina ▶ Szczególnie cennym surowcem do produkcji kremów kosmetycznych jest **lanolina**, pozyskiwana z tłustej, woskowej wydzieliny gruczołów łojowych owiec impregnującej sierść tych zwierząt. Lanolinę otrzymuje się w wyniku czyszczenia surowej wełny. Zaraz po ostrzyżeniu działa się na wełnę gorącą wodą z do-

datkiem specjalnego detergentu, po czym lanolinę oddziela się w wirówkach jako warstwę niemieszającą się z wodą. Lanolina jest złożoną mieszaniną różnych związków chemicznych, głównie estrów długolącuchowych kwasów karboksylowych i alkoholi lanolinowych (rys. 3.7.) – długolącuchowych alkoholi alifatycznych lub pochodnych steroidów. Zawartość tych alkoholi w lanolinie sięga kilku procent, mimo to są one jej ważnym składnikiem. W kremach kosmetycznych lanolina nie tylko pełni funkcję bazy tłuszczowej. Dzięki obecności grup hydroksylowych w cząsteczkach estrów oraz alkoholi lanolinowych ma również zdolność stabilizowania emulsji tłuszczowo-wodnej.

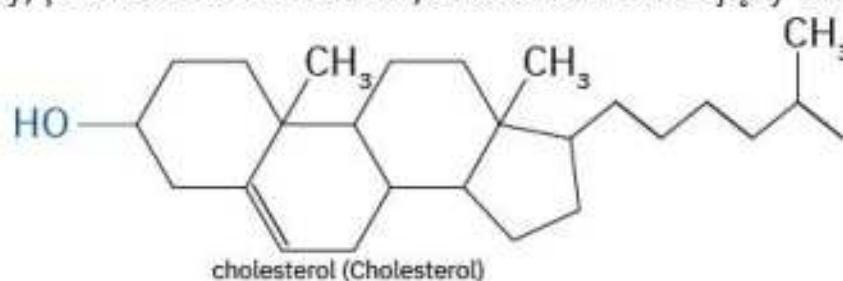
Kremy (i balsamy) zawierają jeszcze wiele innych składników (nawet kilkadziesiąt!), pełniących różnorodne funkcje. Są to między innymi: środki nawilżające (np. glicerol i jego pochodne), zmiękczające skórę (np. hydroksykwasy i alkohole o długich, łańcuchowych cząsteczkach), barwniki, środki zapachowe, konserwanty czy farmaceutyki (np. środki łagodzące podrażnienia, witaminy). Przykładowe struktury substancji wchodzących w skład tych kosmetyków przedstawiono na rysunku 3.7.

◀ składniki kremów
(i balsamów)

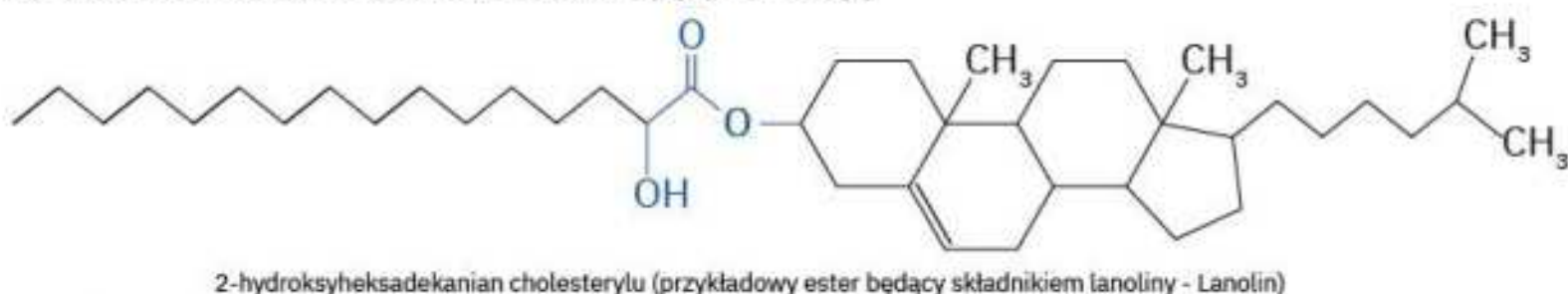
a) środek stabilizujący emulsję, syntetyczny, niejonowy środek powierzchniowo czynny



b) alkohol lanolinowy, pochodna steroidów, środek stabilizujący emulsję i zmiękczający skórę



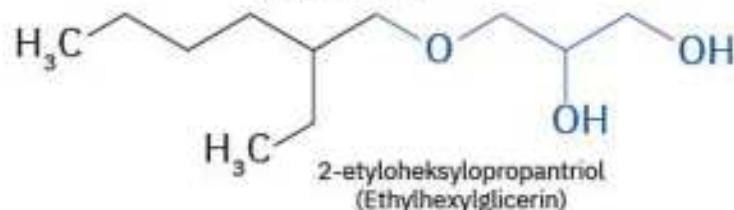
c) baza tłuszczowa, środek stabilizujący emulsję



d) alkohol lanolinowy, długolącuchowy alkohol alifatyczny, środek stabilizujący emulsję i zmiękczający skórę



e) pochodna glicerolu (propano-1,2,3-triolu), środek nawilżający

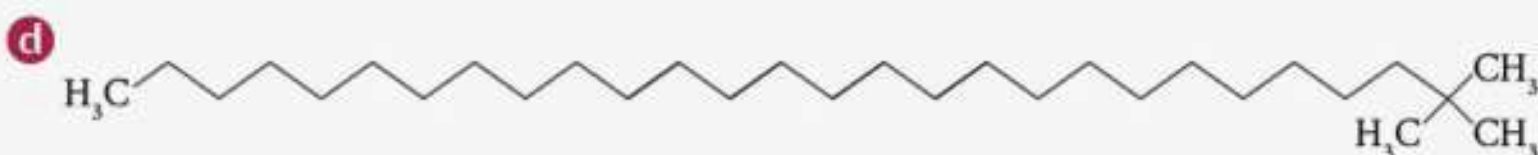
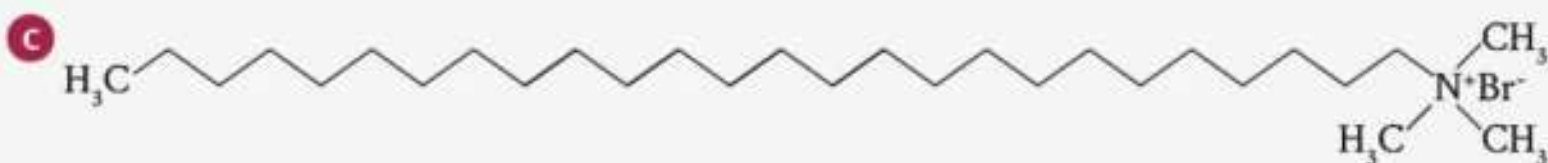
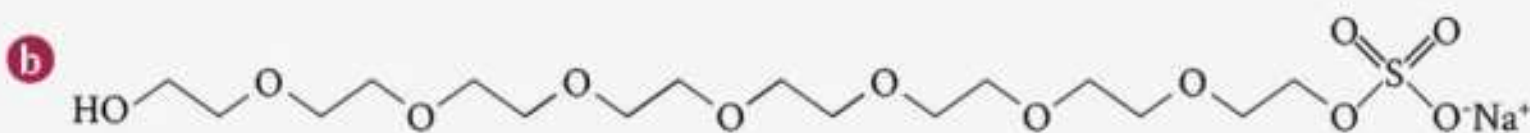
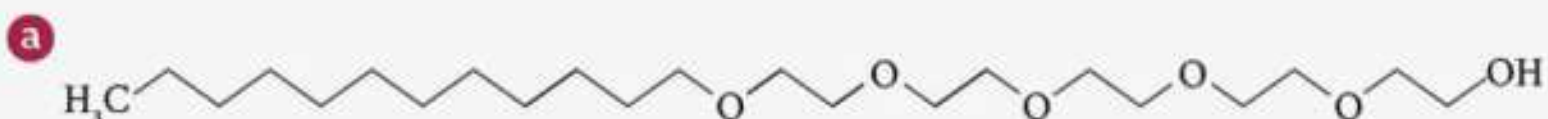


Rys. 3.7. Przykładowe składniki kremów i balsamów kosmetycznych. W nawiasach podano nazwy angielskie występujące na etykietach kosmetyków. Fragmenty hydrofilowe cząsteczek wyróżniono kolorem niebieskim.

Tłuszcze i woski są również składnikami kosmetyków służących upiększaniu skóry lub maskowaniu jej niedoskonałości. Wśród takich kosmetyków można wymienić: pomadki do ust, cienie do powiek, kredki do brwi i tusze do rzęs. Są one w zasadzie dyspersją (zawiesiną) silnie rozdrobnionych pigmentów w bazie tłuszczowo-woskowej. Wzajemna proporcja tłuszczu i wosku decyduje o konsystencji kosmetyku oraz o jego właściwościach aplikacyjnych. Woski mają wyraźnie wyższą temperaturę topnienia niż tłuszcze, porównywalną z temperaturą naszego ciała. Kosmetyki o niewielkiej zawartości wosku są półpłynne i maziste w temperaturze pokojowej (np. tusz do rzęs). Te o wyższej zawartości wosku są półstałe w temperaturze pokojowej, natomiast miękną i topią się podczas rozprowadzania po cieplej skórze (pomadka do ust, cienie do powiek). Jako pigmenty stosuje się różnorodne substancje barwne, zarówno nieorganiczne, takie jak czarna sadza, ciemnoniebieska ultramaryna, ciemnozielony tlenek chromu(III), jak i syntetyczne barwniki organiczne.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij, dlaczego środowisko alkaliczne sprzyja usuwaniu tłustych zanieczyszczeń.
2. Opisz, jak są zbudowane cząsteczki związków powierzchniowo czynnych i jak się te związki klasyfikuje.
3. Wyjaśnij, dlaczego w środkach używanych do mycia włosów nie stosuje się mydeł.
4. Wśród związków chemicznych o wzorach podanych poniżej wskaż te, które mają właściwości środków powierzchniowo czynnych. Odpowiedź uzasadnij.



5. Nazwa związku Trideceth-6, którego wzór chemiczny przedstawiono na rysunku 3.7.a., została utworzona w następujący sposób:
- cząstka „Tridec” wskazuje na obecność 13 atomów węgla w hydrofobowej części cząsteczki (od nazwy węglowodoru o 13 atomach węgla „tridekan”);
 - cząstka „eth-6” wskazuje, że w fragmencie hydrofilowym znajduje się sześć reszt „etylenowych” OCH_2CH_2 zakończonych grupą hydroksylową, tzn. $-(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_6\text{OH}$.
- Na podstawie tej informacji:
- a) podaj analogiczną nazwę związku o nazwie Brij®30, którego wzór podano na rysunku 3.3.c;
 - b) narysuj w zeszycie wzór szkieletowy związku o nazwie Deceth-5.
6. Aminofluorek 297 Olaflur (rys. 3.5.a) jest składnikiem pasty do zębów dostarczającym jonów fluorkowych. Na podstawie struktury cząsteczki określ, jaką inną funkcję może jeszcze pełnić ten składnik.
7. Na podstawie informacji zawartej na rysunku 3.7. narysuj wzór szkieletowy jednego ze składników lanoliny – estru utworzonego przez kwas 2-hydroksyoktanowy oraz heksadekanol (alkohol cetylowy).
8. Przeanalizuj treść etykiety dowolnego szamponu lub kremu (balsamu) kosmetycznego. Na podstawie informacji samodzielnie wyszukanych w dostępnych źródłach spróbuj określić budowę chemiczną składników kosmetyku pełniących funkcje podane w podpunktach a–d lub napisz, że takiego składnika nie ma w wybranym produkcie.
- Składnik kosmetyku pełni funkcję:
- | | |
|--|---------------------------|
| a) środka powierzchniowo czynnego, | d) barwnika, |
| b) bazy tłuszczowej (środka natłuszczającego), | e) środka zapachowego, |
| c) środka nawilżającego, | f) środka konserwującego. |

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Usuwaniu tłustych zanieczyszczeń sprzyja środowisko alkaliczne roztworu, w którym następuje częściowa hydroliza tłuszczów. s. 80
- Podstawowym składnikiem środków myjących i czyszczących są detergenty – związki powierzchniowo czynne. Cząsteczki związków powierzchniowo czynnych są amfifilowe, to znaczy zawierają fragment o charakterze hydrofobowym (lipofilowym) oraz fragment hydrofilowy. W zależności od budowy fragmentu hydrofilowego te związki klasyfikujemy jako detergenty anionowe, kationowe, niejonowe i o charakterze jonów obojnych. Dzięki związkom powierzchniowo czynnym powstają micle, które ułatwiają rozproszenie tłustych zanieczyszczeń w wodzie. s. 81, 88
- Kosmetyki są złożonymi mieszaninami wielu składników pełniących różnorodne funkcje. Do najważniejszych składników należą: środki powierzchniowo czynne (środki myjące w kosmetykach spłukiwanych, środki stabilizujące emulsje w kremach i balsamach), baza tłuszczowo-woskowa, środki nawilżające, środki zapachowe, barwniki, farmaceutyki, konserwanty. s. 85

4. Substancje o działaniu leczniczym i toksycznym

NA TEJ LEKCJI:

- poznasz mechanizm szkodliwego działania substancji toksycznych;
- przeanalizujesz strukturę chemiczną wybranych substancji toksycznych;
- dowiesz się, w jaki sposób określamy trujące właściwości substancji;
- zapoznasz się z czynnikami wpływającymi na toksyczne działanie substancji;
- przekonasz się, jakie są przyczyny złego samopoczucia po spożyciu napojów alkoholowych;
- odkryjesz, że paradoksalnie mechanizm działania leków jest zbliżony do mechanizmu działania trucizn;
- zrozumiesz, że leki mają bardzo zróżnicowaną strukturę chemiczną;
- prześledzisz właściwości wybranych leków;
- dowiesz się, jakie skutki może pociągać za sobą chiralność cząsteczek leków;
- poznasz składniki pomocnicze stosowane do nadawania lekom ostatecznej formy, w której są podawane pacjentom;
- zapoznasz się z najważniejszymi etapami opracowania i wprowadzenia do użytku nowych leków.

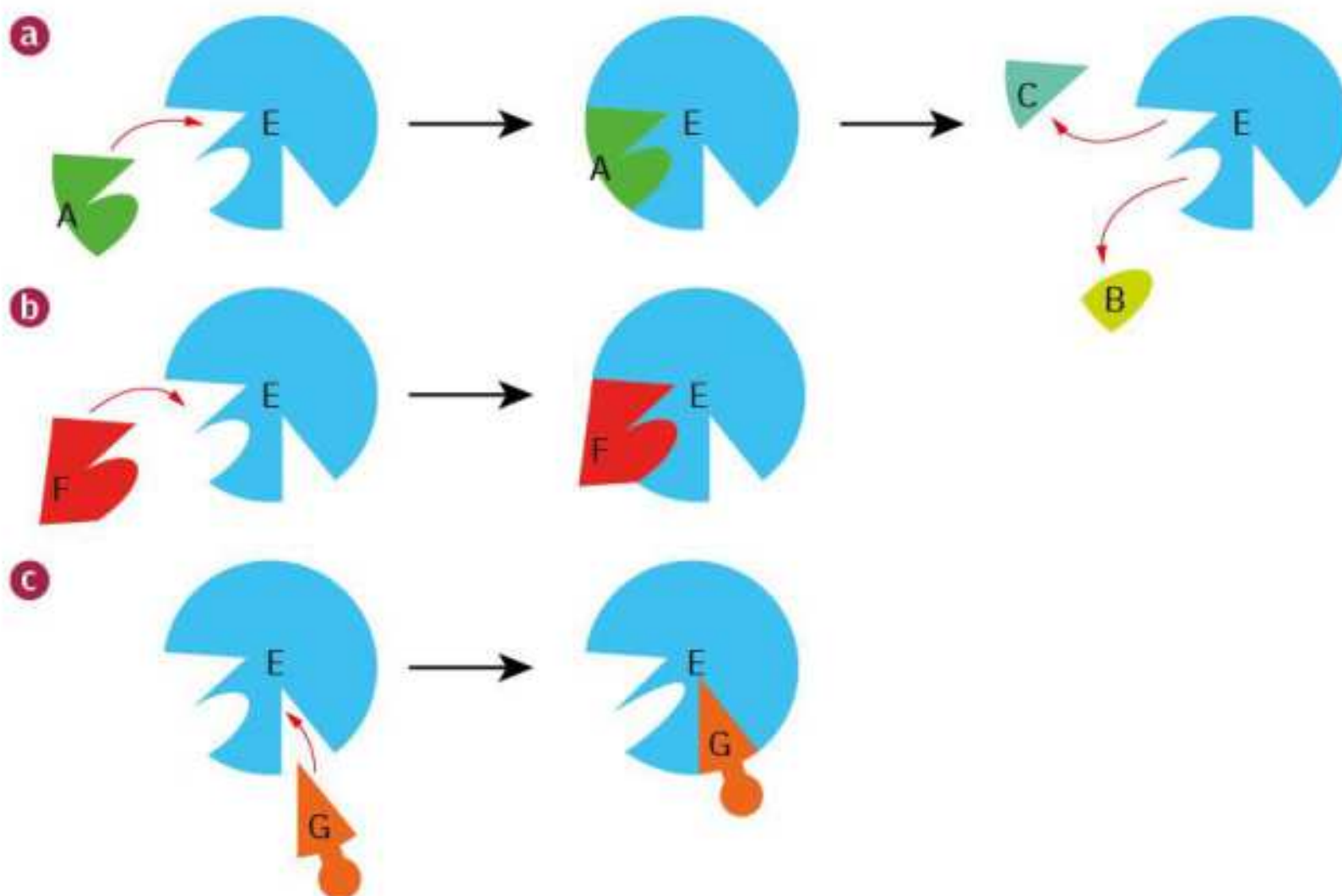
Substancje chemiczne wprowadzone do organizmu na ogół wywierają mniejszy lub większy wpływ na nasze zdrowie. Te, których działanie jest dla nas niekorzystne czy też wręcz niebezpieczne, klasyfikujemy jako trucizny lub toksyny. Istnieje również grupa substancji, potocznie zwanych lekami, które wspierają nasz organizm w walce z różnymi chorobami.

4.1. Toksyczność substancji chemicznych

Mechanizmy działania substancji toksycznych są bardzo zróżnicowane. Polegają między innymi na hamowaniu działania enzymów katalizujących specyficzne przemiany biochemiczne czy też na blokowaniu białkowych receptorów znajdujących się na powierzchni komórek. Cząsteczka substratu wiąże się najpierw z miejscem aktywnym enzymu, następnie zachodzi właściwa przemiana, po czym produkt (produkty) odłącza się od enzymu, który jest gotowy do kolejnego cyklu (rys. 4.1.a). O wiązaniu się cząsteczek z receptorem decyduje przede wszystkim ich kształt, który musi być kompatybilny z kształtem wnęki enzymu. Zatem oprócz „właściwych” cząsteczek substratu, enzym może wiązać również inne cząsteczki o podobnym kształcie. W takim przypadku dalsza reakcja chemiczna na ogół już nie zachodzi i cząsteczka trwale blokuje enzym. W rezultacie staje się on

nieaktywny i nie może już brać udziału w dalszych przemianach biochemicznych (rys. 4.1.b). Właściwy proces zostaje zahamowany, co ma negatywny wpływ na funkcjonowanie organizmu. Zatem cząsteczki substancji trwale wiążącej się z receptorami biochemicznymi wywierają efekt toksyczny i są dla naszego organizmu truciznami. Działanie toksyczne substancji może wynikać również z wiązania jej cząsteczek w innym miejscu receptora, poza miejscem aktywnym. Zmienia to kształt cząsteczki białka, co może prowadzić z kolei do utraty zdolności wiążącej przez miejsce aktywne (rys. 4.1.c).

efekt toksyczny
substancji



Rys. 4.1. Na rysunkach schematycznie przedstawiono mechanizm działania toksycznego trucizn.

- Prawidłowe funkcjonowanie enzymu. Substrat A łączy się z komplementarną wnęką w cząsteczce enzymu E. Zachodzi reakcja, produkty B i C są uwalniane, a cząsteczka enzymu E jest gotowa do kolejnej reakcji.
- Blokowanie miejsca aktywnego enzymu. Cząsteczka toksyny F o kształcie podobnym do substratu A łączy się z enzymem E i trwale go blokuje.
- Dezaktywacja miejsca aktywnego enzymu. Cząsteczka toksyny G trwale łączy się z enzymem E i zmienia kształt wnęki miejsca aktywnego. Enzym E nie może już się łączyć z cząsteczkami substratu A.

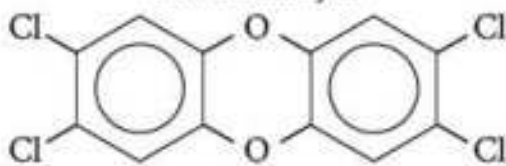
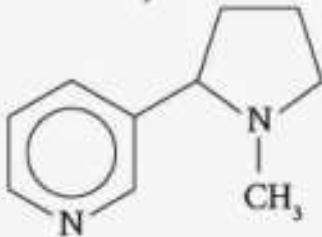
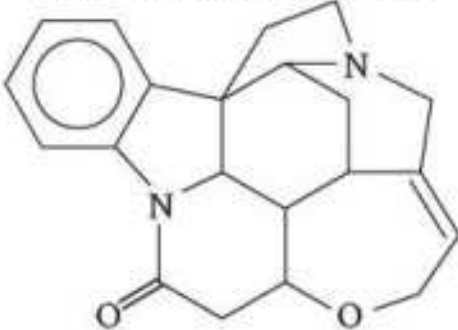
Substancje o działaniu toksycznym mają bardzo różnorodną strukturę chemiczną: od prostych związków nieorganicznych, po wielcząsteczkowe toksyny polipeptydowe wytwarzane przez niektóre bakterie i jadowite węże. W tabeli 4.1. przedstawiono przykłady związków chemicznych toksycznych dla człowieka. Spośród związków nieorganicznych silnie trujące są siarkowodor H_2S , cyjanki metali alkalicznych, na przykład cyjanek sodu $NaCN$, czy też sole metali ciężkich, zwłaszcza rtęci, ołowiu, kadmu, arsenu i miedzi. Toksyczne działanie wykazują również niektóre proste związki organiczne, jak alkohole lub dioksyny.

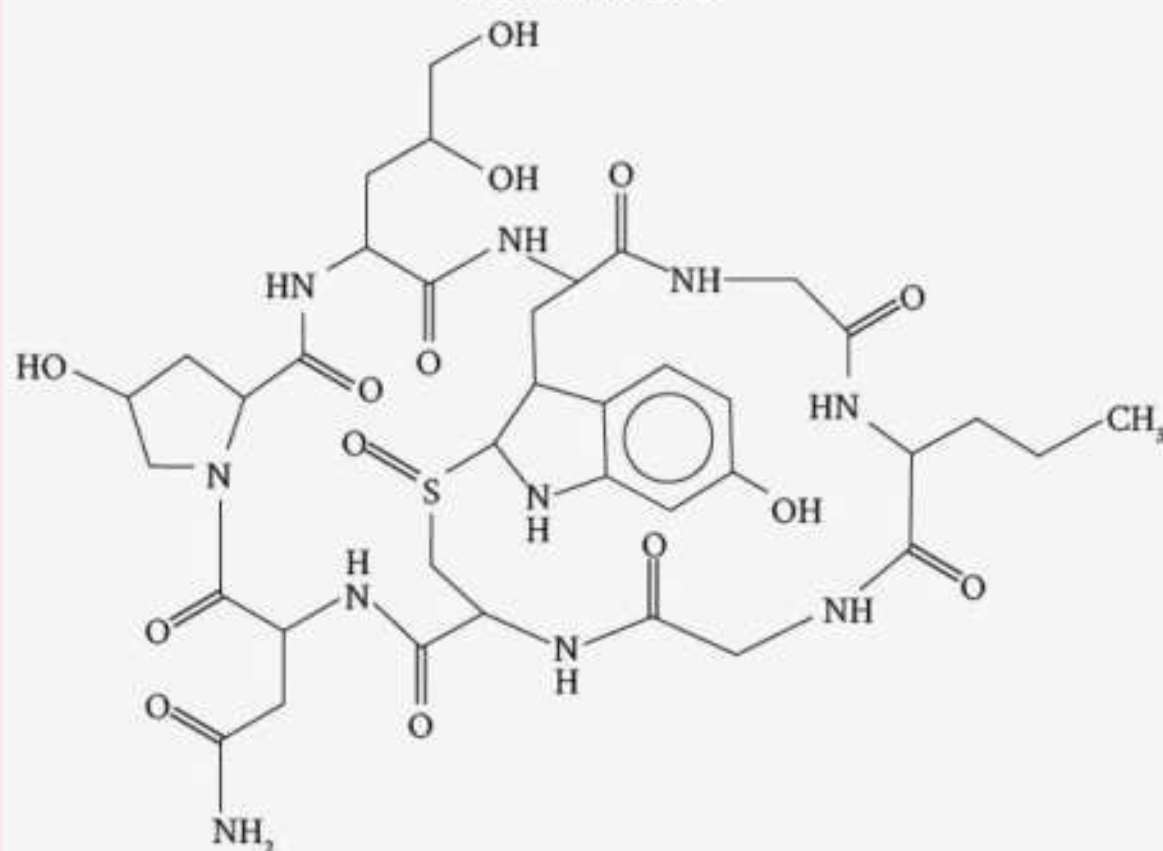
neurotoksyny ▶

broń chemiczna ▶

Wiele związków toksycznych wyizolowano z roślin. Należą do nich między innymi strychnina, atropina, akonityna, kurara oraz nikotyna. Szczególnie niebezpieczne dla człowieka są **neurotoksyny** (substancje atakujące układ nerwowy) zawarte w jadzie węży i innych zwierząt. Substancje te są wytwarzane również przez niektóre bakterie, na przykład tężca lub jadu kielbasianego. Niektóre bardzo silne trucizny celowo zsyntezowano dla celów militarnych. Wykorzystano je jako **broń chemiczną**. Po raz pierwszy takiej broni (gazowego chloru) użyto podczas I wojny światowej. Obecnie istnieje cały arsenał gazów bojowych, zaprojektowanych w taki sposób, aby były możliwie najgroźniejsze dla życia i zdrowia człowieka.

Tab. 4.1. Wartości LD₅₀ dla wybranych substancji toksycznych

Nazwa, wzór chemiczny i opis	LD ₅₀
siarkowodór H-S-H	0,629 g/m ^{3*} (szczur, wziewnie)
cyjanek sodu N≡C ⁻ Na ⁺	0,0064 g/kg (szczur, doustnie)
chlorek rtęci(II) Cl-Hg-Cl	0,001 g/kg (szczur, doustnie)
metanol CH ₃ -OH	0,008 g/kg (człowiek, doustnie)
etanol CH ₃ -CH ₂ -OH	7 g/kg (szczur, doustnie)
2,3,7,8-tetrachlorodibenzodioxyna (TCDD) – najsilniej trujący związek z grupy dioksyn powstających m.in. podczas spalania odpadów przemysłowych i komunalnych 	0,00002 g/kg (szczur, doustnie)
nikotyna – trujący alkaloid zawarty w liściach tytoniu <i>Nicotiana tabacum</i> 	0,0008 g/kg (człowiek, doustnie)
strychnina – trujący alkaloid pozyskiwany z nasion roślin tropikalnych z rodziny loganiowatych (<i>Loganiaceae</i>) 	0,001 g/kg (człowiek, doustnie)

Nazwa, wzór chemiczny i opis	LD ₅₀
amanityna – jedna z toksyn śmiertelnie trującego muchomora sromotnikowego <i>Amanita phalloides</i> 	0,0002 g/kg (szczur, doustnie)
tetanospazmina – neurotoksyna (polipeptyd) wytwarzana przez bakterie pałeczki tężca <i>Clostridium tetani</i>, wywołująca tzw. tężec objawiający się niekontrolowanymi skurczami mięśni	0,000000002 g/kg (mysz, dożylnie)
botulina – neurotoksyna (polipeptyd), wytwarzana przez bakterie jadu kielbasianego <i>Clostridium botulinum</i>, najsilniejsza trucizna znana człowiekowi, paraliżująca mięśnie, mimo to stosowana w medycynie estetycznej (zastrzyki z botoksu)	0,000000001 g/kg (mysz, dożylnie)
tabun – syntetyczny gaz bojowy, bardzo silna neurotoksyna $ \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{N}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O}=\text{P}-\text{C}\equiv\text{N} \\ \\ \text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array} $	0,009 g/kg (człowiek, absorpcja przez skórę)

*Podano wartość LC₅₀, tzn. wartość stężenia toksyny w powietrzu, skutkująca śmiercią połowy badanych zwierząt doświadczalnych.

Toksyczne działanie substancji zależy od dawki, czyli ilości wprowadzonej do organizmu, wyrażonej jako masa toksyny (w gramach, miligramach, mikrogramach lub nanogramach) przypadająca na 1 kilogram masy ciała. Ważnym parametrem charakteryzującym stopień toksyczności substancji jest **dawka śmiertelna LD₅₀**. Jest to dawka skutkująca śmiercią 50% badanych zwierząt doświadczalnych (przykładowe wartości tego parametru przedstawiono w tab. 4.1.). Im mniejsza wartość LD₅₀, tym silniejsza trucizna i tym mniejsza jej ilość doprowadzi do śmierci organizmu. Na przykład: z danych w tabeli 4.1. wynika, że metanol (LD₅₀ = 8 mg/kg) jest około 1000 razy bardziej toksyczny niż eta-

dawka śmiertelna
LD₅₀

nol ($LD_{50} = 7 \text{ g/kg}$). Rzeczywiście, zatrucia metanolem (spożytym w błędnym przekonaniu, że jest to etanol) są bardzo niebezpieczne, często kończą się utratą wzroku, a nawet śmiercią. Nikotyna, czyli alkaloid zawarty w tytoniu i wchłaniany drogą oddechową wraz z dymem papierosowym (lub mgiełką wytwarzaną w e-papierosach), jest równie toksyczna jak strychnina, stosowana do niedawna w trutce na szczury. Najsilniejszą znaną trucizną jest botulina – neurotoksyna wytwarzana przez bakterie jadu kielbasianego, które rozwijają się w psującym się mięsie. Wartość LD_{50} dla tej substancji wynosi około 1 nanograma na kilogram masy ciała ($1 \text{ ng} = 0,000000001 \text{ g}$). Mimo to botulina w postaci zastrzyków z botoksu jest stosowana w medycynie estetycznej do selektywnego paraliżu mięśni twarzy.

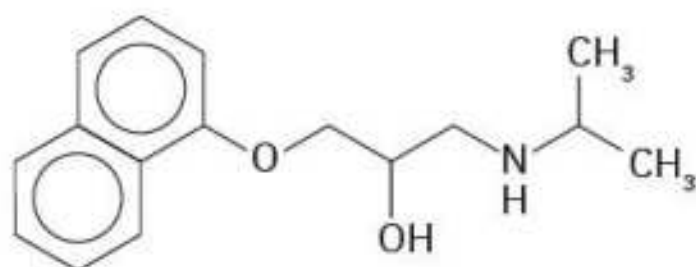
Toksyczne działanie substancji zależy również od innych czynników. Jednym z nich jest sposób jej przenikania do organizmu – to, jak została przyjęta: doustnie, dożylnie lub podskórnie (w formie zastrzyku) czy też wziewnie (przez wdychanie par substancji do płuc). Wiele trucizn ma zdolność przenikania do krwiobiegu przez błony śluzowe (w jamie nosowej, w oku), a nawet bezpośrednio przez skórę. Toksyczność zależy również od rozpuszczalności w wodzie – większa rozpuszczalność ułatwia przenikanie substancji do krwi, co oznacza silniejszą toksyczność. Rozpuszczalne sole baru, na przykład chlorek $BaCl_2$, są silnie trujące. Natomiast trudno rozpuszczalny siarczan(VI) baru $BaSO_4$ jest nieszkodliwy i bywa wykorzystywany w medycynie jako środek kontrastowy ułatwiający diagnozowanie chorób przewodu pokarmowego za pomocą promieni rentgenowskich.

Po przeniknięciu do organizmu trucizny mogą ulegać przemianom chemicznym pod wpływem działania naturalnych mechanizmów obronnych organizmu. Przykładem takiej substancji jest etanol zawarty w napojach alkoholowych. Spożyty etanol szybko przenika przez ściany przewodu pokarmowego do krwi (proces ten zaczyna się już w żołądku), z którą wędruje do mózgu. Tam zaburza przebieg syntezy neuroprzekazników, między innymi zwiększa stężenie dopaminy – neuroprzekaznika odpowiedzialnego za odczuwanie stanu przyjemności i euforii. Wkrótce po wprowadzeniu do organizmu etanol jest metabolizowany, to znaczy ulega przemianom w inne substancje – metabolity. Najpierw w obecności enzymu dehydrogenazy alkoholowej zostaje utleniony do aldehydu octowego (etanal, acetaldehydu) CH_3CHO , który dalej pod wpływem dehydrogenazy acetaldehydu utlenia się do kwasu octowego CH_3COOH . Dalsze utlenianie biochemiczne tego produktu prowadzi w końcu do powstania tlenku węgla(IV) i wody. Powstający przejściowo aldehyd octowy jest silniej trujący niż sam etanol. To właśnie aldehyd octowy odpowiada za nieprzyjemne objawy zatrucia alkoholowego w postaci bólu głowy czy nudności, które potocznie nazywa się „kacem”. Silniej trujący metanol początkowo ulega podobnym przemianom: utlenia się do aldehydu mrówkowego (metanal, formaldehydu) $HCHO$ i dalej do kwasu mrówkowego $HCOOH$. Ten kwas nie utlenia się jednak dalej, ale wywołuje bardzo niebezpieczne zatrucie.

4.2. Leki

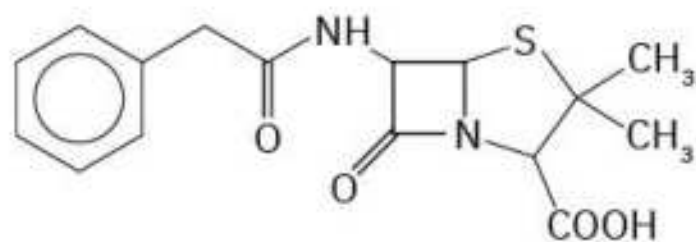
Mechanizm terapeutycznego działania leków jest bardzo podobny do mechanizmu działania trucizn. Częsteczki leków wiążą się z enzymami lub innymi wyspecjalizowanymi receptorami i blokują ich działanie. Jednak w tym przypadku przynosi to efekt terapeutyczny (lecniczy), a nie toksyczny. Na przykład leki z grupy tak zwanych β -blokerów wykazują zdolność do wiązania się z receptorami białkowymi występującymi w błonie komórkowej. Te receptory, pobudzone przez neuroprzekaźniki (np. adrenalinę), stymulują pracę serca przez zwiększenie siły i częstotliwości skurczów, co podnosi ciśnienie krwi w organizmie. Częsteczki β -blokerów po związaniu się z receptorami powodują, że te receptory przestają być wrażliwe na działanie neuroprzekaźników, a w rezultacie ciśnienie krwi się obniża. Z tego względu β -blokery (np. propranolol, rys. 4.2.) są powszechnie stosowane w leczeniu nadciśnienia tętniczego.

mechanizm
działania leków



Rys. 4.2. Struktura chemiczna propranololu – β -blokera (związku spowalniającego rytm bicia serca, obniżającego ciśnienie tętnicze).

Innym przykładem jest mechanizm działania antybiotyków, czyli leków wykorzystywanych do zwalczania infekcji bakteriami chorobotwórczymi. Częsteczki antybiotyków wiążą się z odpowiednimi receptorami w komórkach bakteryjnych i blokują ważne procesy życiowe tych mikroorganizmów, co prowadzi do dysfunkcji komórek i ich obumierania.



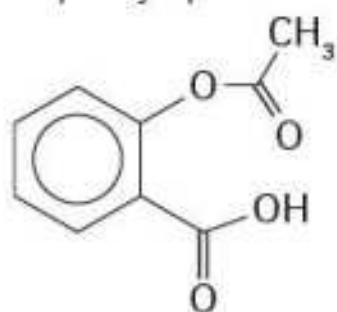
Rys. 4.3. Penicylina G – antybiotyk wyizolowany z hodowli pleśni *Penicillium*.

Częsteczki leków wywierają pożądany efekt terapeutyczny tylko wtedy, gdy wiążą się z właściwymi receptorami. Jednak mogą również łączyć się z innymi biomolekułami i zaburzać ich funkcje oraz upośledzać kontrolowane przez nie przemiany. To powoduje, że ubocznym i niepożądanym skutkiem stosowania leków jest ich toksyczność. Nasilenie działań ubocznych rośnie wraz z wielkością dawki. Zatem idealne leki to takie, dla których różnica między minimalną dawką wywierającą efekt terapeutyczny a minimalną dawką wywierającą efekt

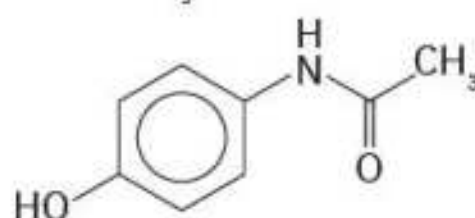
toksyczny jest możliwie jak największa. Warunek ten trudno spełnić, dlatego podczas przyjmowania leków zawsze należy się liczyć z możliwością wystąpienia niepożądanych skutków ubocznych.

Leki mają bardzo różnorodną strukturę chemiczną: od prostych związków nieorganicznych po bardzo złożone biomolekuły. Współcześnie znamy kilkaset tysięcy substancji chemicznych, które wykorzystujemy w celach leczniczych. Przykładowe struktury chemiczne wybranych związków (poza już podanymi wcześniej) przedstawiono na rysunku 4.4.

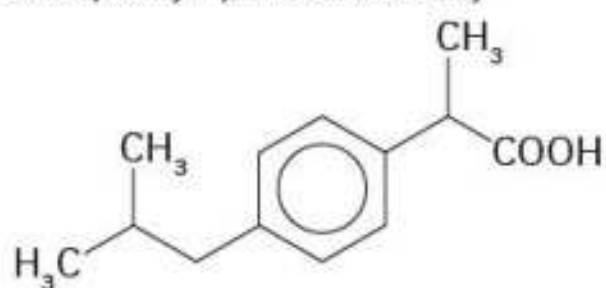
a) aspiryna – lek przeciwgorączkowy, przeciwzapalny i przeciwbólowy



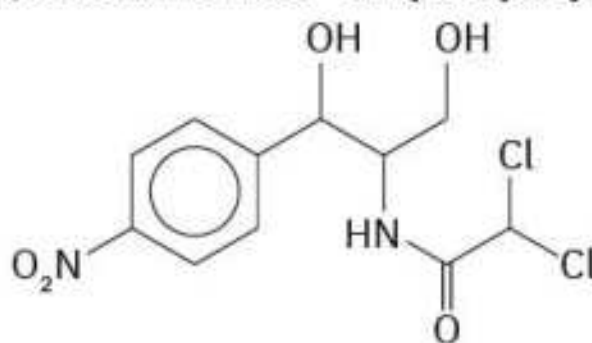
b) paracetamol – lek przeciwgorączkowy przeciwbólowy



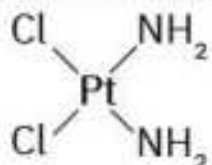
c) ibuprofen – lek przeciwgorączkowy, przeciwzapalny i przeciwbólowy



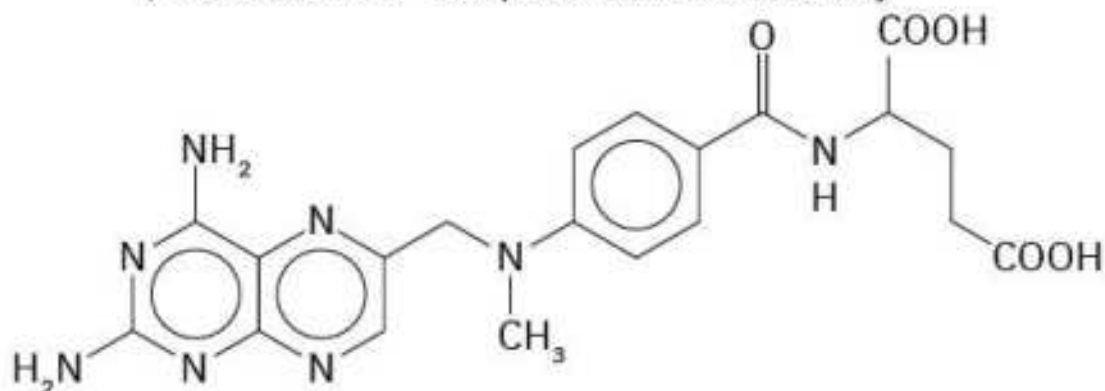
d) chloramfenikol – antybiotyk syntetyczny



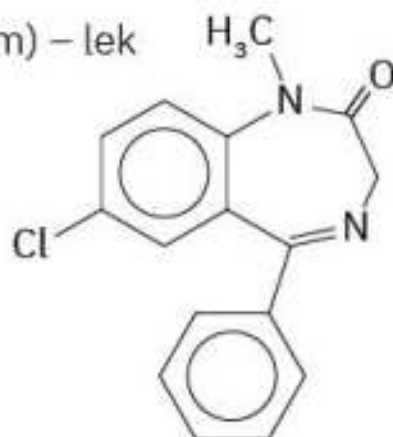
e) cisplatyna – lek przeciwnowotworowy



f) metotreksat – lek przeciwnowotworowy

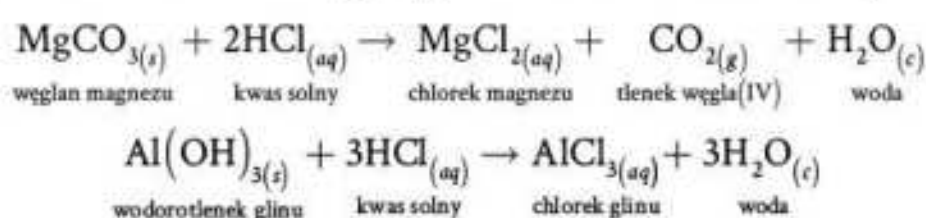


g) diazepam (Valium) – lek uspokajający

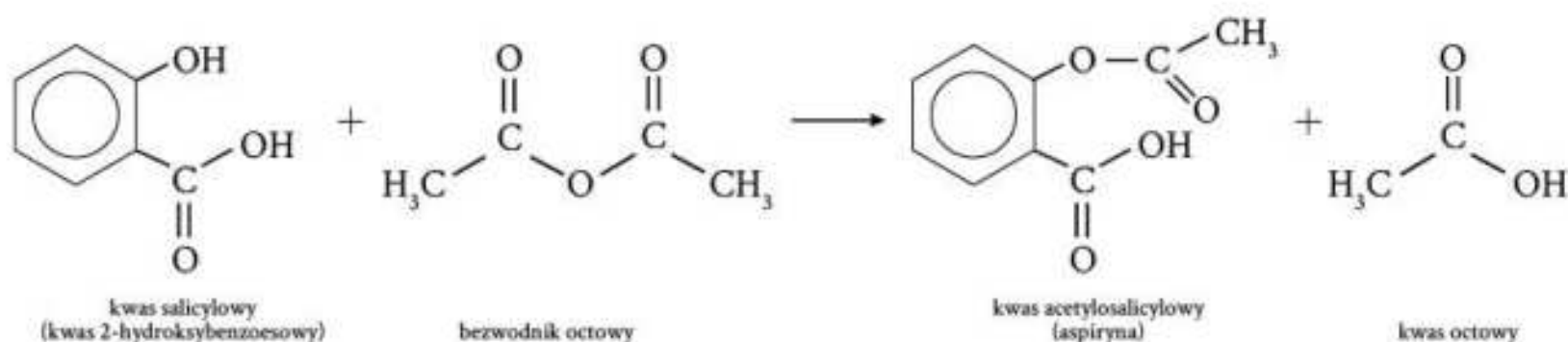


Rys. 4.4. Struktura chemiczna cząsteczek wybranych leków.

W łagodzeniu dolegliwości żołądkowych pomocne są leki o bardzo prostej budowie. W przypadku łagodnych zatruc pokarmowych często stosuje się węgiel aktywny. Jest to po prostu czysty pierwiastek, węgiel w postaci bardzo drobnego proszku. Wysoki stopień rozdrobnienia powoduje, że substancja ta ma silnie rozwiniętą powierzchnię, dzięki czemu wykazuje zdolność do adsorpcji różnych cząsteczek. Po podaniu doustnym ziarenka węgla adsorbują na swojej powierzchni toksyny, przez co usuwają je z przewodu pokarmowego i ułatwiają choremu powrót do zdrowia. Związki nieorganiczne magnezu i glinu stosuje się w leczeniu zgagi, innej przykrej dolegliwości żołądkowej. **Zgaga** powstaje w wyniku nieprawidłowego działania dolnego zwieracza przełyku, co powoduje cofanie się treści pokarmowej z żołądka do dolnej części przełyku. Kwas solny znajdujący się w soku żołądkowym podrażnia śluzówkę przełyku. Objawia się to przykrym uczuciem pieczenia i może prowadzić do stanów zapalnych oraz uszkodzenia ściany przełyku. Działanie lecznicze związków magnezu i glinu, na przykład węglanu lub tlenku magnezu oraz wodorotlenku glinu, polega na zobojętnianiu nadmiaru kwasu solnego, zgodnie z równaniami reakcji:



Do najczęściej używanych leków należą tak zwane **niesteroidowe leki przeciwzapalne** (NLP) o działaniu przeciwgorączkowym, przeciwzapalnym i przeciwbólowym. Najpopularniejsze z nich to aspiryna, paracetamol i ibuprofen (rys. 4.4.). Aspiryna jest acetylową pochodną kwasu 2-hydroksybenzoesowego (salicylowego). Kwas ten i jego pochodne są wytwarzane przez różne gatunki wierzby (*Salix*). Lecznicze działanie naparów z kory wierzbowej znano już w starożytności. Współcześnie aspirynę produkuje się na drodze syntezy chemicznej – działa się bezwodnikiem octowym na kwas salicylowy.



Wprowadzone do organizmu cząsteczki aspiryny dezaktywują enzym cyklooksygenazę. Ten enzym bierze udział w biosyntezie prostaglandyn – biomolekul mających wpływ na przebieg stanu zapalnego. Działanie to polega na przeniesieniu do białkowej cząsteczki enzymu grupy acetylowej $\text{CH}_3\text{CO}-$, która podczas wiązania się w miejscu aktywnym zmienia kształt cząsteczki. Aspiryna obniża

krzepliwość krwi, dlatego stosuje się ją profilaktycznie u osób zagrożonych zawałem serca. Wadą aspiryny jest jej negatywny wpływ na śluzówkę żołądka. Długotrwałe przyjmowanie tego leku może skutkować uszkodzeniem śluzówki i prowadzić do choroby wrzodowej. Obecnie do łagodzenia stanów zapalnych stosuje się raczej paracetamol i ibuprofen – leki bardziej bezpieczne dla żołądka.

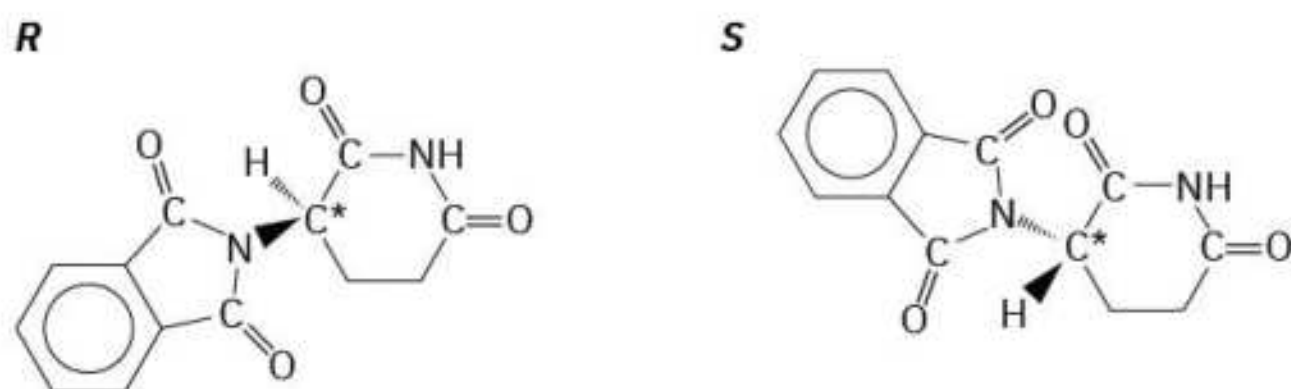
- antybiotyki** ▶ Bardzo ważną grupą leków są **antybiotyki**. Te związki służą zwalczaniu mikroorganizmów chorobotwórczych, takich jak bakterie lub grzyby. Antybiotyki umożliwiają leczenie niebezpiecznych infekcji. Pierwszym znanym antybiotykiem była penicylina odkryta w 1928 r. przez Aleksandra Fleminga. Zaobserwował on, że substancje wydzielane przez niektóre pleśnie hamują rozwój bakterii. Początkowo penicylina, wyodrębniona z kultur pleśni z rodzaju *Penicilium*, dawała wspaniałe wyniki w leczeniu różnorodnych infekcji bakteryjnych. Częsteczki tego antybiotyku dezaktywowały enzym bakteryjny niezbędny do budowy ściany komórkowej, co wydatnie hamowało ich rozwój. Wkrótce jednak pojawiły się szczepy bakterii, które na drodze mutacji wykształciły odporność na penicylinę, gdyż produkują enzymy rozkładające cząsteczkę antybiotyku. Konieczne zatem było poszukiwanie nowych, bardziej skutecznych leków.
- oporność na antybiotyki** ▶ nie zjawisko **oporności na antybiotyki** stanowi poważny problem w leczeniu infekcji. Bakterie nabywające oporności wymuszają swoisty wyścig, w którym uczeni opracowują coraz to nowe antybiotyki, skuteczne jedynie do momentu wykształcenia oporności na nie. Na zjawisko oporności na antybiotyki wpływają także nieracjonalna terapia (nieuzasadnione przepisywanie antybiotyków przez lekarzy) oraz powszechne ich stosowanie w hodowli zwierząt rzeźnych, drobiu i ryb.

- leki przeciwnowotworowe** ▶ Do najgroźniejszych chorób trapiących ludzi należą choroby nowotworowe. Mamy z nimi do czynienia wtedy, gdy na skutek działania różnych czynników rakotwórczych, takich jak: dym papierosowy, promieniowanie jonizujące czy pył azbestowy, dochodzi do spontanicznej mutacji. Skutkiem mutacji jest niekontrolowane namnażanie się zmienionych komórek. **Leki przeciwnowotworowe** projektuje się w taki sposób, aby dezorganizowały proces dzielenia się komórek i w konsekwencji hamowały wzrost guza nowotworowego. Niestety, jednocześnie te leki upośledzają też podział normalnych komórek, zatem wykazują silne działanie toksyczne. Chemioterapia prowadzona za pomocą leków przeciwnowotworowych, takich jak cisplatyna i metotreksat, na ogół jest skuteczna. Jednak jednocześnie wywołuje niepożądane objawy chorobowe, z których najczęstsze to utrata włosów (leki uszkodzają mieszki włosowe) i nudności (wskutek niszczenia komórek żołądka). Chemioterapia upośledza również układ odpornościowy człowieka, co naraża go na tak zwane **infekcje oportunistyczne**.

infekcje oportunistyczne

- związki chiralne** ▶ Wiele leków należy do grupy związków **chiralnych** (optycznie czynnych), których cząsteczki mogą występować w postaci enancjomerów będących względem

siebie lustrzanymi odbiciami. Często zdarza się tak, że tylko jeden z enancjomerów wykazuje właściwości terapeutyczne, podczas gdy drugi jest nieaktywny lub wręcz szkodliwy dla zdrowia. Tragicznym przykładem ilustrującym to zjawisko jest historia leku znanego pod nazwą Talidomid. Został on wprowadzony do użytku w Niemczech pod koniec lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku jako lek uspokajający, nasenny i zapobiegający złemu samopoczuciu kobiet w ciąży (nudności, wymioty). Talidomid występuje w postaci dwóch enancjomerów (rys. 4.5.), z których tylko izomer o konfiguracji *R* wykazuje działanie lecznicze. Natomiast izomer *S* upośledza rozwój płodu: powoduje ciężkie deformacje ciała, zwłaszcza kończyn. Początkowo Talidomid był sprzedawany w postaci mieszaniny racemicznej, zawierającej zarówno izomer *R*, jak i izomer *S*. W rezultacie w latach sześćdziesiątych w Niemczech urodziło się około 12 tysięcy silnie zdeformowanych dzieci, z których 4 tysiące zmarło przed ukończeniem pierwszego roku życia. Ta tragedia zwróciła uwagę opinii publicznej i producentów farmaceutyków na problem chiralności związków stosowanych jako leki.



Rys. 4.5. Struktura enancjomerów *R* i *S* Talidomidu. Gwiazdką wyróżniono centrum chiralności, atom węgla związany czterema różnymi podstawnikami.

Lekarstwa, które kupujemy w aptekach, oprócz substancji czynnej o działaniu terapeutycznym zawierają jeszcze **składniki pomocnicze**. Dzięki nim leka- ◀ **składniki pomocnicze** stwom nadaje się odpowiednią formę, w której są podawane pacjentom: tabletek, zastrzyków, syropów, kropli do oczu lub do uszu czy maści. Na przykład w skład tabletek wchodzi zazwyczaj: wypełniacze nadające tabletkę właściwą wielkość (laktoza, skrobia), substancje wiążące sklejające składniki w jedną całość (żelatyna, guma arabska, metyloceluloza), substancje powlekające tworzące na powierzchni tabletki cienką warstwę ochronną i wiele innych.

Opracowanie i wprowadzenie do użytku nowego leku jest długotrwałym i kosztownym procesem. Rozpoczyna się on od badań laboratoryjnych nad znalezieniem związku o odpowiednim działaniu terapeutycznym oraz od opracowania procedur syntetycznych i analitycznych badających czystość produktu. Potem następuje bardzo długi okres różnorodnych badań – najpierw na zwierzętach doświadczalnych, a potem badań klinicznych. Zmierzają one do dokładnego poznania terapeutycznego działania związku, skutków ubocznych związanych

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- 102

7. Przeanalizuj struktury leków przedstawione na rysunkach 4.2., 4.3. i 4.4. Wskaż te związki, które mogą występować w formie przynajmniej jednej pary enancjomerów będących względem siebie lustrzanymi odbiciami.
8. Określ, do jakiej grupy związków organicznych należy paracetamol (rys. 4.4.b). Jakiej reakcji może ulegać ten związek pod wpływem kwasów (np. kwasu solnego HCl) i zasad (np. wodorotlenku sodu NaOH). Zapisz równania chemiczne obu reakcji. Rozstrzygnij, czy podanie paracetamolu dożylnie w postaci zastrzyku może przynieść lepszy efekt terapeutyczny niż podanie doustne w postaci tabletki. Uzasadnij swoją odpowiedź.
9. Wskaż, które jeszcze leki przedstawione na rysunkach 4.2., 4.3. i 4.4. można zaliczyć do tych samych grup związków organicznych co paracetamol.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Działanie toksyczne lub lecznicze substancji chemicznych polega na łączeniu się ich cząsteczek z miejscami aktywnymi enzymów lub innymi receptorami i ich dezaktywacji. Zarówno trucizny, jak i leki mają bardzo różnorodną strukturę chemiczną. s. 93, 97
- Miarą toksyczności substancji jest parametr LD_{50} , zwany dawką śmiertelną. Efekt toksyczny wywierany przez substancję zależy od wielkości dawki, sposobu podania i rozpuszczalności w wodzie. s. 95
- Jako środki neutralizujące nadmiar kwasu w żołądku stosuje się związki magnezu i glinu o właściwościach zasadowych. Niesteroidowe leki przeciwzapalne, np. aspiryna, wykazują działanie przeciwgorączkowe i przeciwbólowe. W leczeniu infekcji stosuje się antybiotyki, a w chemioterapii – leki przeciwnowotworowe. s. 99
- Działaniu terapeutycznemu leków towarzyszą z reguły działania uboczne szkodliwe dla zdrowia człowieka. Aspiryna może powodować uszkodzenie śluzówki żołądka. Z kolei antybiotyki szybko tracą swoją skuteczność na skutek wykształcania oporności mikroorganizmów na te leki. Preparaty stosowane w chemioterapii są bardzo toksyczne. s. 100
- Jeżeli cząsteczka leku jest chiralna, aktywność terapeutyczną może wykazywać tylko jeden z enancjomerów, a drugi może być wręcz szkodliwy dla zdrowia. s. 100
- Oprócz substancji czynnej leki zawierają składniki pomocnicze nadające lekowi właściwą formę. Proces opracowania i wprowadzenia do użytku nowego leku jest bardzo pracochłonny i długotrwały, co przekłada się na wysoką cenę ostatecznego produktu. s. 101

5. Chemia napojów i żywności

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się ze składem i właściwościami najpopularniejszych napojów;
- odkryjesz biologiczne znaczenie soli mineralnych rozpuszczonych w wodzie źródlanej i mineralnej;
- dowiesz się, jaki kwas znajduje się w napojach typu cola i czym się różni wersja dietetyczna tego napoju od klasycznej;
- poznasz działanie kofeiny zawartej w kawie i herbacie oraz odkryjesz, czym się różnią herbata czarna i herbata zielona;
- dowiesz się, jakie są przyczyny problemów zdrowotnych, które mogą towarzyszyć spożywaniu mleka;
- przeanalizujesz procesy fermentacyjne wykorzystywane w przetwórstwie żywności: fermentację alkoholową, octową i mlekową;
- zrozumiesz, jakie przemiany chemiczne zachodzą podczas wytwarzania wina, piwa, chleba, octu, jogurtów i sera;
- przeczytasz o najważniejszych sposobach ochrony żywności przed zepsuciem;
- zapoznasz się ze strukturą, właściwościami i zastosowaniem konserwantów, przeciwutleniaczy i innych dodatków do żywności.

Popularne napoje, oprócz spełniania podstawowej funkcji, jaką jest gaszenie pragnienia, mają również inne interesujące właściwości zależne od ich składu. W przetwórstwie żywności stosujemy procesy fermentacyjne, w przebiegu których biorą udział różnorodne mikroorganizmy. Konserwanty i inne dodatki do żywności są powszechnie stosowane do polepszenia i zachowania jej jakości. Znajomość chemii pozwala na lepsze zrozumienie tych zagadnień.

5.1. Napoje

Woda jest niezbędna do życia wszystkim organizmom żywym, również człowiekowi. Stanowi główny składnik ciekłej zawartości komórek oraz płynów ustrojowych, takich jak krew, limfa, pot czy łzy. Pełni również funkcję uniwersalnego rozpuszczalnika, w którym zachodzą reakcje biochemiczne niezbędne do prawidłowego działania organizmu. Ciało ludzkie składa się w 50–60% z wody, a utrata 10% wody stanowi zagrożenie dla życia. Procesy fizjologiczne zachodzące w naszym organizmie nieuchronnie prowadzą do systematycznej utraty tej bezcennej substancji. W procesie oddychania tracimy około $0,4 \text{ dm}^3$ wody dziennie, gdyż wydychane powietrze, nasycone parą wodną, niesie ze sobą sporo wilgoci. Kolejne $0,4 \text{ dm}^3$ wydzielamy w postaci potu – na skutek działania naturalnego mechanizmu termoregulacji. Najwięcej wody, około 1 dm^3 , tracimy w wyniku procesów wydalniczych, gdy pozbywamy się substancji niepotrzebnych

i potencjalnie szkodliwych dla naszego organizmu. Aby zbilansować tę utratę, dorosły człowiek powinien codziennie wypijać około 2 dm³ wody w postaci różnych napojów. Te napoje, oprócz wody, zazwyczaj zawierają również inne składniki, które mogą wywierać określone działanie na nasz organizm.

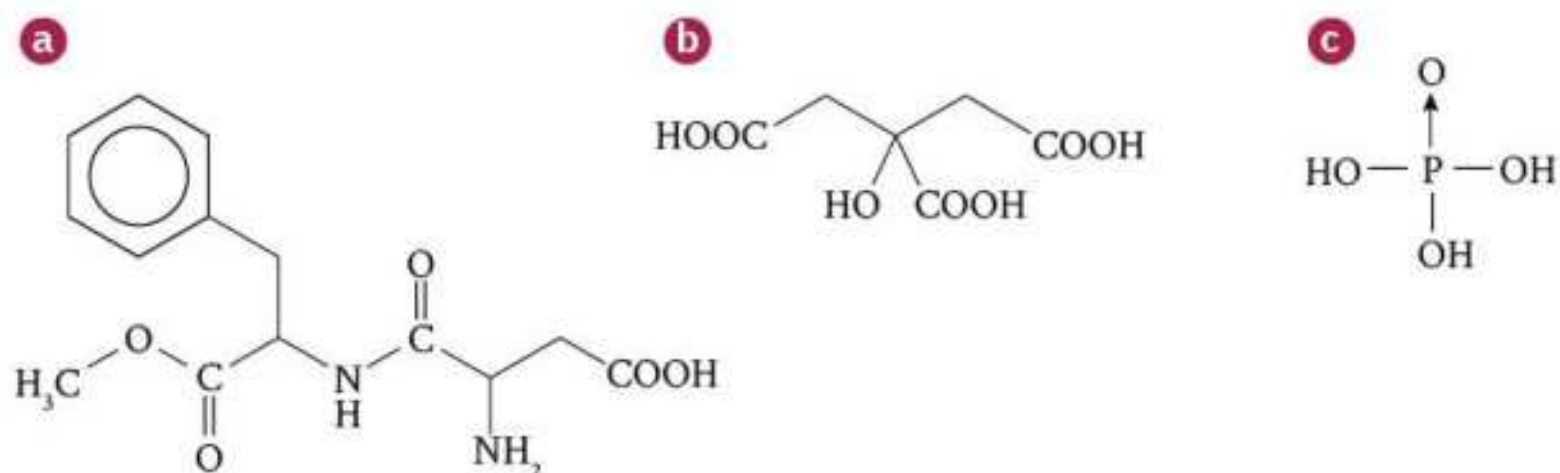
Najbardziej oczywistym sposobem gaszenia pragnienia jest spożywanie **wody wodociągowej** lub butelkowanej **wody źródlanej i mineralnej**. Napoje te mają odczyn obojętny lub słabo zasadowy i zawierają pewną ilość jonów pochodzących z dysocjacji soli mineralnych rozpuszczonych w wodzie. Do najczęściej spotykanych kationów należą kationy: sodu Na⁺, potasu K⁺, magnezu Mg²⁺ i wapnia Ca²⁺. Najważniejszym anionem jest jon wodorowęglanowy HCO₃⁻. Inne aniony, takie jak chlorkowy Cl⁻, siarczanowy(VI) SO₄²⁻ czy fluorkowy F⁻, występują w znacznie mniejszych ilościach. Oprócz soli w wodzie może znajdować się również pewna ilość koloidalnej krzemionki, tlenku krzemu(IV) SiO₂. Wody mineralne mają stały skład i zawierają nie mniej niż 0,5 g soli rozpuszczonej w 1 dm³ wody. Skład wód źródlanych jest bardziej zmienny, a zawartość składników mineralnych jest zazwyczaj niższa niż 0,5 g/dm³. Przykładowy skład wody źródlanej i mineralnej przedstawiono w tabeli 5.1. Obecność składników mineralnych jest ważna dla naszego organizmu. Gdy pijemy wodę źródlaną, a zwłaszcza mineralną, dostarczamy organizmowi jonów niezbędnych do jego prawidłowego działania. Na przykład kationy sodu, potasu i wapnia oraz aniony chlorkowy i wodorowęglanowy biorą udział w utrzymywaniu **równowagi elektrolitów**, a także nadają płynom ustrojowym odpowiednie ciśnienie osmotyczne. Jony wapnia stanowią podstawowy budulec kości i zębów, a ponadto pełnią szereg innych ważnych funkcji fizjologicznych. Spożywanie wody wodociągowej dostarcza również składników mineralnych. Jednakże nie zawsze taka woda ma odpowiedni smak. Może też zawierać szkodliwe bakterie chorobotwórcze. Problem ten rozwiązują popularne od niedawna filtry do wody, które skutecznie usuwają z niej szkodliwe składniki. Wodę gazowaną wytwarza się przez nasycenie jej gazowym tlenkiem węgla(IV). Dzięki temu obniża się nieco pH płynu (kwas węglowy jest słabym kwasem!) i wzrasta ciśnienie w butelce.

Tab. 5.1. Porównanie zawartości składników mineralnych w wodzie źródlanej i w wodzie mineralnej

Składnik [mg na 1 dm ³ wody]	Woda źródlana	Woda mineralna
Na ⁺	9,70	10,71
K ⁺	1,60	0,78
Mg ²⁺	5,05	22,48
Ca ²⁺	43,69	131,26
HCO ₃ ⁻	165,00	542,60
Cl ⁻	4,66	2,58

Składnik [mg na 1 dm ³ wody]	Woda źródlana	Woda mineralna
SO ₄ ²⁻	13,30	3,20
F ⁻	–	0,30
SiO ₂	–	18,28
suma składników	269	742
pH	7,6	7,1

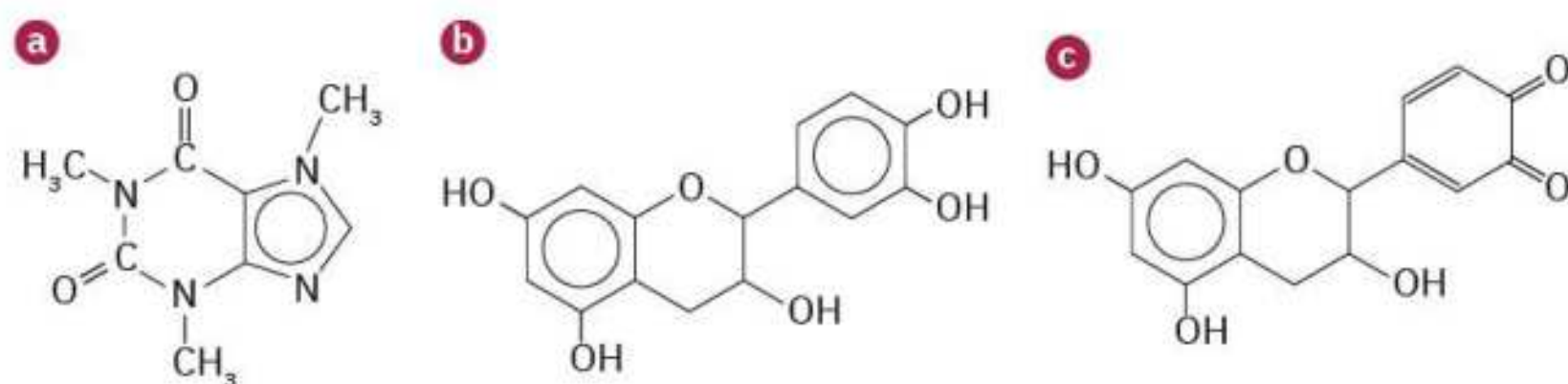
- słodzone napoje** ▶ Dużą popularnością cieszą się różnego rodzaju **słodzone napoje** gazowane, w szczególności napoje typu cola. Charakteryzują się one bardzo wysoką zawartością cukru, nierzadko przekraczającą 10% (!). Oznacza to, że są to napoje wysokokaloryczne, a spożywanie ich w większej ilości może prowadzić do nadwagi lub wręcz otyłości. Z tego względu producenci napojów słodzonych oferują
- syntetyczne słodziki** ▶ również ich wersje dietetyczne, w których cukier zastąpiono **syntetycznymi słodzikami**, na przykład aspartamem (rys. 5.1.a). Słodziki to substancje znacznie słodsze od cukru, zatem można ich użyć wielokrotnie mniej. Dzięki temu kaloryczność napoju spada praktycznie do zera.
- dodawanie kwasów do napojów** ▶ Aby zneutralizować bardzo słodki smak napojów, dodaje się do nich kwasów. Kombinacja smaku słodkiego i smaku kwaśnego ma dawać wrażenie orzeźwienia, przypominające to po wypiciu naturalnego soku owocowego. W większości napojów o syntetycznym owocowym smaku stosuje się w tym celu **kwas cytrynowy** (rys. 5.1.b), natomiast w napojach typu cola – mineralny kwas nieorganiczny – **kwas fosforowy(V)**. Dzięki obecności tego kwasu napoje typu cola mają silnie kwasowy odczyn, pH w granicach 1,8–2,8. Spożywanie tak kwaśnych napojów jest szkodliwe dla uzębienia, gdyż kwasy atakują szkliwo zębów. Kwaśne napoje mogą niekorzystnie wpływać także na żołądek. Zawartość kwasu fosforowego(V) w napojach typu cola jest tak wysoka, że można ich użyć do usuwania rdzy ze stalowych przedmiotów. Ten kwas reaguje z tlenkiem żelaza(III), stanowiącym główny składnik rdzy, i przekształca go w rozpuszczalne wodorofosforany żelaza(III). Ponadto napoje typu cola są silnie gazowane oraz zawierają
- kofeina** ▶ pewną ilość **kofeiny** (patrz niżej).



Rys. 5.1. Struktura chemiczna związków wchodzących w skład słodzonych napojów gazowanych: a) słodzik – aspartam, b) regulator kwasowości – kwas cytrynowy, c) regulator kwasowości – kwas fosforowy(V).

- kawa** ▶ Popularnymi napojami gorącymi są kawa i herbata. **Kawa** jest naparem sporządzonym z wyprażonych i zmielonych nasion krzewu kawowca *Coffea*. Zawiera znaczące ilości kofeiny – naturalnego alkaloidu występującego w ziarnach kawy (rys. 5.2.a). Kofeina wywiera wpływ na nasz organizm: działa stymulująco, redukuje uczucie zmęczenia i poprawia nastrój. Pobudza również wydzielanie soku

żołądkowego, co sprawia, że długotrwale spożywanie dużych ilości kawy może prowadzić do nadkwaśności. **Herbatę** przyrządza się z wysuszonych liści krzewów herbacianych z rodzaju *Camelia*. Znamy dwie zasadnicze odmiany herbaty – czarną i zieloną. Tę pierwszą otrzymuje się przez proste suszenie zebranych liści herbaty. W tym czasie, pod wpływem enzymów zawartych w liściach, zachodzą intensywne procesy utleniania zmieniające istotnie skład końcowego produktu. Aby otrzymać herbatę zieloną, na świeże liście działa się najpierw gorącym powietrzem lub parą wodną, a dopiero potem się je suszy. Wysoka temperatura niszczy enzymy zawarte w liściach, dzięki czemu podczas suszenia utlenianie nie zachodzi. Podobnie jak kawa, herbata zawiera znaczące ilości **kofeiny** (często kofeinę zawartą w herbacie nazywa się teiną, chociaż jest to ten sam związek chemiczny). Ponadto świeże liście herbaty zawierają **katechinę** i jej pochodne, określane zbiorczą nazwą katechin. Są to związki chemiczne z grupy polifenoli (rys. 5.2.b). Katechiny wywierają dobroczynny wpływ na nasz organizm i mają właściwości przeciwutleniaczy – reagują z silnymi środkami utleniającymi i je unieszkodliwiają. W ten sposób chronią organizm przed niebezpiecznymi dla niego reakcjami wolnorodnikowymi, które mogą prowadzić do powstania nowotworów. Herbata zielona jest bogata w katechiny, dzięki działaniu wysokiej temperatury, poprzedzającemu suszenie liści. Natomiast herbata czarna jest praktycznie pozbawiona katechin, które utleniają się do ciemnobrunatnych związków zawierających ugrupowanie chinonu (rys. 5.2.c) podczas suszenia, czego skutkiem jest również zmiana barwy.



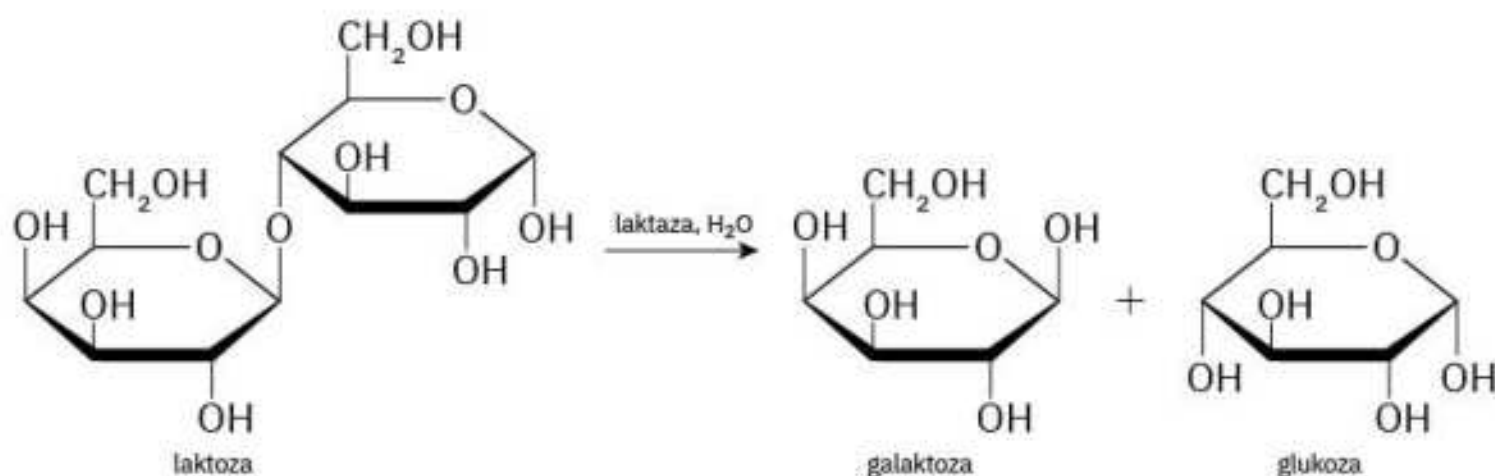
Rys. 5.2. Niektóre składniki zawarte w kawie i herbacie: a) kofeina (teina), b) katechina, c) przykładowy produkt utlenienia katechiny zawierający ugrupowanie chinonu (prawa część wzoru).

Specyficznym napojem jest **mleko**. Stanowi ono uniwersalny pokarm dla nowo narodzonego potomstwa ssaków. Zawiera więc wszystkie składniki niezbędne do prawidłowego rozwoju nowego organizmu: białka, węglowodany, tłuszcze, sole mineralne i witaminy. Białko, zwane **kazeiną**, tworzy koloidalny roztwór w roztworze wodnym disacharydu **laktozy** i soli mineralnych. W tej cieczy są zawieszone drobniutkie kropelki tłuszczu, które tworzą rodzaj stosunkowo trwałej emulsji. Skład mleka różni się w zależności od pochodzenia – w ta-

beli 5.2. porównano skład mleka ludzkiego i mleka krowiego. Różnice są dość istotne: mleko ludzkie zawiera znacznie mniej białka, natomiast wyraźnie więcej cukru. Z tego względu nie zawsze można bezpośrednio zastąpić mleko ludzkie mlekiem krowim. Aby mleko krowie nadawało się do karmienia noworodków, poddaje się je odpowiedniej modyfikacji. Mleko jest napojem dość kalorycznym, dlatego dla osób dbających o wagę ciała wprowadzono odtłuszczone warianty mleka, o obniżonej wartości energetycznej. Ze spożyciem mleka wiąże się problem **nietolerancji laktozy**. Po osiągnięciu dorosłości u niektórych osób zanika zdolność do wytwarzania enzymu laktazy, który katalizuje hydrolizę disacharydu laktozy do monosacharydów glukozy i galaktozy (rys. 5.3.). Te osoby nie mogą trawić laktozy, która niezmieniona dociera do końcowego odcinka przewodu pokarmowego zasiedlonego przez bakterie, gdzie staje się pokarmem dla tych mikroorganizmów. W wyniku bakteryjnych przemian metabolicznych powstają produkty gazowe: tlenek węgla(IV) czy metan, co powoduje nieprzyjemne dolegliwości (wzdęcia). W sklepach można kupić mleko niezawierające laktozy, która została rozłożona przez uprzednie dodanie enzymu laktazy. Mleko krowie stanowi ważny surowiec dla przemysłu spożywczego. Wyrabia się z niego wiele produktów, takich jak jogurty, sery, masło czy śmietanę.

Tab. 5.2. Średnia zawartość głównych składników odżywczych w mleku ludzkim i krowim (w procentach masowych)

	Mleko ludzkie	Mleko krowie
białko	1,1%	3,4%
tluszcz	4,2%	3,6%
laktoza	7,0%	4,6%
wartość energetyczna	0,72 kcal/g	0,66 kcal/g



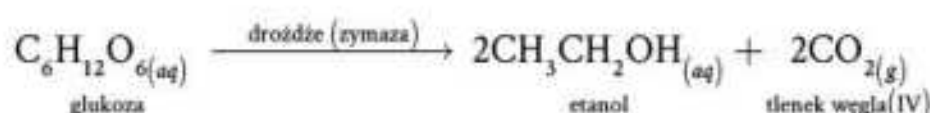
Rys. 5.3. Schemat działania enzymu laktazy.

5.2. Procesy fermentacyjne w przetwórstwie żywności

W przetwórstwie żywności wykorzystuje się procesy fermentacyjne, czyli przemiany związków chemicznych zachodzące pod wpływem mikroorganizmów, a ściślej – pod wpływem enzymów wytwarzanych przez te mikroorganizmy. Szczególne znaczenie mają fermentacja alkoholowa, fermentacja octowa i fermentacja mlekowa.

Fermentacja alkoholowa polega na przemianie cukrów prostych (takich jak glukoza) w etanol i tlenek węgla(IV) pod wpływem enzymu zymazy, wytwarzanego przez drożdże – jednokomórkowe grzyby z rodzaju *Saccharomyces*. Reakcja zachodzi w warunkach beztlenowych w wodnych roztworach cukru, zgodnie z równaniem:

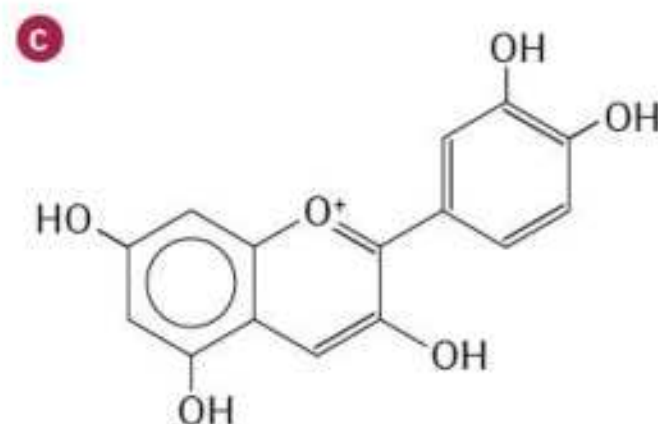
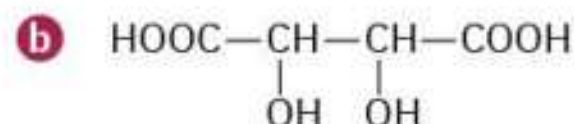
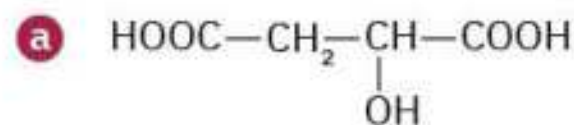
◀ fermentacja alkoholowa



Od wieków ten proces wykorzystuje się do wytwarzania wina i piwa, a także jako pierwszy etap produkcji wysokoprocentowych napojów alkoholowych, na przykład wódek, whisky. W produkcji **wina** cukier pochodzi z soku owocowego, głównie winogron. Owoce zgniata się, aby uzyskać moszcz (surowy sok wytłaczany z owoców) lub sok. Następnie powstały produkt poddaje się fermentacji, w której uczestniczą drożdże. Fermentacja zachodzi pod wpływem drożdży żyjących dziko na powierzchni owoców lub specjalnych, wyselekcjonowanych szczepów drożdży dodawanych do mieszaniny. Po zakończeniu fermentacji płyn oddziela się od osadu (martwe drożdże, pozostałości owoców) i zazwyczaj poddaje się leżakowaniu w beczkach dębowych. Zabieg ten poprawia właściwości wina, ponieważ podczas leżakowania zachodzą różnorodne reakcje dzięki udziałowi drewna (głównie zawartej w nim ligniny), które nadają napojowi odpowiedni smak i cierpkość.

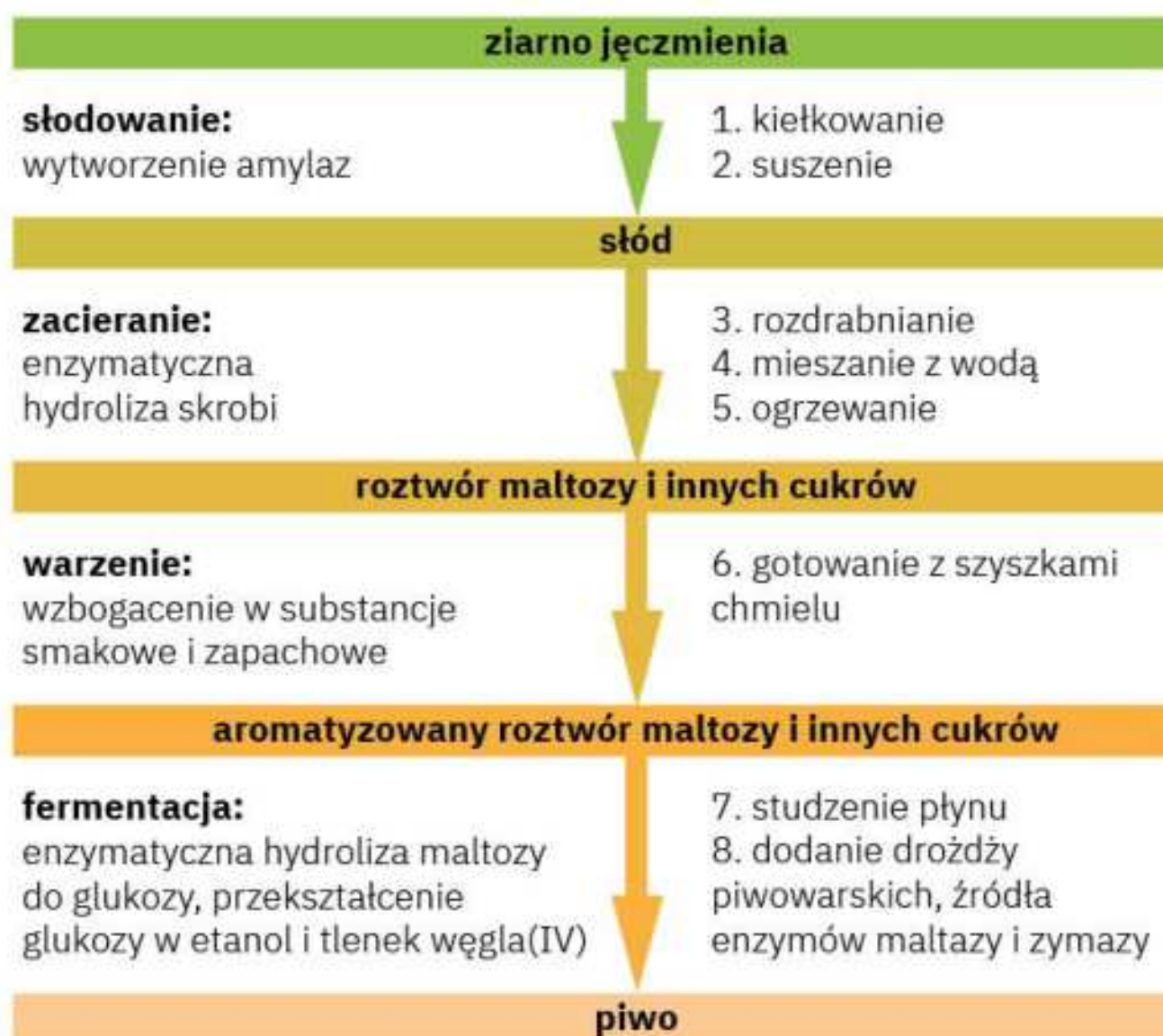
◀ produkcja wina

Wino czerwone zawdzięcza swoją barwę barwnikom antocyjanowym – pochodnym cyjanidyny (rys. 5.4.c), zawartym w skórcie ciemnych odmian winogron. **Wino białe** charakteryzuje się intensywnym aromatem, wynikającym z obecności estrów etylowych, tworzących się podczas fermentacji prowadzonej w niskiej temperaturze. Typowa zawartość etanolu w winie wynosi 10–15%. Wino zawiera również sporo kwasów organicznych, takich jak kwas jabłkowy i kwas winowy, pochodzących z soku owocowego. Zatem jest to napój o wyraźnie kwasowym odczynie – wartość pH mieści się zazwyczaj między 3,2 a 3,6.



Rys. 5.4. Niektóre składniki zawarte w winie: a) kwas jabłkowy, b) kwas winowy, c) cyjanidyna; barwniki czerwone w winie są pochodnymi cyjanidyny, zwróć uwagę na nietypowe wiązanie atomu tlenu obdarzonego ładunkiem dodatnim.

produkcja piwa ▶ W produkcji **piwa** (rys. 5.5.) źródłem cukrów poddawanych fermentacji jest przede wszystkim ziarno jęczmienia. To ziarno zawiera dużo skrobi, która co prawda jest cukrem (polisacharydem), ale nie ulega bezpośredniej fermentacji pod wpływem zymazy. Zatem najpierw skrobię trzeba przekształcić w cukry proste. Ziarno jęczmienia nawilża się wodą i pozwala się mu wykiełkować. W kiełkującym ziarnie powstają amylazy – enzymy katalizujące hydrolizę wiązań glikozydowych w skrobi. W ten sposób powstaje **słód**, który suszy się, rozdrabnia, miesza z wodą i ogrzewa przez dłuższy czas w temperaturze około 60°C. Podczas tego procesu, zwanego zacieraniem, skrobia zawarta w ziarnie stopniowo ulega działaniu amylaz i hydrolizuje z utworzeniem cukrów o prostszej strukturze, głównie maltozy. Powstały słodki roztwór gotuje się następnie z szyszkami chmielowymi w procesie warzenia, dzięki czemu wzbogaca się on w substancje smakowe i zapachowe. Po ostudzeniu do uzyskanego płynu dodaje się drożdże piwowskich w celu przeprowadzenia fermentacji alkoholowej. Drożdże, oprócz zymazy, wytwarzają również enzym maltazę. Maltaza przekształca maltozę w glukozę, zatem fermentacja może przebiegać bez przeszkód. Płyn stopniowo wzbogaca się w etanol (jego stężenie osiąga zazwyczaj 4–6% obj.) i nasycą się tlenkiem węgla CO₂ powstającym podczas fermentacji. Ostatecznie w ten sposób otrzymujemy produkt końcowy powszechnie znany jako piwo.



Rys. 5.5. Schemat produkcji piwa.

W miarę przebiegu fermentacji stężenie etanolu w roztworze stopniowo rośnie i w końcu zaczyna on wywierać działanie toksyczne na komórki drożdży oraz powodować denaturację białkowych cząsteczek enzymów. Dlatego po przekroczeniu pewnego stężenia proces fermentacji samorzutnie się zatrzymuje. Maksymalne stężenie etanolu, które można osiągnąć w procesie fermentacji, nie przekracza 20% objętości. Wysokoprocentowe napoje alkoholowe, zawierające więcej etanolu, otrzymuje się w wyniku destylacji roztworu pofermentacyjnego. W tym procesie wykorzystuje się różnicę temperatur wrzenia etanolu (78°C) i wody (100°C). Otrzymany destylat, zwany spirytusem, zawiera 96,5% objętości etanolu. Przez zmieszanie z wodą i ewentualnymi innymi dodatkami wytwarza się takie napoje, jak wódki, likiery czy nalewki.

Fermentację alkoholową, jak również inne procesy enzymatyczne, wykorzystuje się również w piekarnictwie, na przykład w procesie wyrastania ciasta na **chleb**. Tradycyjne ciasto na chleb przygotowuje się z czterech podstawowych składników: mąki, wody, odrobiny soli oraz drożdży (lub zakwasu chlebowego). Ważnym etapem przygotowania ciasta na chleb jest jego wyrabianie, to znaczy długotrwałe mieszanie mechaniczne lub ręczne. Wyrabianie nie tylko służy dokładnemu wymieszaniu składników, lecz także pozwala na uwolnienie pewnej ilości amylaz z mąki (która jest zmielonym ziarnem zbóż, np. pszenicy, żyta). Dodatkowo długie, splątane łańcuchy białek zawartych w mące (tzw. glutenu) się rozwijają, dzięki czemu ciasto nabiera elastyczności. Pod wpływem amylaz nieco skrobi zawartej w ziarnie przekształca się w maltozę, a ta w glukozę, która dalej ulega fermentacji alkoholowej wskutek działania drożdży (lub innych mikroorganizmów zawartych w zakwasie). Pęcherzyki wytworzonego tlenu węgla(IV) spulchniają ciasto, co sprawia, że jego struktura staje się lżejsza i delikatniejsza. Wyrośnięte bochenki chleba wkłada się do pieca, w którym zachodzą dalsze przemiany. Początkowo w wysokiej temperaturze pęcherzyki gazu rozszerzają się i ciasto dalej rośnie. Po przekroczeniu temperatury 100°C rozpoczyna się denaturacja białek zawartych w cieście, dzięki czemu jego porowata struktura zostaje utrwalona. W jeszcze wyższej temperaturze na powierzchni bochenka zachodzą reakcje chemiczne prowadzące do powstania zrumienionej, apetycznej skórki.

4 wyrastanie chleba

Rozcieńczone roztwory etanolu, na przykład wino i piwo, mogą ulegać **fermentacji octowej**. W tym procesie biorą udział tlen z powietrza oraz enzymy wytwarzane przez bakterie z rodzaju *Acetobacter*, zgodnie z równaniem:

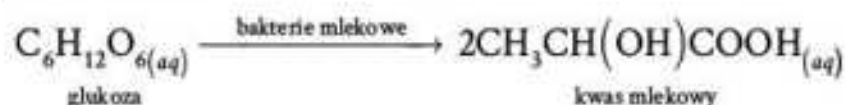
4 fermentacja octowa



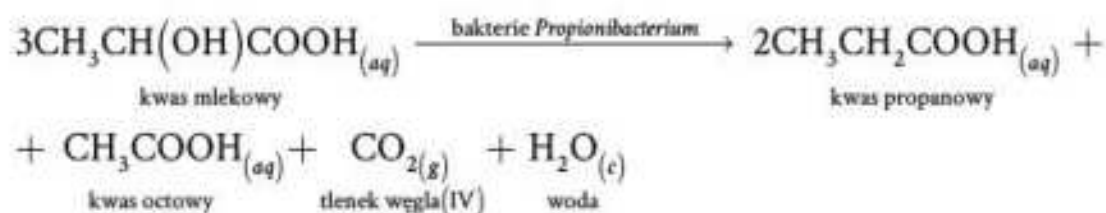
Fermentację octową stosuje się do wytwarzania octu winnego lub spirytusowego. W podobny sposób z glukozy wytwarza się kwas cytrynowy. W tym celu wykorzystuje się działanie pleśni *Aspergillus niger*:



- Bakterie mlekowe, na przykład z rodzaju *Lactobacillus*, wywołują **fermentację mlekową** cukrów prostych. W jej wyniku te cukry przekształcają się w kwas mlekowy, zgodnie z równaniem:



Przemianę tę szeroko wykorzystuje się w przemyśle spożywczym. Fermentację mlekową stosuje się na przykład w produkcji kiszonej kapusty, ogórków i innych warzyw. Kwas mlekowy, wytworzony z cukrów zawartych w warzywach, nadaje im charakterystyczny smak i zwiększa ich trwałość, gdyż w środowisku kwasowym szkodliwe mikroorganizmy rozwijają się mniej chętnie. Fermentację mlekową stosuje się na szeroką skalę w **przemyśle mleczarskim**. Pod wpływem bakterii mlekowych laktoza zawarta w mleku zostaje przekształcona w kwas mlekowy, co powoduje zmianę smaku oraz wyraźną zmianę konsystencji. Ta ostatnia wiąże się z denaturacją białek mleka, zachodzącą z powodu wzrostu kwasowości środowiska. Z tego względu produkty takie jak jogurt, kefir czy zsiadłe mleko mają gęstą, półstałą konsystencję. Białka wytrącone w ten sposób można oddzielić od reszty składników płynu i otrzymać twaróg. Białka mleka ścinają się również pod wpływem innych czynników, na przykład enzymów uzyskanych z żołądków cielęcych (pepsyny i podpuszczki). Wytrącona masa białkowa stanowi podstawę do produkcji serów, w której stosuje się jeszcze inne procesy fermentacyjne, wywoływane przez różnorodne mikroorganizmy. Na przykład przy wytwarzaniu sera edamskiego wykorzystuje się **fermentację propionową**:



Powstająca w jej wyniku mieszanina kwasu octowego i propionowego nadaje charakterystyczny smak i zapach temu gatunkowi sera.

5.3. Dodatki do żywności

Produkty żywnościowe stanowią pokarm nie tylko dla człowieka, lecz także dla innych organizmów. W niezabezpieczonej żywności, dzięki obfitości wartościowych składników odżywczych, mogą się swobodnie rozwijać różnorodne mikroorganizmy – bakterie, grzyby czy pleśnie. Produkty przemiany materii tych mikroorganizmów trafiają z powrotem do żywności, co stopniowo pogarsza jej walory smakowe i zapachowe, aż w końcu żywność przestaje się nadawać do spożycia przez człowieka. Ponadto niektóre mikroorganizmy mogą wydzielать niebezpieczne dla nas toksyny, powodujące groźne zatrucia. Na przykład łasiec jadu kielbasianego *Clostridium botulinum* wydzielają toksyczną botulinę.

Za najważniejszą przyczynę psucia się żywności odpowiada jej mikrobiologiczny rozkład. Dlatego też wysiłki człowieka mające na celu wydłużenie zdatności do spożycia produktów spożywczych są skierowane przede wszystkim przeciwko szkodliwym mikroorganizmom.

Człowiek od dawna stosuje różnorodne sposoby ochrony żywności przed zepsuciem. Jednym z nich jest **suszenie** żywności, co pozbawia mikroorganizmy środowiska niezbędnego dla ich rozwoju. Podobnie działa **solenie**, które na skutek zjawiska osmozy powoduje migrację cząsteczek wody z wnętrza komórki przez błonę komórkową na zewnątrz i w konsekwencji zasychanie komórek. **Pasteryzacja**, wynaleziona w XIX w., polega na ogrzewaniu żywności w szczelnie zamykanych pojemnikach (słoikach, puszkach), co uśmierca mikroorganizmy, więc chroni żywność przed ich rozwojem. Skuteczną metodą pozbycia się mikroorganizmów jest **pozbawienie** ich **tłenu** przez pakowanie w próżni lub w atmosferze gazu obojętnego (azotu, argonu). Usunąć drobnoustroje można również za pomocą **działania promieniowaniem jonizacyjnym**. **Obniżenie temperatury** spowalnia wszelkie reakcje chemiczne, również procesy biochemiczne, dlatego też bardzo popularną metodą ochrony żywności przed zepsuciem jest jej przechowywanie w niskiej temperaturze (lodówki, zamrażarki). Inną metodą jest **stosowanie substancji chemicznych szkodliwych dla mikroorganizmów**. Mogą to być substancje pochodzenia naturalnego, na przykład fenole znajdujące się w dymie wędzarniczym lub olejkach eterycznych niektórych roślin przyprawowych (tymianku, szalwii), antybiotyki roślinne (czosnek), kwasy (kwas mlekowy w kiszanej żywności, kwas octowy). Wreszcie mogą być to substancje syntetyczne dodawane do żywności w niewielkich ilościach, zwane popularnie **konserwantami**. Najszerzej stosowanymi konserwantami są kwas benzoesowy, kwas sorbowy oraz sole tych kwasów. Do utrwalania przetworów owocowych, soków i wina stosuje się najczęściej tlenek siarki(IV) lub sole kwasu siarkowego(IV) (patrz tab. 5.3.).

Składniki żywności mogą ulegać niekorzystnym przemianom chemicznym również bez udziału mikroorganizmów. Przykładem takiej przemiany jest zjawisko **jelczenia** tłuszczów, wywołane przez reakcję z tlenem atmosferycznym. Ta reakcja zachodzi w pobliżu wiązań podwójnych $C=C$ w resztach nienasyconych kwasów tłuszczowych i rozpoczyna się od oderwania atomu wodoru przez rodnik hydroksylowy, obecny w niewielkich ilościach w powietrzu. Powstały rodnik organiczny łączy się z cząsteczką tlenu, czemu towarzyszy utworzenie się rodnika nadtlenkowego. Ugrupowanie nadtlenkowe jest bardzo reaktywne i reaguje dalej z atomami z sąsiedztwa, w wyniku czego powstaje złożona mieszanina produktów utlenienia: alkoholi, aldehydów, ketonów i kwasów karboksylowych. Są to związki o nieprzyjemnym zapachu i smaku, negatywnie wpływające na jakość żywności. W celu ochrony przed jelczeniem dodaje się **przeciwutleniaczy** – związków chętnie reagujących z tlenem. Przeciwutleniacze wiążą

◀ sposoby ochrony żywności

się z tym pierwiastkiem i w ten sposób zapobiegają jego reakcji z cząsteczkami tłuszczów. Najpowszechniej stosowanym przeciwutleniaczem jest kwas askorbinowy, znany również jako witamina C.

Doświadczenie 1. Badanie właściwości przeciwutleniających kwasu askorbinowego

Odczynniki: heptahydrat siarczanu(VI) żelaza(II) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, tiocyjanian amonu NH_4SCN , woda utleniona (3% wodny roztwór nadtlenu wodoru), kwas askorbinowy, świeża cytryna

Uwaga: Sól żelaza(II) nie może być zanieczyszczona brunatnymi związkami żelaza(III). Powinna mieć barwę seledynowoniebieską.

Sprzęt laboratoryjny: trzy zlewki o pojemności 100 cm^3 , trzy zlewki o pojemności 250 cm^3 , pipety Pasteura lub zakraplacze

Opis:

W zlewkach o pojemności 250 cm^3 odmierzyć po 100 cm^3 wody. Do pierwszej dodać 1 g kwasu askorbinowego, do drugiej – 1,5 g tiocyjanianu amonu, a do trzeciej – 5 g heptahydratu siarczanu(VI) żelaza(II). Wymieszać zawartość każdej zlewki do uzyskania jednorodnych roztworów. Roztwór soli żelaza przeleć do trzech zlewek o pojemności 100 cm^3 – porcje powinny być w przybliżeniu równe. Do każdej z nich dodać, za pomocą pipety lub wkraplacza, około 2 cm^3 roztworu tiocyjanianu amonu. Roztwory otrzymane w ten sposób powinny być praktycznie bezbarwne. Następnie do pierwszej zlewki dodać około 1 cm^3 roztworu kwasu askorbinowego, a do drugiej wycisnąć sok z połówki cytryny. Wymieszać zawartość obu zlewek, a trzecią pozostawić bez zmian. Na koniec do każdej ze zlewek dodać za pomocą pipety (wkraplacza) po mniej więcej 1 cm^3 wody utlenionej. Obserwuj zmiany barwy roztworu.

Obserwacje:



Kryształy siarczanu(VI) żelaza(II) – woda (1/7).



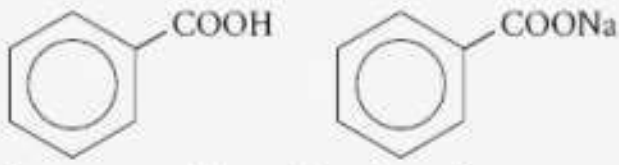
Efekt końcowy doświadczenia obserwowany w trzeciej zlewce.

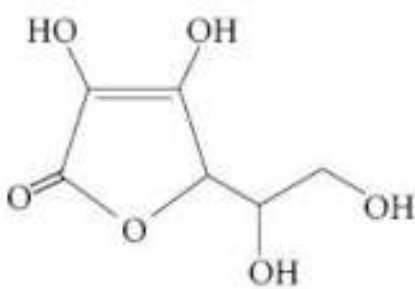
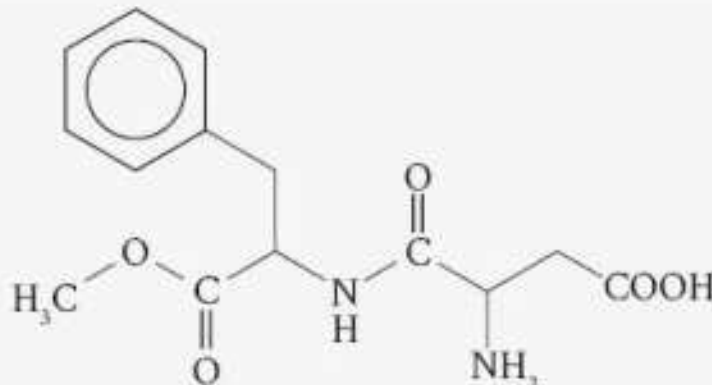
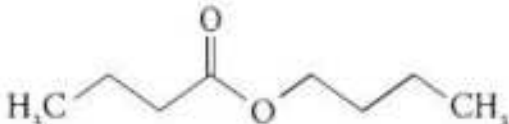
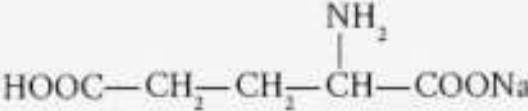
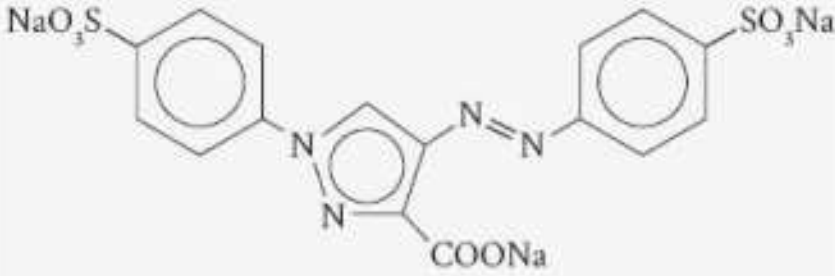
Nadtlenek wodoru utlenia jony żelaza(II) do jonów żelaza(III), które z kolei reagują z jonami tiocyjanianowymi SCN^- , czemu towarzyszy powstanie intensywnie zabarwionego czerwono-brunatnego jonu kompleksowego $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$. Ten efekt obserwujemy w zlewce trzeciej. Natomiast w pierwszej i drugiej zlewce nie dochodzi do trwałej zmiany zabarwienia, gdyż obie zawierają kwas askorbinowy (w drugiej zlewce pochodzi on z soku cytrynowego), który zapobiega utlenieniu jonów Fe^{2+} do Fe^{3+} – jest zatem przeciwutleniaczem.

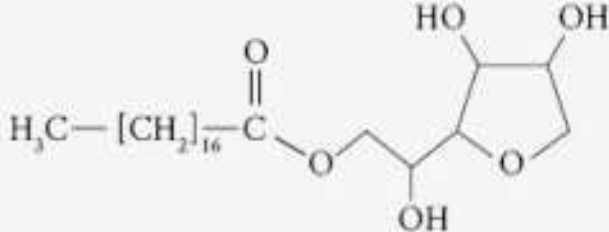
Poza konserwantami i przeciwutleniaczami istnieje jeszcze bardzo wiele innych dodatków do żywności, pełniących określone funkcje. Niektóre dodatki poprawiają smak, zapach lub kolor produktów spożywczych. Inne stanowią regulatory kwasowości, zagęstniki czy stabilizatory emulsji. Przykłady najczęściej stosowanych dodatków przedstawiono w tabeli 5.3. Dodatki do żywności uznane za bezpieczne dla zdrowia człowieka i dozwolone do stosowania w krajach Unii Europejskiej zostały umieszczone na tak zwanej liście E. Ujętym na niej dodatkom przypisano umowny symbol rozpoczynający się literą E (patrz tab. 5.3.). Szacuje się, że statystyczny mieszkaniec UE spożywa średnio około 2 kg dodatków z listy E w ciągu roku.

Wokół stosowania dodatków do żywności istnieje wiele kontrowersji. Najważniejsza wypływa z obawy konsumentów przed szkodliwym działaniem dodatków na zdrowie człowieka. Rzeczywiście, niektóre z nich mogą prowadzić do reakcji alergicznych, zwłaszcza u dzieci lub osób starszych. Jednakże w dobie masowej produkcji pakowanej żywności, rozwożonej następnie do punktów sprzedaży detalicznej, rezygnacja z dodatków (zwłaszcza konserwantów i przeciwutleniaczy) jest w zasadzie niemożliwa. Spożycie zepsutej wędliny jest niewątpliwie bardziej szkodliwe dla zdrowia niż spożycie wędliny zawierającej środki konserwujące.

Tab. 5.3. Charakterystyka wybranych dodatków do żywności

Symbol E	Nazwa i struktura	Zastosowanie
E210 E211	 kwas benzoesowy i jego sól sodowa (benzoesan sodu)	konserwant
E200 E201	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$ $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{COONa}$ kwas sorbowy i jego sól sodowa (sorbinian sodu)	konserwant
E221	Na_2SO_3 siarczan(IV) sodu	konserwant i przeciwutleniacz, stosowany głównie w przetworach owocowych

Symbol E	Nazwa i struktura	Zastosowanie
E300	 kwask askorbinowy	przeciwutleniacz, zapobiega jęlczeniu oraz zmianie koloru barwników, których cząsteczki zawierają wiązania podwójne C=C
E951	 aspartam	słodzik
-	 maślan butylu	substancja aromatyzująca o zapachu ananasa
E621	 glutaminian sodu	wzmacniacz smaku, wzmacnia smak „mięśny” potraw
E330	 kwask cytrynowy	regulator kwasowości, nadaje odpowiednią kwasowość napojom oraz produktom żywnościowym
E102	 tartrazyna	barwnik (kolorant) o barwie żółtej, dodawany np. do masła w celu poprawienia jego koloru
E441	żelatyna, rozpuszczalne białko otrzymane z kości, ścięgien i skóry zwierząt rzeźnych	zagęstnik, na gorąco rozpuszcza się w wodzie, po ostygnięciu tworzy żel o półstałej konsystencji

Symbol E	Nazwa i struktura	Zastosowanie
E491	 monostearynian sorbitanu	stabilizator emulsji, środek powierzchniowo czynny, stosowany np. w lodach, sosach emulsyjnych

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. W celu oznaczenia zawartości jonów wodorowęglanowych HCO_3^- do 1 dm^3 wody mineralnej dodano nadmiar wody wapiennej (wodnego nasyconego roztworu wodorotlenku wapnia $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Wytrącony osad węglanu wapnia CaCO_3 po odsączeniu, przemyciu i wysuszeniu miał masę $1,18 \text{ g}$.
 - a) Zapisz równanie reakcji zachodzącej podczas tej analizy.
 - b) Oblicz masę jonów wodorowęglanowych zawartą w badanej wodzie mineralnej. Odpowiedź podaj w miligramach HCO_3^- na 1 dm^3 wody.
2. Napój typu cola zawiera $10,6\%$ cukru i ma gęstość $1,04 \text{ g/cm}^3$. Oblicz, ile gramów aspartamu znajduje się w półlitrowej butelce tego napoju w wersji bez cukru, jeżeli aspartam jest 180 razy słodszy od cukru. Przyjmij, że napój w wersji dietetycznej jest tak samo słodki jak w wersji zawierającej cukier.
3. Na podstawie wzoru chemicznego aspartamu przedstawionego na rysunku 5.1.a określ, jakie produkty powstaną w wyniku działania na aspartam roztworem:
 - a) kwasu solnego,
 - b) wodorotlenku sodu.Podaj nazwy tych produktów oraz nazwę wiązania między grupą NH a grupą $\text{C}=\text{O}$.
4. Wartość energetyczna tłuszczów wynosi około 9 kcal/g , cukrów – 4 kcal/g , a białek – 4 kcal/g . Oblicz, ile w przybliżeniu kalorii spożyjemy, jeśli wypijemy 200 g mleka:
 - a) pełnego, o zawartości $3,2\%$ tłuszczów,
 - b) odtłuszczonego, o zawartości $0,5\%$ tłuszczu.Przyjmij, że zawartość białek i laktozy w obydwu rodzajach mleka jest taka sama i wynosi odpowiednio $3,4\%$ i $4,6\%$, a pozostałe zawarte w mleku składniki nie mają wpływu na jego kaloryczność.
5. Oblicz, ile procent (masowych) etanolu będzie zawierać wino, jeżeli sok z winogron użyty do fermentacji zawierał 20% (masowych) glukozy i cały cukier uległ przekształceniu w etanol.

6. Wyjaśnij, dlaczego w wyniku działania bakterii mlekowych mleko się ścina (przyjmuje konsystencję półstałą).
7. Podaj argumenty za stosowaniem konserwantów i przeciwutleniaczy jako dodatków do żywności oraz przeciw stosowaniu tych substancji.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 105, 106 ▶ • Wody, głównie źródlane i mineralne, nie tylko pozwalają człowiekowi uzupełnić niedobory płynów w organizmie, lecz także dostarczają składników mineralnych niezbędnych do zachowania zdrowia. Słodzone napoje gazowane zawierają znaczne ilości cukru. Ponadto są to napoje o wysokiej kwasowości. Kofeina zawarta w kawie i herbacie działa pobudzająco. Katechiny, obecne głównie w zielonej herbacie, mają działanie przeciwutleniające. Mleko zawiera wszystkie niezbędne składniki odżywcze: białko, cukier, tłuszcze i sole mineralne.
- s. 109, 111, 112 ▶ • Procesy fermentacyjne powszechnie wykorzystuje się w przetwórstwie żywności, między innymi do wytwarzania napojów alkoholowych, pieczywa, octu i przetworów mlecznych.
- s. 113 ▶ • Istnieje wiele sposobów zabezpieczania żywności przed zepsuciem wskutek działania szkodliwych mikroorganizmów. Do takich sposobów należą: suszenie, solenie, pasteryzacja, pakowanie w atmosferze beztlenowej, przechowywanie w niskiej temperaturze czy stosowanie konserwantów. Oprócz konserwantów w przetwórstwie żywności stosuje się wiele innych dodatków do żywności, takich jak: przeciwutleniacze, środki smakowe i zapachowe, barwniki, regulatory kwasowości, zagęstniki i stabilizatory emulsji.

6. Odpady stałe i ich utylizacja

NA TEJ LEKCJI:

- przypomnisz sobie, jakie materiały stosuje się najczęściej do wyrobu opakowań i jakie są ich najważniejsze cechy użytkowe;
- zapoznasz się z metodami recyklingu opakowań papierowych, szklanych, metalowych i z tworzyw sztucznych;
- dowiesz się, w jaki sposób utylizuje się odpady organiczne pochodzenia roślinnego;
- poznasz metody zagospodarowania odpadów zmieszanych i dowiesz się, jak jest zbudowane składowisko takich odpadów;
- odkryjesz zalety i wady utylizacji odpadów w spalarniach.

Przeciętny mieszkaniec naszego globu dziennie wytwarza około 2,3 kg odpadów stałych. To oznacza, że codziennie na świecie pojawia się łącznie ponad 18 milionów ton śmieci. W większości są to zużyte opakowania oraz odpady organiczne, czyli resztki żywności i odpady roślinne pochodzące z ogrodów czy parków. Odpady poddaje się różnorodnym procesom utylizacji, aby zmniejszyć ich ilość oraz przeciwdziałać ich negatywnemu wpływowi na środowisko.

6.1. Opakowania i ich recykling

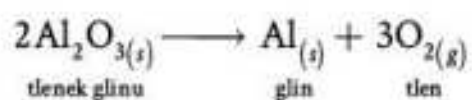
Opakowania – pojemniki, puszki, butelki, kartony czy torby – stanowią powszechny element naszej codzienności. W zależności od przeznaczenia wytwarza się je z różnych materiałów: celulozy, szkła, metalu lub tworzyw sztucznych. Najważniejszym sposobem ich utylizacji jest **recykling**, czyli przetworzenie, po którym materiał opakowań może być wykorzystany ponownie. Metody recyklingu zależą od rodzaju materiału opakowania. ◀ recykling

Papier i karton, czyli materiały wytwarzane z celulozy (patrz podrozdz. 1.2., s. 64), są wykorzystywane do produkcji różnego rodzaju pudeł, toreb, arkuszy papieru pakowego czy pojemników na jajka. Papier jest materiałem tanim. Wykazuje się umiarkowaną wytrzymałością mechaniczną, mimo to doskonale nadaje się jako materiał na opakowania. Tym bardziej że łatwo można go poddać recyklingowi i wykorzystać do wyrobu opakowań, których barwa nie ma większego znaczenia. Częściową utratę właściwości mechanicznych papieru można zrekompensować przez zwiększenie grubości kartonu. ◀ papier i karton

Ze **szkła** wykonuje się głównie opakowania na płyny: butelki i słoiki. Szkło można barwić na różne kolory. Jest ono materiałem obojętnym chemicznie, dzięki czemu doskonale nadaje się do pakowania żywności i napojów. Do oczywistych wad szkła należą jego podatność na stłuczenie oraz stosunkowo wysoka gęstość (ok. 2,5 g/cm³). W rezultacie opakowania szklane są dość ciężkie, gdyż ich ścian- ◀ szkło

ki muszą mieć grubość zapewniającą odpowiednią wytrzymałość mechaniczną. Recykling opakowań szklanych polega na ich posortowaniu ze względu na kolor, rozdrobnieniu mechanicznym i dodaniu uzyskanej stłuczki do stopionej masy w piecu szklarskim. Szkło z recyklingu jest materiałem pełnowartościowym, jego właściwości użytkowe nie pogarszają się w wyniku powtórnego przetworzenia.

metale ▶ **Metale**, przede wszystkim stal i aluminium, stosuje się do produkcji puszek, wiader czy beczek. Te opakowania są mocne i relatywnie lekkie, gdyż ze względu na wysoką wytrzymałość mechaniczną metali ich ściany mogą być stosunkowo cienkie. **Puszki stalowe** wykorzystuje się jako opakowania do konserw, a także jako pojemniki na preparaty techniczne, takie jak farby i kleje. Żelazo jest materiałem dość reaktywnym, który może ulegać korozji oraz różnym reakcjom ze składnikami żywności. Z tego względu blacha na puszki do konserw jest pokryta galwanicznie ochronną warstwą cyny znacznie mniej reaktywnej. Wnętrze puszki często zabezpiecza się dodatkowo warstwą niereaktywnego polimeru, gdyż bezpośredni kontakt metalu z żywnością może prowadzić do niepożądanych reakcji, skutkujących zmianą smaku i wyglądu zawartości. Wiąże się z tym jednak podwyższone ryzyko przenikania substancji szkodliwych dla zdrowia z tworzywa sztucznego do żywności. Napoje typu cola lub piwo umieszcza się w **puszkach aluminiowych**, wykonanych z glinu o technicznym stopniu czystości. Dzięki zjawisku pasywacji (tzn. pokrywaniu się powierzchni metalu cienką, szczelną warstwą niereaktywnego tlenku glinu Al_2O_3) aluminium nie wchodzi w reakcje ze składnikami żywności i można je z powodzeniem stosować jako pojemniki do napojów. Metale należą do grupy materiałów, które od dawna poddaje się recyklingowi jako tak zwany **złom metali**. Złom dodaje się do stopionego metalu otrzymywanego w procesach metalurgicznych. Recykling metali jest bardzo opłacalny ekonomicznie – pozwala zaoszczędzić energię niezbędną do przeprowadzenia endotermicznego procesu redukcji związków chemicznych metali zawartych w rudzie. Na przykład, aby zredukować jeden kilogram tlenku glinu Al_2O_3 do metalicznego glinu Al , zgodnie z równaniem:



potrzeba praktycznie 220000 kJ energii elektrycznej (glin wytwarza się metodą elektrolityczną). Natomiast do stopienia tej samej ilości glinu w postaci złomu wystarczy zaledwie około 1000 kJ, zatem 220 razy mniej energii.

tworzywa sztuczne ▶ Do produkcji opakowań z **tworzyw sztucznych** stosuje się przede wszystkim polimery termoplastyczne, na przykład:

- **poli(tereftalan etylenu), PET** – przezroczyste tworzywo z grupy poliestrów, używane głównie do wytwarzania plastikowych butelek na napoje: wodę butelkowaną czy słodzone napoje gazowane;

- **polistyren, PS** – sztywny, dość kruchy polimer, z którego wytwarza się pojemniki na śmietanę, jogurty i inne produkty żywnościowe; spieniony polistyren (zwany styropianem) wykorzystuje się do tworzenia tacek do paczkowanej żywności, opakowań termoizolacyjnych;
- **polietylen, PE i polipropylen, PP** – tworzywa na różnego rodzaju pojemniki (butelki do mleka, pojemniki na kosmetyki i płynne środki czystości) oraz materiał, z którego wyrabia się cienką folię na jednorazowe torby na zakupy, woreczki foliowe czy też folię do pakowania.

Pierwotnym źródłem surowców do produkcji polimerów jest **ropa naftowa**. ◀ ropa naftowa
 O ogromnej popularności opakowań z tworzyw sztucznych zadecydowały ich bardzo korzystne walory użytkowe. Termoplastyczne polimery łatwo się formuje. Wystarczy je ogrzać powyżej temperatury mięknienia, a następnie nadać im pożądaną kształt, na przykład przez wytłaczanie, formowanie wtryskowe lub wydmuchiwanie rękawa foliowego. Opakowania z tworzyw sztucznych są lekkie, wytrzymałe i obojętne chemiczne, co sprawia, że nadają się do pakowania żywności. Zasadniczą wadą tych materiałów jest ich wysoka odporność chemiczna. Opakowania z tworzyw sztucznych są bardzo trwałe, przez co niezwykle powoli ulegają **biodegradacji** (czyli biochemicznemu rozkładowi przez mikroorganizmy żyjące w środowisku naturalnym). Z tego powodu zużyte opakowania wprowadzone do środowiska zaśmiecają je na bardzo długi czas. Recykling termoplastycznych tworzyw sztucznych polega na posortowaniu odpadów na poszczególne rodzaje polimerów, rozdrobnienie, stopienie w podwyższonej temperaturze i uformowanie, na przykład w granulaty, który dalej można wykorzystać do produkcji nowych wyrobów. Jednak tworzywo z recyklingu zazwyczaj ma nieco gorsze walory użytkowe niż nowy polimer: jest mniej wytrzymałe, często ma trwałe, niezbyt estetyczne zabarwienie. Dlatego tworzywa z recyklingu stosuje się przede wszystkim do wyrobów, w których estetyka i wytrzymałość odgrywają mniejszą rolę, na przykład worków na śmieci, pojemników na odpady, rur kanalizacyjnych. Recykling tworzyw sztucznych wymaga na tyle dużych nakładów energii (potrzebnej chociażby do stopienia polimeru), że koszt wytworzenia polimeru z recyklingu może być wyższy niż koszt zsyntezowania go bezpośrednio z odpowiednich monomerów. Mimo to proces ten prowadzi się na szeroką skalę, przede wszystkim ze względu na konieczność ochrony środowiska.

Odpady, aby były zdatne do recyklingu, należy najpierw poddać segregacji. Od kilku lat w naszym kraju istnieje obowiązek segregacji na pięć kategorii: papier, szkło, metale i tworzywa sztuczne, odpady ulegające biodegradacji (nazywane odpadami bio) oraz odpady zmieszane (resztkowe), których nie da się już lepiej posegregować. Aby ułatwić segregację, worki i pojemniki na poszczegól-

ne rodzaje odpadów zazwyczaj oznacza się odpowiednimi kolorami (rys. 6.1.). Rozdzielone odpady są odbierane przez wyspecjalizowane firmy. Te nadające się do recyklingu przekazuje się dalej do odpowiednich przetwórni.



Rys. 6.1. Pojemniki do segregacji odpadów.

6.2. Odpady organiczne i zmieszane

Ważną część odpadów produkowanych przez gospodarstwa domowe stanowią odpady organiczne (bio) pochodzenia roślinnego: resztki żywności, niejadalne części warzyw (obierki, skórki, pestki), skoszona trawa, chwasty z ogródka czy zagrabione liście. Te odpady można zagospodarować samodzielnie w kompostowniku lub zbierać selektywnie do dalszego przetworzenia przez wyspecjalizowane przedsiębiorstwa, w których poddaje się je kompostowaniu na dużą skalę. **Kompostowanie** polega na przyspieszonym rozkładzie mikrobiologicznym masy roślinnej. Najprostszym sposobem przeprowadzenia tego procesu jest uformowanie kopca z odpadów i przysypanie go ziemią (rys. 6.2.). Wewnątrz

kompostowanie ▶

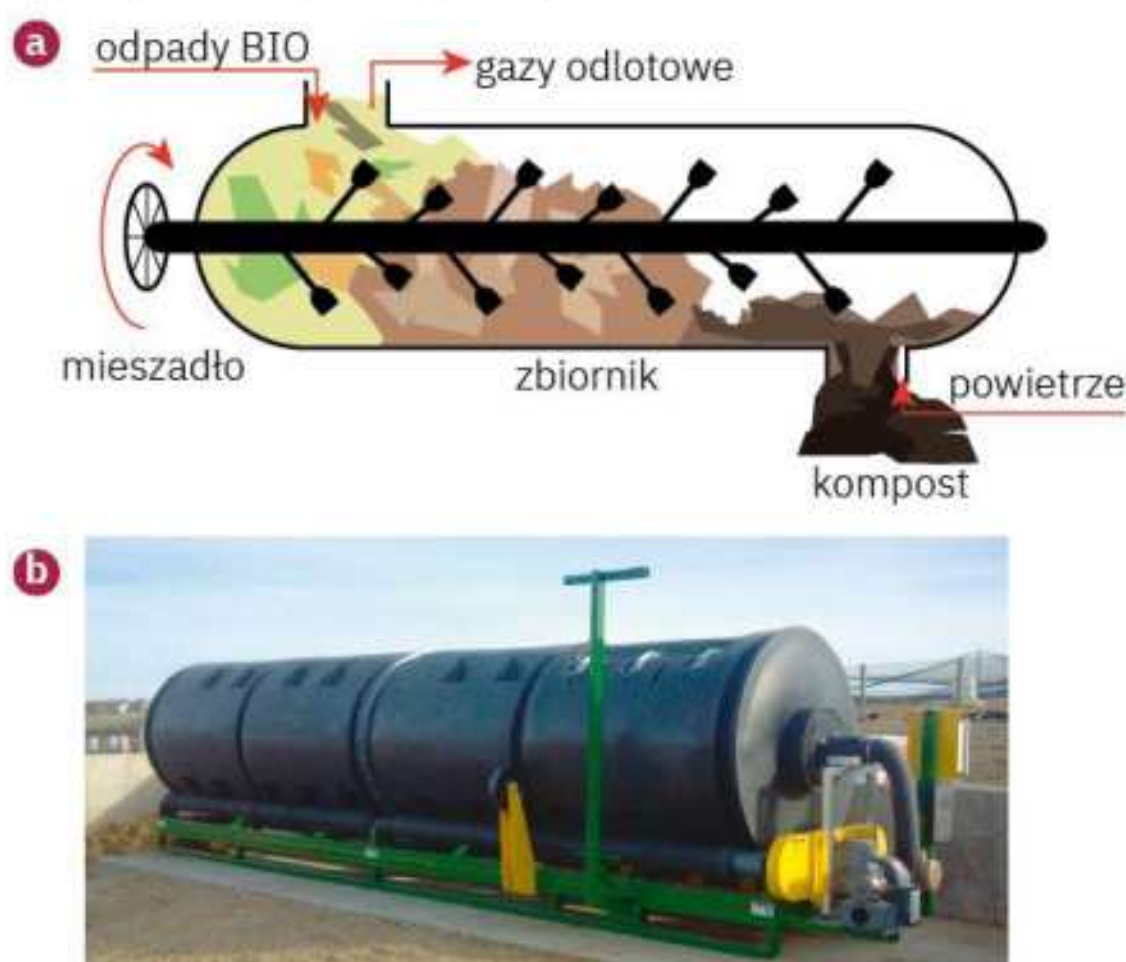


Rys. 6.2. Kopce do kompostowania w zakładach utylizacji odpadów.

kopca zachodzą intensywne procesy rozkładu, które generują znaczne ilości ciepła, co powoduje rozgrzanie zawartości kopca do około 60°C . Produktami rozkładu są między innymi gazowy tlenek węgla(IV) i metan. Azot, fosfor i potas, wchodzące w skład związków organicznych, przekształcają się w znacznie prostsze

związki nieorganiczne, na przykład: azotany(V), fosforany(V) i sole potasu. Dzięki tym procesom kompost jest doskonałym nawozem, bogatym w rozłożone związki organiczne (próchnicę) oraz odżywcze substancje mineralne łatwo przyswajane przez rośliny. Jednak kompostu wytwarzanego w zakładach uty-

lizacji odpadów nie można stosować w rolnictwie do produkcji żywności, gdyż odpady mogą zawierać składniki niebezpieczne dla zdrowia, na przykład metale ciężkie i inne trucizny. Stosuje się go wyłącznie tam, gdzie rosnące rośliny nie są przeznaczone do spożycia: w parkach i na terenach zieleni miejskiej. Wytwarzaniu kompostu w kopcach na otwartym powietrzu często towarzyszy wydzielanie przykrych zapachów. Dlatego też w niektórych zakładach utylizacyjnych stosuje się kompostowanie w zbiornikach zamkniętych, specjalnie przystosowanych do tego celu (rys. 6.3.). Te urządzenia pozwalają dodatkowo na zbieranie gazowych produktów rozkładu (biogazu), głównie metanu, który można wykorzystać jako paliwo do produkcji energii.



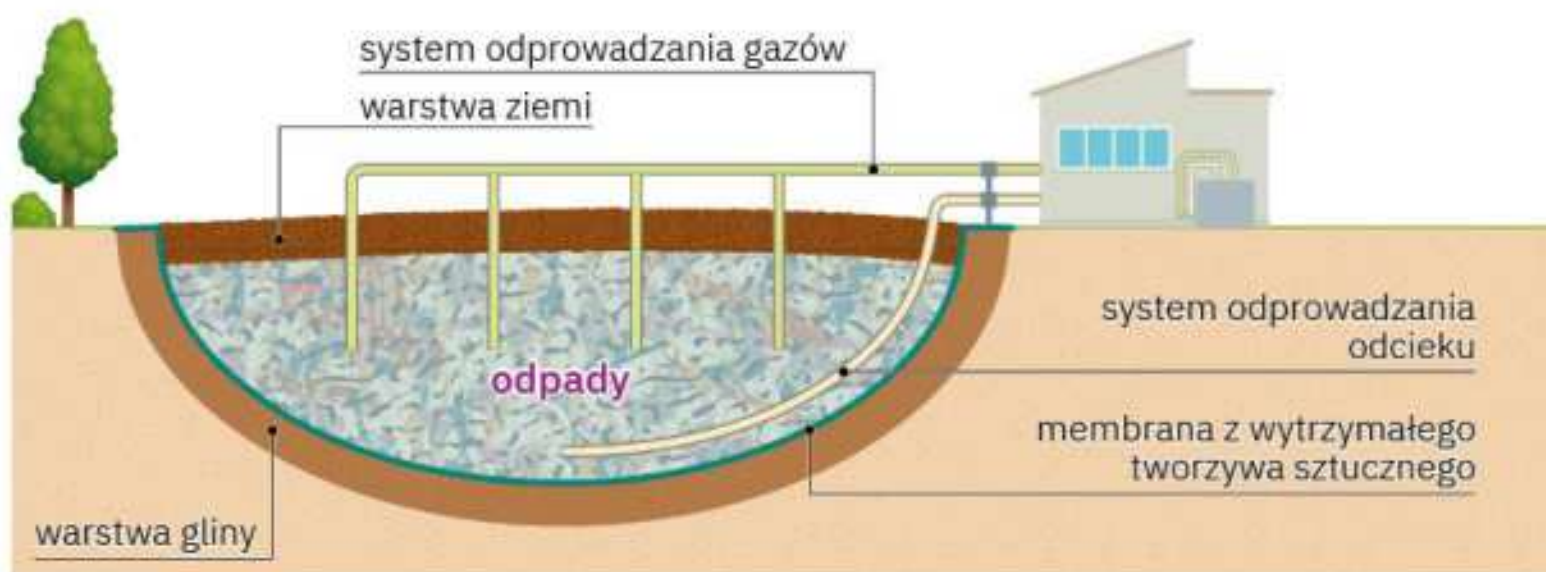
Rys. 6.3. a) Schemat działania zbiornika do kompostowania. Poziome mieszadło łopatkowe miesza zawartość i przesuwają ją powoli wzdłuż zbiornika, a jednocześnie przez zbiornik przepływa strumień powietrza. b) Zdjęcie zbiornika do kompostowania.

Podczas segregacji odpadów pochodzenia naturalnego należy zwrócić uwagę na to, aby odpady pochodzenia zwierzęcego (mięso, kości, ości, jajka) nie trafiały do pojemnika z odpadami bio. Procesy gnilne towarzyszące rozkładowi białek i tłuszczów bywają przyczyną powstawania toksycznych produktów rozkładu oraz rozwijania się w kompoście groźnych bakterii chorobotwórczych i pasożytów.

Nawet przy najbardziej starannej segregacji zawsze pozostanie pewna ilość odpadów, których nie da się już dalej rozdzielić. Frakcja ta może zawierać wszystkie odpady opisane powyżej: opakowania, odpady roślinne i zwierzęce, a także inne, takie jak: popiół z kominka, zużyte ręczniki papierowe czy stłuczone naczynia ceramiczne. Te odpady segregujemy jako **zmieszane** (resztkowe). Najczęstszym

odpady zmieszane
(resztkowe)

► sposobem ich utylizacji jest gromadzenie w **składowiskach odpadów** (wysypiskach śmieci). Składowisko powinno mieć odpowiednią konstrukcję, minimalizującą jego negatywny wpływ na otoczenie (rys. 6.4.).



Rys. 6.4. Schematyczny przekrój składowiska odpadów.

Najczęściej lokalizuje się je w zagłębieniu terenu, wysłanym grubą warstwą materiału nieprzepuszczalnego dla wody, na przykład ubitą gliną i dodatkowo mocną, szczelną folią z tworzywa sztucznego. Specjalnie zaprojektowany system rur i pomp umożliwia odprowadzanie toksycznego odcieku gromadzącego się na dnie składowiska. Odpady składowane we wgłębieniu są systematycznie ugniatane (rys. 6.5.) i przykrywane warstwą ziemi, zapobiegającą wydostawaniu się gazowych produktów rozkładu. Te ostatnie odprowadza się ze składowiska za pomocą rur wentylacyjnych. Często te gazy wykorzystuje się jako paliwo (biogaz), gdyż zawierają znaczne ilości metanu.



Rys. 6.5. Ugniatanie odpadów na składowisku.

W składowisku zachodzą liczne przemiany chemiczne i biochemiczne prowadzące do stopniowego rozkładu odpadów. Najszybciej rozkładają się odpady pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, papier rozkłada się już znacznie wolniej. Opakowania metalowe powoli korodują – w wyniku tych reakcji powstają głównie tlenki metali. Odpady szklane i z tworzyw sztucznych praktycznie nie rozkładają się wcale i pozostają w miejscu składowania przez wiele lat. Wskutek przemian składowisko powoli osiada, gdyż odpady zmniejszają swoją objętość i dzięki temu powstaje miejsce na nowe. Po całkowitym wypełnieniu składowiska obsypuje się je ziemią i poddaje rekultywacji, na przykład przez zalesienie terenu lub utworzenie innego typu strefy zieleni (rys. 6.6.).



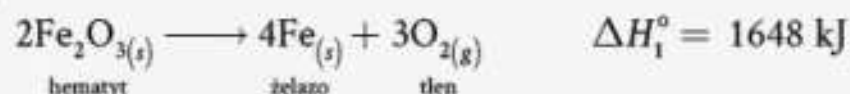
Rys. 6.6. Wypełnione składowisko odpadów po rekultywacji.

Rzadziej stosowaną metodą utylizacji odpadów zmieszanych jest ich **spalanie**. Większą część odpadów stanowią substancje organiczne, które w obecności tlenu i w wysokiej temperaturze przekształcają się głównie w tlenek węgla(IV) i parę wodną. Spalanie pozwala zredukować objętość odpadów do 10–20% początkowej wielkości, a powstały popiół zajmuje znacznie mniej miejsca w składowisku. Dodatkowo spalanie pozwala pozbyć się tworzyw sztucznych, które w składowiskach rozkładają się bardzo powoli. Spalarnie odpadów mogą być też źródłem energii. Jednak wokół spalania odpadów istnieje wiele kontrowersji, gdyż spalarnie są źródłem tlenku węgla(IV), który jest gazem cieplarnianym. Ponadto spalarnie emitują inne produkty bezpośrednio szkodliwe dla zdrowia człowieka: tlenki siarki, tlenki azotu oraz lotny pył. Najgroźniejszym składnikiem spalin są wysoce toksyczne dioksyny – związki powstające podczas spalania materiałów pochodzenia roślinnego.

◀ spalanie odpadów

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Porównaj właściwości opakowań papierowych, szklanych, metalowych i tworzyw sztucznych wykonanych z materiału nowego z właściwościami tych opakowań wykonanych z materiału pochodzącego z recyklingu.
2. Redukcja rud żelaza jest procesem endotermicznym. Na przykład redukcja 2 moli hematytu Fe_2O_3 wymaga dostarczenia 1648 kJ energii cieplnej, zgodnie z poniższym równaniem termochemicznym:



- a) Oblicz minimalną ilość energii cieplnej niezbędnej do otrzymania 1 kg żelaza z hematytu.
- b) Oblicz, ile węgla kamiennego, zawierającego 85% pierwiastka węgla, należy spalić, aby uzyskać energię wystarczającą do otrzymania 1 tony żelaza z hematytu, jeżeli w wyniku spalania 1 mola węgla wydziela się 394 kJ energii, zgodnie z równaniem:



3. Wykonaj zadania.
 - a) Oblicz masę puszki stalowej w kształcie walca odkrytego u góry, o średnicy 7 cm i wysokości 10 cm, wykonanej z blachy stalowej o grubości 0,1 mm, jeżeli gęstość stali wynosi $7,9 \text{ g/cm}^3$.
 - b) Oblicz masę słoika o tym samym kształcie i wymiarach, wykonanego ze szkła o gęstości $2,5 \text{ g/cm}^3$, jeżeli grubość ścianek tego naczynia wynosi 2 mm.
 - c) Wskaż, które z naczyń jest cięższe i ile razy.
4. Wymień zalety i wady stosowania tworzyw sztucznych do wytwarzania opakowań.
5. Wyszuszony kompost zawiera około 2% azotu w formie przyswajalnej przez rośliny. Oblicz masę sztucznego nawozu azotanu(V) potasu KNO_3 , która zawiera tyle samo przyswajalnego azotu, co 1 tona suchego kompostu.
6. Napisz w zeszycie równanie chemiczne spalania celulozy, jednego z procesów zachodzących w spalarniach odpadów. Zastosuj wzór sumaryczny celulozy $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$.
7. Na podstawie równania z zadania 6. oblicz, ile dwutlenku węgla zostanie wyemitowane do atmosfery w wyniku spalania 1 tony odpadów zawierających 85% odpadów organicznych w formie celulozy.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Zużyte opakowania stanowią znaczną część odpadów stałych wytwarzanych przez człowieka. Materiał opakowań – papier, szkło, metale i tworzywa sztuczne – w dużej mierze poddaje się recyklingowi. Właściwości materiałów z recyklingu nie zawsze dorównują właściwościom nowych materiałów. ◀ s. 119
- Odpady organiczne pochodzenia roślinnego poddaje się kompostowaniu, czyli mikrobiologicznemu rozkładowi. Kompost jest doskonałym nawozem zawierającym wszystkie składniki niezbędne do wzrostu roślin. Ze względów sanitarnych kompostu wytworzonego w zakładach utylizacji odpadów nie stosuje się do produkcji żywności. ◀ s. 122
- Odpady zmieszane (resztkowe) gromadzi się w składowiskach odpadów. Składowiska konstruuje się w taki sposób, aby zminimalizować negatywny wpływ odpadów na środowisko naturalne. Podczas składowania odpady ulegają przemianom powodującym stopniowe zmniejszenie ich objętości. ◀ s. 123

Podsumowanie przed sprawdzianem

- s. 60 • Do wytwarzania tkanin stosuje się włókna naturalne, sztuczne i syntetyczne. Włókna naturalne pochodzenia roślinnego są zbudowane z celulozy, a te pochodzące od zwierząt – z białek (wełna – z keratyny, jedwab – z fibroiny). Włókna sztuczne, na przykład wiskozę, uzyskuje się w wyniku przetworzenia włókien naturalnych. Włókna syntetyczne wytwarza się przez formowanie termoplastycznych polimerów – poliestrów, poliamidów i polimerów akrylowych.
- s. 70 • Włókna syntetyczne mają większą wytrzymałość mechaniczną niż włókna naturalne. Są bardziej odporne na zużycie i działanie środków piorących. Jednak w mniejszym stopniu chłoną wilgoć i mają na ogół gorsze właściwości termoizolacyjne.
- s. 80 • Najważniejszym składnikiem czynnym zawartym w preparatach myjących i czyszczących są detergenty. Ich cząsteczki mają charakter amfifilowy, ponieważ składają się z fragmentu o charakterze hydrofilowym i fragmentu o charakterze hydrofobowym. Pod względem budowy chemicznej detergenty dzielimy na anionowe, kationowe, niejonowe i o charakterze jonów obojnych.
- s. 85, 88 • Kosmetyki są wieloskładnikowymi mieszaninami pełniącymi różnorodne funkcje pielęgnacyjne. Do najważniejszych składników należą środki powierzchniowo czynne, baza tłuszczowo-woskowa, środki nawilżające, substancje zapachowe, barwniki, farmaceutyki i konserwanty.
- s. 92 • Działanie toksyczne lub lecznicze substancji wprowadzonych do organizmu polega na dezaktywacji enzymów i innych ważnych biologicznie cząsteczek. Miarą toksyczności substancji jest parametr LD_{50} , zwany dawką śmiertelną. Działaniu terapeutycznemu leku z reguły towarzyszy również działanie uboczne, toksyczne dla organizmu.
- s. 104 • Popularne napoje, takie jak: woda mineralna, słodzone napoje gazowane, kawa i herbata czy mleko, zawdzięczają swoje szczególne właściwości składowi chemicznemu. Fermentacja przeprowadzana dzięki udziałowi mikroorganizmów jest powszechnie stosowana w przetwarzaniu żywności. W celu ochrony żywności przed zepsuciem oraz poprawy jej jakości stosuje się różnorodne dodatki do żywności, na przykład konserwanty, barwniki czy przeciwutleniacze.
- s. 119 • Najważniejszą metodą utylizacji zużytych opakowań jest recykling materiału, z którego zostały wykonane. Odpady organiczne pochodzenia roślinnego kompostuje się, czyli zamienia w nawóz organiczny. Pozostałe odpady trafiają do składowiska odpadów, gdzie ulegają różnorodnym procesom rozkładu.

Ważne!

Po zapoznaniu się z tym działem zdobędziesz następujące umiejętności:

- opisywanie struktury chemicznej włókien naturalnych, sztucznych i syntetycznych oraz porównywanie i wyjaśnianie ich właściwości;
- opisywanie budowy i wyjaśnianie działania detergentów, środków powierzchniowo czynnych oraz innych składników preparatów czyszczących i pielęgnacyjnych;
- przedstawianie ogólnego mechanizmu działania substancji toksycznych i leczniczych, przewidywanie skutków przyjmowania wybranych leków, zarówno pozytywnych, jak i negatywnych dla organizmu;

- określanie szczególnych właściwości popularnych napojów na podstawie ich składu, przedstawianie za pomocą równań chemicznych przebiegu procesów fermentacyjnych;
- opisywanie i wyjaśnianie przemian prowadzących do psucia się żywności oraz sposobów zapobiegania tym zmianom, identyfikowanie popularnych dodatków do żywności na podstawie informacji na etykiecie i rozpoznawanie ich funkcji;
- przedstawianie metod recyklingu materiałów stosowanych do wyrobu opakowań oraz procesów utylizacji odpadów organicznych i pozostałych, szacowanie czasu potrzebnego do biodegradacji odpadów w zależności od ich budowy chemicznej.

Sprawdź, czy umiesz!

1. Biodegradowalność polimerów, czyli ich zdolność do rozkładu przez mikroorganizmy żyjące w środowisku naturalnym, zależy od struktury chemicznej łańcucha polimerycznego. Mikroorganizmy w pierwszej kolejności oddziałują na te cząsteczki, które w polimerycznym łańcuchu zawierają wiązania spolaryzowane, przy czym polimery pochodzenia naturalnego są rozkładane szybciej jako gotowy pokarm dla tych organizmów. Polimery, które w łańcuchu zawierają wiązania niespolaryzowane, są bardzo odporne na działanie mikroorganizmów. Na podstawie tych informacji podziel wymienione poniżej przedmioty na: te, które raczej szybko ulegną rozkładowi w składowisku odpadów, te, których rozkład będzie wolniejszy, i te, które praktycznie nie będą się rozkładać. Uzasadnij odpowiedź.

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| a) książka | e) czapka z włóczki wełnianej |
| b) nylonowe rajstopy | f) odpady z rzeźni |
| c) obierki ziemniaczane | g) butelka po napoju wykonana z PET |
| d) czapka z włóczki akrylowej | |

2. Włókna syntetyczne są palne. Zapisz równania chemiczne spalania:

- a) polimeru akrylowego, np. poliakrylonitrylu,
- b) poliestru PET,
- c) kevlaru.

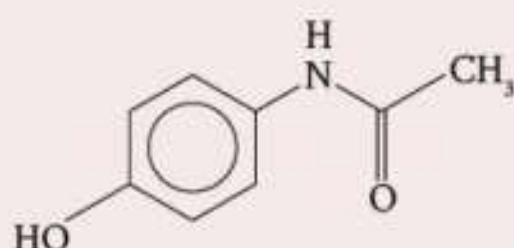
Przyjmij, że w wyniku spalania azot zawarty w cząsteczce przekształca się w elementarny azot N_2 .

3. Określ funkcję, jaką mogą pełnić następujące składniki kremu do twarzy:

- a) monostearynian glicerolu (*glyceryl monostearate*, *glyceryl stearate*),
- b) tristearynian glicerolu (*glyceryl tristearate*),
- c) trideceth-6,
- d) kwas askorbinowy (*ascorbic acid*),
- e) gliceryna (*glycerol*),
- f) ciekła parafina (*liquid paraffin*).

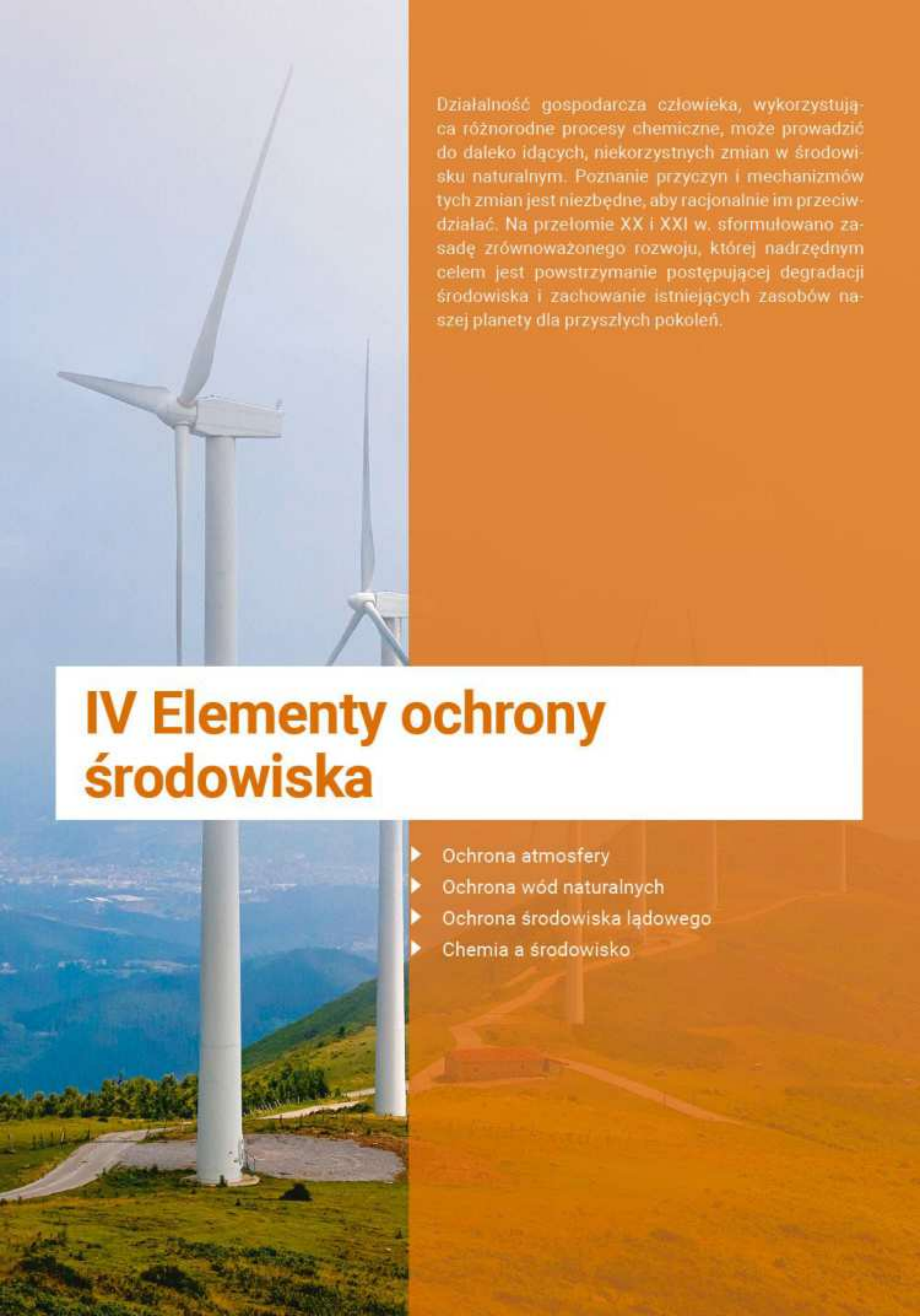
Wskazówka: W razie wątpliwości sprawdź właściwości poszczególnych substancji w dostępnych źródłach. W nawiasie podano nazwy angielskie występujące na etykietach produktów kosmetycznych.

4. Zapisz równania chemiczne dysocjacji hydroksyapatytu $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ oraz fluoroapatytu $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$. Na ich podstawie wyjaśnij, dlaczego dodatek jonów fluorkowych do pasty do zębów zapobiega próchnicy.
5. Typowa pasta do zębów zawiera około 0,25% fluorku sodu NaF. Ten związek wykazuje działanie toksyczne. Wartość dawki śmiertelnej przez podanie doustne wynosi 52 mg/1 kg masy ciała. Na podstawie tych informacji odpowiedz na następujące pytania:
- Czy przypadkowe połknięcie porcji 3 g pasty podczas mycia zębów może spowodować zatrucie fluorkiem sodu?
 - Ile gramów fluorku sodu powoduje skutek śmiertelny u 50% badanych dorosłych ludzi o średniej masie ciała 70 kg?
 - Ile pasty należałoby połknąć, aby wyrzucić skutek opisany w punkcie b)?
6. Paracetamol jest popularnym lekiem przeciwbólowym i przeciwzapalnym o strukturze:



Narysuj w zeszycie wzory chemiczne produktów reakcji chemicznej paracetamolu z:

- kwasem solnym HCl,
 - wodorotlenkiem sodu NaOH,
 - bezwodnikiem octowym $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$.
7. Czysta woda mineralna jest doskonałym, zdrowym napojem. Oceń, czy nadaje się również jako woda do prania. Odpowiedź uzasadnij.
8. Wymień produkty, które można otrzymać metodami fermentacyjnymi z glukozy.
9. Poza ochroną przed jęczmieniem tłuszczów kwas askorbinowy stosuje się również do utrwalania organicznych barwników spożywczych, które dzięki temu dłużej zachowują swoje żywe kolory. Skorzystaj ze źródeł internetowych i przeanalizuj struktury cząsteczek tych barwników (numery E100–E199), a następnie odpowiedz, na czym może polegać ochronne działanie tego kwasu.
10. Podziel materiały stosowane do wytwarzania opakowań (metale, szkło, papier, tworzywa sztuczne) na te, które w wyniku recyklingu nie tracą swoich właściwości, oraz te, których właściwości pogarszają się wskutek tego procesu. Odpowiedź uzasadnij.

A photograph of several white wind turbines on a green, hilly landscape under a clear blue sky. The turbines are positioned at different heights and angles, with one prominently in the foreground and others receding into the distance. The right side of the image is partially covered by an orange overlay containing text.

Działalność gospodarcza człowieka, wykorzystująca różnorodne procesy chemiczne, może prowadzić do daleko idących, niekorzystnych zmian w środowisku naturalnym. Poznanie przyczyn i mechanizmów tych zmian jest niezbędne, aby racjonalnie im przeciwdziałać. Na przełomie XX i XXI w. sformułowano zasadę zrównoważonego rozwoju, której nadrzędnym celem jest powstrzymanie postępującej degradacji środowiska i zachowanie istniejących zasobów naszej planety dla przyszłych pokoleń.

IV Elementy ochrony środowiska

- ▶ Ochrona atmosfery
- ▶ Ochrona wód naturalnych
- ▶ Ochrona środowiska lądowego
- ▶ Chemia a środowisko

1. Ochrona atmosfery

NA TEJ LEKCJI:

- zaznajomisz się z istotą efektu cieplarnianego;
- dowiesz się, jakie skutki może przynieść rosnące stężenie tlenku węgla(IV) w atmosferze;
- poznasz inne negatywne skutki dla atmosfery, jakie przynosi działalność człowieka: zapylenie powietrza, kwaśne deszcze, smog;
- odkryjesz związek między powszechnym stosowaniem freonów w drugiej połowie XX w. a pojawieniem się tak zwanej dziury ozonowej;
- poznasz działania zmierzające do ograniczenia negatywnego oddziaływania człowieka na atmosferę oraz do naprawy wyrządzonych szkód.

Atmosferę ziemską możemy sobie wyobrazić jako stosunkowo cienką warstwę powietrza otaczającą nasz glob. Jej grubość wynosi zaledwie 0,3% promienia Ziemi. W składzie atmosfery znajdują się przede wszystkim (w procentach objętościowych): azot N_2 – około 78%, tlen O_2 – około 21%, argon Ar (gaz szlachetny) – około 1% i tlenek węgla(IV) CO_2 – około 0,04%. W atmosferze znajdują się również inne gazy, na przykład: neon Ne, hel He, metan CH_4 , tlenek azotu(II) NO, ozon O_3 i wodór H_2 , jednak w ilościach znacznie poniżej 0,01%. Podany skład procentowy dotyczy suchego powietrza. Trzeba jednak pamiętać, że w atmosferze zawsze znajduje się również para wodna H_2O . Jej zawartość jest zmienna – w zależności od warunków może się wahać od mniej niż 0,5% do 3%.

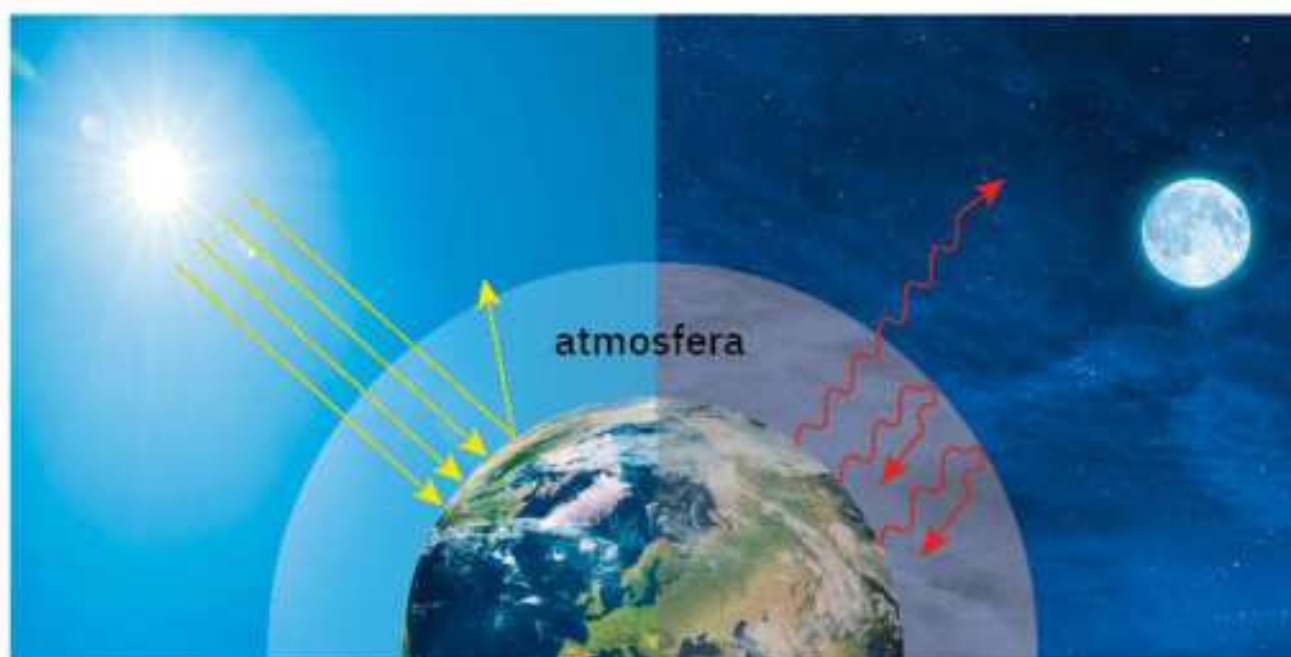
Atmosfera odgrywa kluczową rolę dla życia rozwijającego się na naszej planecie. Stanowi podstawowe źródło tlenu do oddychania, pełni funkcję parasola chroniącego nas przed szkodliwym promieniowaniem oraz łagodzi wahania temperatury w cyklu dnia i nocy. W atmosferze zachodzą zjawiska pogodowe (np. opady deszczu), a także żyją w niej niezliczone organizmy latające (ptaki, owady). Z tego względu ochrona atmosfery przed szkodliwymi skutkami działań człowieka jest bardzo ważna.

1.1. Emisja tlenku węgla(IV) i efekt cieplarniany

Powietrze zawiera około 0,04% tlenku węgla(IV) CO_2 , powszechnie zwanego dwutlenkiem węgla. Mimo niskiego stężenia ten gaz pełni ważną funkcję w regulacji temperatury na powierzchni Ziemi. Jest przezroczysty dla promieniowania w zakresie światła widzialnego, natomiast absorbuje promieniowanie cieplne w zakresie podczerwieni (w skrócie IR od angielskiego *infra-red*). Podczas słonecznego dnia światło Słońca swobodnie przenika przez atmosferę i nagrzewa powierzchnię Ziemi (rys. 1.1.). Nocą rozgrzane warstwy powierzchniowe tracą ciepło w postaci promieniowania podczerwonego i stopniowo się

ochładzają. Tlenek węgla(IV) zawarty w powietrzu stanowi barierę dla tego promieniowania, zapobiega utracie ciepła i przyczynia się do podniesienia temperatury powierzchni Ziemi. To zjawisko nosi nazwę **efektu cieplarnianego**, gdyż przypomina zasadę działania szklarni (cieplarni) w ogrodnictwie – szyby szklarni przepuszczają promieniowanie światła widzialnego, natomiast zatrzymują promieniowanie ciepłe.

♦ efekt cieplarniany



W dzień promieniowanie słoneczne swobodnie przenika przez atmosferę. Niewielka część promieniowania zostaje odbita od powierzchni Ziemi (np. pokrytej lodem), a większość zostaje zaabsorbowana przez warstwy powierzchniowe. Skutkuje to nagrzewaniem powierzchni Ziemi.

W nocy nagrzana powierzchnia stopniowo stygnie i oddaje nadmiar energii w postaci promieniowania ciepłego w zakresie podczerwieni. Część tego promieniowania jest pochłaniana przez cząsteczki gazów cieplarnianych i emitowana z powrotem w kierunku powierzchni Ziemi, co sprzyja podniesieniu temperatury.

Rys. 1.1. Schematyczne przedstawienie efektu cieplarnianego.

Na Ziemi zachodzą liczne procesy, w wyniku których tlenek węgla(IV) zarówno powstaje, jak i jest zużywany. Na przykład oddychanie zwierząt i roślin, rozkład mikrobiologiczny materii organicznej, spalanie biomasy (np. pożary lasów) czy erupcje wulkanów powodują emisję tego gazu do atmosfery. Z kolei dzięki takim procesom, jak: rozpuszczanie tlenku węgla(IV) w wodach powierzchniowych, wykorzystywanie go do fotosyntezy przez fitoplankton i rośliny zielone, uwięzienie w postaci węglanu wapnia w muszlach i szkieletach niektórych zwierząt czy formowanie się pokładów paliw kopalnych (torfu, ropy naftowej, węgla kamiennego), zawartość tego gazu w atmosferze spada. W ciągu milionów lat na Ziemi ukształtowała się swoista równowaga, dzięki której zawartość CO_2 w atmosferze ustaliła się na poziomie około 0,035%. Współczesna intensywna działalność człowieka zaburzyła tę równowagę i spowodowała, że od początku ubiegłego stulecia zawartość CO_2 systematycznie rośnie. W 2019 r. zawartość tego gazu w atmosferze wyniosła 0,041%. Ten wzrost wiąże się przede wszyst-

kim z wytwarzaniem energii przez spalanie paliw kopalnych – węgla kamiennego, gazu ziemnego i ropy naftowej. W 2019 r. ponad 80% energii wytworzonej na świecie pochodziło z tych źródeł. Tlenek węgla(IV) jest wytwarzany również w wielu innych procesach, na przykład w hutnictwie żelaza i glinu, produkcji cementu czy fermentacji. Wzrostowi stężenia CO_2 sprzyja również wylesianie ogromnych obszarów lasów tropikalnych – jednego z najważniejszych konsumentów tego gazu.

Wzrastająca zawartość CO_2 w atmosferze potęguje efekt cieplarniany i coraz więcej promieniowania ciepłego zostaje zatrzymane przez ten gaz. W rezultacie od połowy ubiegłego wieku obserwujemy powolne, lecz systematyczne ocieplenie klimatu. Skutki globalnego ocieplenia mogą być bardzo poważne. Najważniejsze z nich to topnienie wiecznego lodu pokrywającego obszary okołobiegunowe oraz zawartego w wysokogórskich lodowcach, gwałtowne zjawiska pogodowe, jak również pustynnienie obszarów, które obecnie leżą w strefie klimatu umiarkowanego. Topnienie lodu prowadzi do stopniowego podnoszenia się poziomu wód w oceanach i morzach, co w konsekwencji może skutkować zalaniem niżżej położonych obszarów przybrzeżnych. Najbardziej pesymistyczne prognozy przewidują wzrost poziomu morza o 2 metry do końca 2100 r. Gwałtowne zjawiska pogodowe, takie jak: huragany, gwałtowne burze, intensywne opady połączone z powodzią, staną się coraz częstsze i obejmą większy obszar. Rezultatem wzrostu temperatury będą coraz dłuższe okresy suszy, a dotychczas żyzne obszary przemienią się w jałowe pustynie, co przyczyni się do zmian w rolnictwie czy migracji ludności i zwierząt.



topnienie wiecznych lodów



pustynnienie terenów



podniesienie poziomu oceanów i mórz



gwałtowne zjawiska pogodowe

Rys. 1.2. Niektóre skutki globalnego ocieplenia związanego z nadmierną emisją gazów cieplarnianych.

Przeciwdziałanie negatywnym skutkom globalnego ocieplenia klimatu polega przede wszystkim na **ograniczeniu emisji tlenku węgla(IV)** do atmosfery. Rządy wielu państw zawierają porozumienia, w których dobrowolnie zobowiązują się do obniżenia ilości wytwarzania tego gazu. Najnowsze z nich, nazywane porozumieniem paryskim, pochodzi z 2015 r. Do 2021 r. zostało podpisane przez 194 państwa i Unię Europejską. Porozumienie paryskie zobowiązuje wszystkich sygnatariuszy do obniżenia emisji CO_2 do takiego poziomu, aby globalne ocieplenie nie przekroczyło 2°C . Najważniejszym sposobem osiągnięcia tego celu jest rozwój energetyki opartej na innych źródłach niż spalanie paliw kopalnych – energii wód, wiatru, Słońca czy też energii jądrowej. Istotna jest również intensyfikacja mechanizmów powodujących usuwanie CO_2 z atmosfery przez rośliny zielone, przede wszystkim zapobieganie wycinaniu lasów oraz obsadzanie nieużytków zielenią.

Tlenek węgla(IV) nie jest jedynym gazem, który wywołuje efekt cieplarniany. Takie właściwości ma również **metan**, który odpowiada za około 10% globalnego ocieplenia wywołanego działalnością człowieka. Źródłem emisji metanu do atmosfery są rolnictwo (zwłaszcza hodowla zwierząt rzeźnych, uprawa ryżu), składowiska odpadów i wysychające tereny bagienne. Metan w większym stopniu absorbuje promieniowanie cieplne niż tlenek węgla(IV), zatem wywołuje silniejszy efekt cieplarniany. Do gazów cieplarnianych zalicza się też inne gazy, na przykład parę wodną H_2O , tlenek azotu(II) NO oraz ozon O_3 .

1.2. Pyły, smog i kwaśne deszcze

Działalność przemysłowa człowieka, głównie spalanie paliw kopalnych, powoduje emisję do atmosfery innych szkodliwych produktów. Najważniejsze z nich to pyły, tlenek siarki(IV) SO_2 oraz tlenek azotu(II) NO .

Podstawowym źródłem **pyłu** zawieszonego w powietrzu w formie aerozolu są dymy pochodzące z emisji przemysłowych, rur wydechowych silników spalinyowych czy też z kominów gospodarstw domowych. Pył może przedostawać się do powietrza również w wyniku mechanicznego pylenia, na przykład podczas ruchu pojazdów oraz prac budowlanych lub górniczych. Skład chemiczny cząstek pyłu jest bardzo różnorodny. Mogą to być drobiny mineralów, związków nieorganicznych (w tym również metali ciężkich), sadzy (czyli bezpostaciowej formy węgla), związków organicznych (np. wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i dioksyn) oraz innych substancji. Oddychanie zapyłonym powietrzem szkodzi zdrowiu. Szczególnie niebezpieczne są bardzo drobne cząstki pyłu, o wielkości ziarna mniejszej niż $2,5\ \mu\text{m}$ ($2,5 \cdot 10^{-6}\ \text{m}$), które mogą wywoływać poważne choroby układu oddechowego i krążenia. Jeszcze mniejsze ziarenka pyłu, o rozmiarach poniżej $0,1\ \mu\text{m}$, mogą przenikać bezpośrednio z płuc do krwiobiegu.

pył zawieszony
w powietrzu

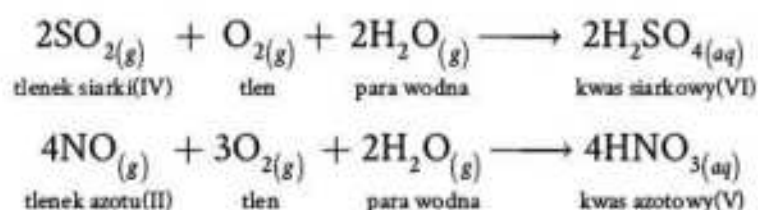


Rys. 1.3. Schemat odpylania odlotowych gazów przemysłowych za pomocą cyklonu. Zapyłony gaz zostaje wprowadzony w ruch wirowy wewnątrz cyklonu. Dzięki sile odśrodkowej pył osadza się na ścianach i zsuwa się w dół, gdzie jest odbierany.

Ochrona atmosfery przed emisją pyłów polega przede wszystkim na stosowaniu urządzeń odpylających, na przykład cyklonów (rys. 1.3.) i filtrów. Obecnie te urządzenia są już standardem wyposażenia instalacji przemysłowych. Jednakże emisja pyłów z gospodarstw domowych pozostaje wciąż nierozwiązanym problemem.

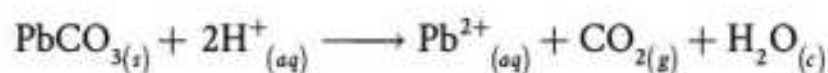
Niewielkie ilości tlenku siarki(IV) SO_2 i tlenku azotu(II) NO dostają się do atmosfery z powodu procesów zachodzących w przyrodzie. Naturalnym źródłem tlenku siarki(IV) są erupcje wulkaniczne, a tlenek azotu(II) powstaje ze składników atmosfery (tlenu i azotu) w wysokiej temperaturze towarzyszącej wyładowaniom elektrycznym podczas burzy. Znacznie większa emisja tych

gazów towarzyszy różnym aspektom działalności człowieka. Ogromne ilości tlenku siarki(IV) powstają w wyniku spalania zsiarczonych paliw kopalnych, przede wszystkim węgla kamiennego i brunatnego. Tlenek azotu(II) NO jest wytwarzany wszędzie tam, gdzie powietrze ma kontakt z wysoką temperaturą, na przykład podczas spalania. Znaczącym źródłem emisji tego gazu są silniki samochodowe. W wysokiej temperaturze panującej w silniku azot i tlen z powietrza łączą się ze sobą, a w tej reakcji powstaje tlenek azotu(II). W atmosferze tlenki siarki i azotu reagują stopniowo ze składnikami powietrza, co prowadzi w końcu do powstania mocnych kwasów: kwasu siarkowego(VI) H_2SO_4 oraz kwasu azotowego(V) HNO_3 .



Te kwasy, rozpuszczone w wodzie deszczowej, znacząco obniżają pH opadów atmosferycznych i prowadzą do zjawiska określanego jako **kwaśne deszcze**. Kwaśne deszcze wyrządzają wiele szkód zarówno w środowisku naturalnym, jak i w gospodarce. Do ich negatywnych skutków można zaliczyć:

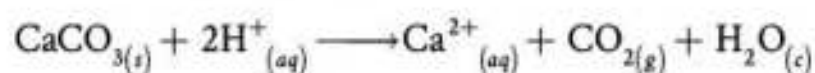
- zakwaszanie wód powierzchniowych (rzek, jezior) i szkodliwy wpływ na organizmy żyjące w wodzie;
- zakwaszenie gleby, co prowadzi do jej zubożenia w składniki odżywcze i uwalniania ze składników mineralnych jonów glinu Al^{3+} toksycznych dla roślin;
- uwalnianie toksycznych jonów metali ciężkich z trudno rozpuszczalnych soli tych metali, na przykład:



- przyspieszona korozja kwasowa konstrukcji metalowych:



- niszczenie budowli i zabytków (rys. 1.4.a), zwłaszcza wykonanych z materiałów zawierających węglan wapnia CaCO_3 (marmurowe rzeźby i fasady, zaprawa murarska wiążąca cegły, tynki):

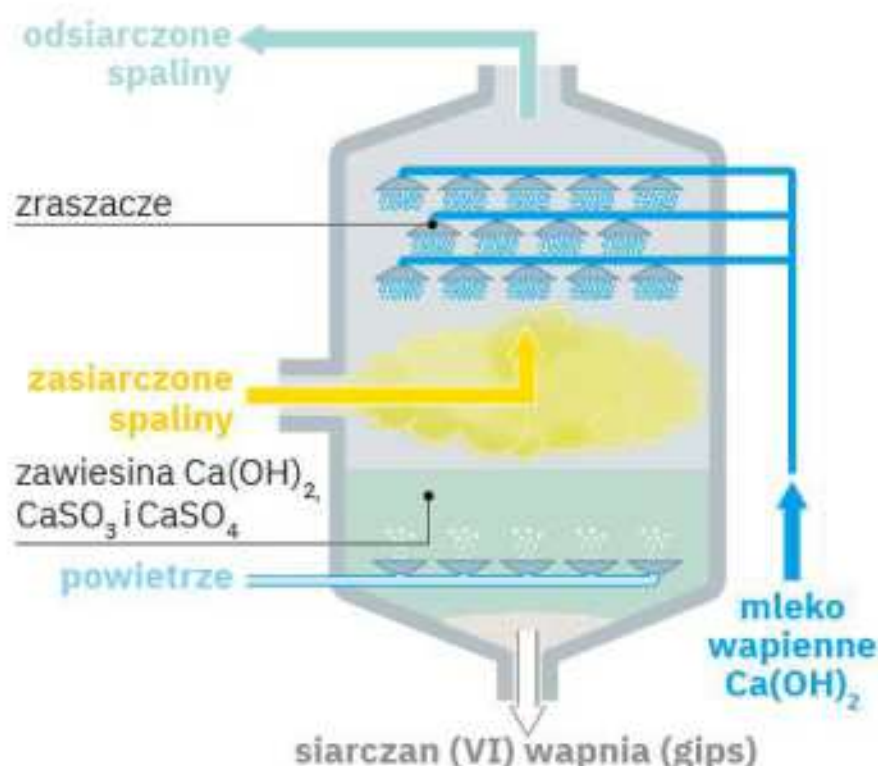


W Polsce regionem najsilniej dotkniętym przez zjawisko kwaśnych deszczów jest południowo-zachodni kraniec kraju. Spalanie wydobywanego tam w okolicy Turoszowa zasiarczonego węgla brunatnego doprowadziło do poważnej dewastacji okolicznych lasów.



Rys. 1.4. a) Zabytkowa rzeźba zniszczona przez kwaśne deszcze. b) Uschnięty las na obszarze nawiedzonym przez kwaśne deszcze.

Zapobieganie nadmiernej emisji tlenków siarki i azotu do atmosfery polega bądź na oczyszczaniu spalin ze szkodliwych substancji (rys. 1.5.), bądź na usuwaniu związków siarki z paliwa. W elektrociepłowniach wykorzystujących węgiel kamienny i brunatny spaliny kieruje się do specjalnej komory, gdzie zrasza się je rozpyloną zawiesziną wodorotlenku wapnia $\text{Ca}(\text{OH})_2$ w wodzie. W tych warunkach z tlenku siarki(IV) tworzy się siarczan(IV) wapnia CaSO_3 , który przy dostępie powietrza utlenia się dalej do siarczanu(VI) wapnia CaSO_4 , czyli gipsu. Spaliny oczyszczone w ten sposób są kierowane do komina wylotowego.

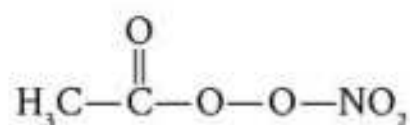


Rys. 1.5. Schemat odsiarczania spalin. Zasilone spaliny są zraszane rozpylonym mlekiem wapiennym (zawiesiną wodorotlenku wapnia Ca(OH)_2 w wodzie). Powstający siarczan(IV) wapnia CaSO_3 opada w dół, gdzie tworzy zawiesinę. Powietrze przepuszczone przez zawiesinę utlenia CaSO_3 do siarczanu(VI) wapnia CaSO_4 .

Paliwa samochodowe praktycznie nie zawierają siarki. Są one poddawane procesowi odsiarczania w rafineriach ropy naftowej. Ten proces polega na przepuszczaniu przez paliwo gazowego wodoru w obecności specjalnego katalizatora zawierającego między innymi kobalt Co i molibden Mo. Związki siarki zawarte w paliwie zostają przekształcone w gazowy siarkowodor, który przerabia się na siarkę – surowiec do produkcji kwasu siarkowego(VI). Do pochłaniania tlenku azotu(II) NO wytwarzanego w silnikach spalinowych stosuje się specjalny katalizator umieszczony w układzie wydechowym samochodu. Umożliwia on rozkład powstałego NO na pierwiastki: tlen i azot.

- smog** ▶ **Smog** jest rodzajem trującej mgły, która powstaje w wyniku emisji dymów i spalin do atmosfery. Rozróżniamy dwa główne rodzaje smogu: smog typu londyńskiego (zimowy) oraz smog fotochemiczny (letni). Ten pierwszy (rys. 1.6.a) tworzy się w miesiącach zimowych w warunkach nazywanych inwersją termiczną. Wówczas powietrze ochłodzone przez kontakt z zimnym podłożem gromadzi się w pobliżu gruntu, przykryte warstwą cieplejszego i lżejszego powietrza. Taki układ nie pozwala na mieszanie się warstw powietrza wskutek konwekcji, więc zimniejsze powietrze jest „uwięzione” w pobliżu gruntu. Z dymu i spalin zmieszanych z mgłą w zimnym powietrzu wytwarza się smog. Składa się on głównie z drobin sadzy i innych pyłów, tlenków siarki i azotu oraz kropelek wody. Ta mieszanina jest wysoce trująca dla człowieka. Na przykład zjawisko nazwane „wielkim smogiem londyńskim”, utrzymujące się przez 5 dni w grudniu 1952 r., przyniosło ponad 4 tysiące śmiertelnych ofiar wśród mieszkańców Londynu. Do ich śmierci przyczyniła się wdychana trująca mgła. Smog typu londyńskiego często występuje w Polsce, zwłaszcza na południu kraju (np. w Krakowie). Główną jego przyczyną są wadliwe i niesprawne urządzenia grzewcze wykorzystywane w gospodarstwach domowych (np. piece węglowe), a także niskiej jakości

paliwo stosowane w tych urządzeniach. Nierzadko pali się w nich śmieci i odpady z tworzyw sztucznych. W związku z tym wiele polskich miast podejmuje inicjatywy zmierzające do zmniejszenia liczby gospodarstw domowych opalanych węglem. Smog fotochemiczny (rys. 1.6.b) powstaje w wyższych temperaturach. Powstaje przede wszystkim z tlenku azotu(II) oraz resztek paliwa emitowanych z silników samochodowych. Tlenek azotu(II) NO utlenia się spontanicznie na powietrzu do tlenku azotu(IV) NO_2 , a ten z kolei przekształca cząsteczki tlenu O_2 w reaktywną odmianę tlenu – ozon O_3 . Ozon utlenia resztki paliwa do alkoholi, aldehydów, ketonów i kwasów karboksylowych, związków mających często właściwości toksyczne i drażniące. Ich temperatury wrzenia są dość wysokie, więc te związki skraplają się i tworzą trującą, drażniącą mgłę. W skład produktów utlenienia wchodzi również tak zwane lakrymatory, czyli środki wywołujące silne łzawienie oczu, na przykład azotan nadtlenku acetylu:



Rys. 1.6. a) Smog londyński w Krakowie. b) Smog fotochemiczny w Los Angeles (USA). Żółtawe zabarwienie smogu pochodzi od brunatnego tlenku azotu(IV) NO_2 .

Stosowanie katalizatorów samochodowych (rys. 1.7.), które usuwają większość tlenku azotu(II) i resztek paliwa ze spalin, znacznie ogranicza powstawanie smogu fotochemicznego. Mimo to wielkie miasta, o dużym natężeniu komunikacji, wciąż borykają się z tym problemem.

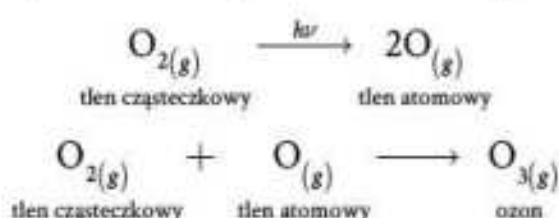


Rys. 1.7. Schemat działania katalizatora samochodowego. Katalizator składa się z dwóch części roboczych, zbudowanych z porowatego materiału ceramicznego, na którym są osadzone aktywne składniki katalizatora. W pierwszej części, zawierającej tlenek miedzi(II) i tlenek chromu(III), następuje rozkład tlenku azotu(II) na pierwiastki: $2\text{NO}_{(g)} \rightarrow \text{N}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)}$. W drugiej części zachodzi utlenienie toksycznego tlenku węgla(II) i resztek paliwa, katalizowane metalami: platyną Pt, palladem Pd i rodem Rh: $2\text{CO}_{(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{CO}_{2(g)}$, $2\text{C}_8\text{H}_{18(g)} + 25\text{O}_{2(g)} \rightarrow 16\text{CO}_{2(g)} + 18\text{H}_2\text{O}_{(g)}$.

1.3. Zubożenie warstwy ozonowej

warstwa ozonowa ▶

W dolnej części stratosfery, na wysokości między 15 a 35 km nad powierzchnią Ziemi, rozciąga się **warstwa ozonowa**. W tym obszarze zawartość ozonu O_3 , choć wciąż bardzo niewielka, wynosząca około 0,001%, jest ponad 30 razy wyższa niż średnia zawartość ozonu w całej atmosferze. Na tej wysokości promieniowanie nadfioletowe (ang. *ultra-violet*, UV) emitowane przez Słońce przekształca „zwykłe” cząsteczki tlenu O_2 w trójatomowe cząsteczki ozonu O_3 w reakcji fotochemicznej:



Pod wpływem kwantu promieniowania cząsteczka tlenu rozpada się na pojedyncze atomy tlenu, które następnie reagują z kolejnymi cząsteczkami tlenu, w wyniku czego powstaje ozon. Stężenie wytworzonego ozonu, choć bardzo niskie, wystarcza, aby chronić powierzchnię Ziemi przed słonecznym promieniowaniem nadfioletowym o wysokiej energii. Ozon absorbuje to promieniowanie i rozpada się z powrotem na cząsteczkę i atom tlenu. Promieniowanie UV o największej energii (tzw. UV-C), najbardziej szkodliwe dla organizmów żywych (o długości fali 200–280 nm), jest praktycznie całkowicie zatrzymywane. Znacznej redukcji ulega również natężenie promieniowania 280–315 nm (UV-B), powodującego słoneczne oparzenia skóry. Mniej energetyczne promieniowanie 315–400 nm (UV-A), dzięki któremu możemy się opalać, w większości przenika przez warstwę ozonową.

dziura ozonowa ▶

freony ▶

Działalność człowieka doprowadziła do istotnego zubożenia ochronnej warstwy ozonowej, a nawet do jej miejscowego zaniku, nazywanego **dziurą ozonową**. Przyczyną tego zjawiska były **freony**. Stosowano je na przykład jako media w agregatach chłodniczych (lodówki, zamrażarki, urządzenia do klimatyzacji), gazy pędne służące do wytwarzania ciśnienia w pojemnikach z aerozolami i środki gaśnicze. Freony to związki węgla, fluoru i chloru. Można je traktować jako pochodne węglowodorów, w których wszystkie atomy wodoru zastąpiono atomami fluorowca. Z punktu widzenia użytkowego freony mają idealne właściwości (tab. 1.1.): są niskowrzącymi cieczami lub łatwo skraplającymi się gazami. Ponadto są chemicznie obojętne, nietoksyczne i niepalne (nie powodują zagrożenia pożarowego).

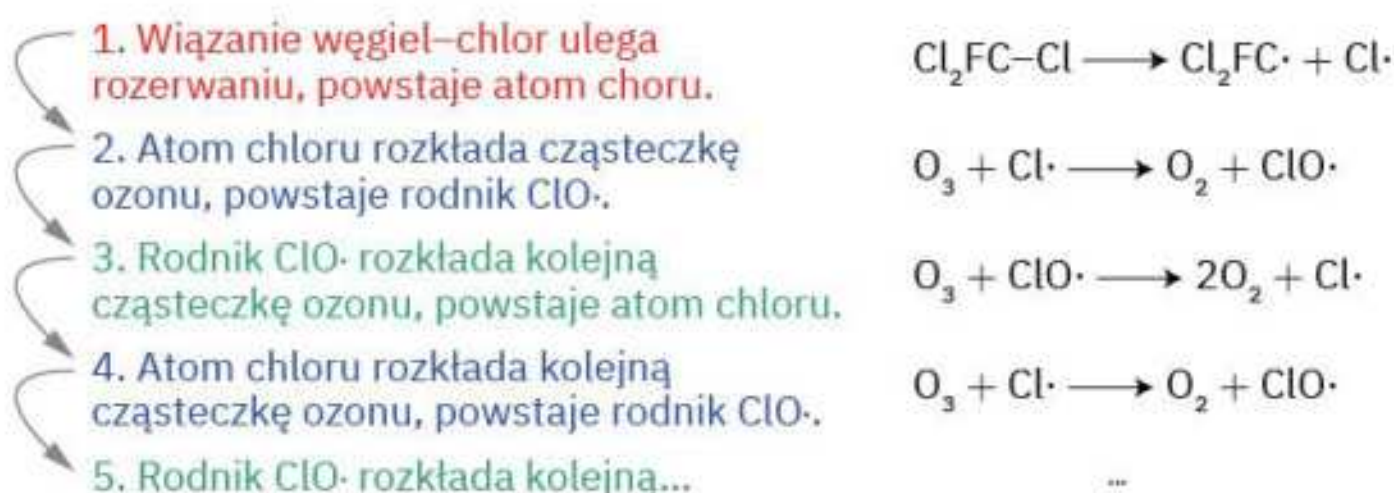
Jednak zużyte freony, na przykład wyciekające z nieszczelnych i niesprawnych agregatów chłodniczych lub uwolnione podczas stosowania aerozoli, migrują stopniowo do wyższych warstw atmosfery. Tam wchodzi w reakcje z ozonem. W rezultacie warstwa ozonowa ubożeje, a jej skuteczność jako tarczy ochronnej dramatycznie się osłabia. Przyczyną niszczenia ozonu jest stosunkowo wysoka reaktywność wiązania węgiel–chlor w cząsteczce freonu. Pod wpływem pro-

Tab. 1.1. Wzory chemiczne i temperatury wrzenia czynników chłodniczych

Nazwa systematyczna	Wzór chemiczny	Temperatura wrzenia (°C)	Grupa związków*
dichlorodifluorometan	CCl_2F_2	-30	freony (CFC)
trichlorofluorometan	CCl_3F	24	
1,1,1-trichloro-2,2,2-difluoroetan	$\text{Cl}_3\text{C}-\text{CF}_3$	46	
2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoroetan	$\text{F}_3\text{C}-\text{CHClF}$	-12	HCFC
1-chloro-1,1-difluoroetan	$\text{F}_2\text{ClC}-\text{CH}_3$	-9	
1,1,1,2-tetrafluoroetan	$\text{F}_3\text{C}-\text{CH}_2\text{F}$	-26	HFC
1,1,1,3,3-pentafluoropropan	$\text{F}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CHF}_2$	15	

*Freony, należące do grupy CFC (ang. *chlorofluorocarbons*), wycofano z użytku. Związki z grupy HCFC (ang. *hydrochlorofluorocarbons*) zawierają mniej chloru i w mniejszym stopniu przyczyniają się do ubożenia warstwy ozonowej. Nowoczesne czynniki chłodnicze z grupy HFC (ang. *hydrofluorocarbons*) nie zawierają chloru i są bezpieczne dla warstwy ozonowej.

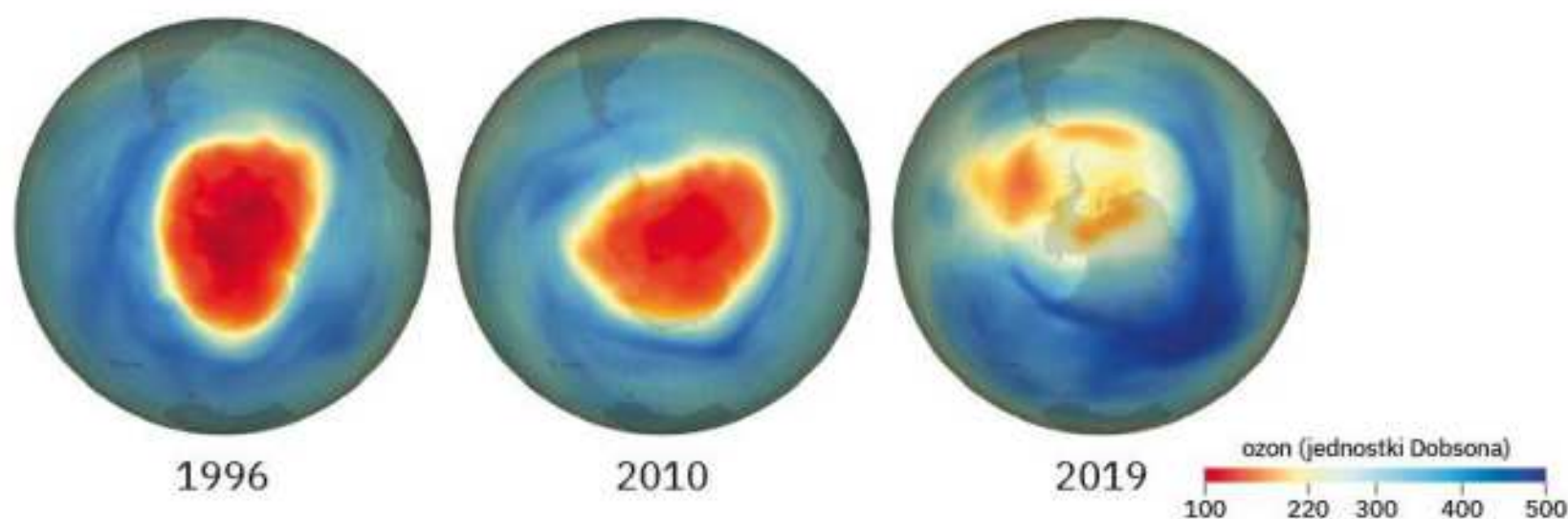
mieniowania nadfioletowego to wiązanie ulega rozerwaniu, a w jego wyniku powstają atom chloru oraz rodnik organiczny. Reaktywny atom chloru zapoczątkowuje reakcję łańcuchową prowadzącą do rozkładu ozonu. Jeden taki atom może zniszczyć aż 100 000 cząsteczek ozonu. Mechanizm tej reakcji przedstawiono na rysunku 1.8.



Rys. 1.8. Mechanizm reakcji łańcuchowej indukowanej przez cząsteczkę freonu, prowadzącej do destrukcji stratosferycznego ozonu. Pojedyncze kropki we wzorach chemicznych oznaczają niesparowany elektron.

Skutki zubożenia warstwy ozonowej są bardzo poważne. Wysokoenergetyczne promieniowanie nadfioletowe, docierające do powierzchni Ziemi, może powodować oparzenia i liczne choroby skóry, w tym choroby nowotworowe. Pod koniec lat siedemdziesiątych nad Antarktydą utworzyła się dziura ozonowa (rys. 1.9.). Zawartość ozonu na tym obszarze spadła do około 30% początkowej wielkości. Zaalarmowane rządy państw podjęły szereg inicjatyw zmierzających do radykalnego ograniczenia wytwarzania i stosowania freonów. Najważniejszą z nich był dokument, nazywany protokołem montrealskim, podpisany w 1987 r.

Jednak odbudowa warstwy ozonowej następuje bardzo powoli. Szacuje się, że dopiero po 2065 r. nad biegunem południowym zawartość ozonu powróci do swojej wyjściowej wartości sprzed 1970 r. Współcześnie klasycznych freonów już się praktycznie nie stosuje. Zastąpiono je pochodnymi, zawierającymi znacznie mniej chloru albo w ogóle pozbawionymi tego pierwiastka (tab. 1.1.). Natomiast w aerozolach zamiast freonów stosuje się lotne węglowodory, takie jak izobutan (metylopropan) lub izopentan (metylobutan). Jednak przez to te preparaty stały się łatwopalne.



Rys. 1.9. Dziura ozonowa nad biegunem południowym w 1996, 2010 i 2019 r. Kolorami granatowym i niebieskim oznaczono najwyższe stężenie ozonu, a kolorami żółtym i czerwonym – najniższe.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Dokładna zawartość tlenu O_2 w atmosferze ziemskiej wynosi 20,95% objętościowych. Oblicz, ile:
 - moli,
 - gramów
 tlenu znajduje się w 1 m^3 powietrza w warunkach normalnych ($101,3\text{ kPa}$, 0°C).
- Podaj, w jaki sposób można obniżyć stężenie tlenku węgla(IV) w atmosferze.
- Czterooosobowa rodzina żyjąca w domu ogrzewanym gazem ziemnym zużywa średnio 500 dm^3 ciepłej wody dziennie. Oblicz:
 - ile ciepła (w kJ) potrzeba, aby ogrzać tę ilość wody do temperatury 45°C , jeżeli dopływająca woda wodociągowa ma temperaturę 15°C , a na ogrzanie 1 kg wody o 1°C potrzeba średnio $4,18\text{ kJ}$ energii;
 - ile m^3 gazu ziemnego (mierzonego w temp. 0°C i pod ciśnieniem $101,3\text{ kPa}$) trzeba spalić, aby uzyskać ilość ciepła potrzebną do ogrzania tej ilości wody do 45°C , przy założeniu, że palnym składnikiem gazu ziemnego jest metan CH_4 , którego zawartość w gazie wynosi 92%; podczas spalania 1 mola metanu wydzielą się około 800 kJ energii cieplnej;
 - ile kilogramów tlenku węgla(IV) CO_2 rocznie emituje do atmosfery to gospodarstwo domowe tylko w wyniku podgrzewania wody.

4. Zapisz w formie jonowej skróconej równania reakcji zachodzących podczas działania kwaśnych deszczów na:

- warstwę patyny $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ pokrywającą miedziany dach,
- aluminiowy talerz anteny satelitarnej,
- skały zbudowane z dolomitu $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$,
- stwardniałą zaprawę wapienną, składającą się głównie z węglanu wapnia CaCO_3 ,
- odslonięte złoża rudy zawierającej tlenek ołowiu(II) PbO .

Zadanie wykonaj w zeszycie.

5. Opisz szkodliwe działanie pyłów zawartych w powietrzu na zdrowie człowieka.

6. Wyjaśnij, dlaczego smog fotochemiczny często przyjmuje żółtawe zabarwienie. Zapisz w zeszycie równania reakcji, dzięki którym to zabarwienie powstaje.

7. W tabeli podano energię potrzebną do rozerwania 1 mola różnych wiązań.

Na podstawie informacji zawartych w tabeli:

a) wyjaśnij, dlaczego czynniki z grupy HFC nie obniżają stężeń ozonu w atmosferze;

b) porównaj wpływ wywierany na stężenie ozonu przez freony ze stężeniem wywieranym przez tak zwane halony, czyli środki gaśnicze, których cząsteczki zawierają wiązania C-F, C-Cl i C-Br.

Wiązanie	Energia (kJ/mol)
C-H	412
C-F	439
C-Cl	330
C-Br	276

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Do powstania efektu cieplarnianego przyczyniają się gazy cieplarniane (głównie tlenek węgla(IV) CO_2), które są przezroczyste dla promieniowania świetlnego, natomiast zatrzymują promieniowanie ciepłe w poczerwieni. Działalność człowieka prowadzi do wzrostu stężenia CO_2 i innych gazów cieplarnianych w powietrzu. Skutkiem tego jest globalne ocieplenie klimatu Ziemi, które może przynieść katastrofalne skutki. s. 133
- Różne aspekty działalności człowieka, a zwłaszcza pozyskiwanie energii ze spalania paliw kopalnych, prowadzi do wielu szkodliwych zjawisk, takich jak: zapylenie powietrza, kwaśne deszcze czy smog. s. 135, 136, 138
- Masowe użycie freonów jako środków chłodniczych i gazów pędnych w aerozolach doprowadziło do niszczenia ozonu zawartego w stratosferze i powstania zjawiska nazywanego dziurą ozonową. Rozkład ozonu następuje w wyniku reakcji z atomami chloru, uwalnianymi z cząsteczek freonu pod wpływem promieniowania nadfioletowego. s. 140
- Zapobieganie niekorzystnym zjawiskom zachodzącym w atmosferze polega na ograniczeniu emisji szkodliwych substancji, oczyszczaniu produktów emitowanych do atmosfery, rozwijaniu energetyki opartej na innych podstawach niż spalanie paliw kopalnych, a także na przeciwdziałaniu wylesianiu i obsadzeniu roślinnością nieużytków.

2. Ochrona wód naturalnych

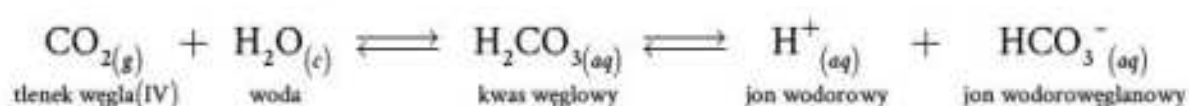
NA TEJ LEKCJI:

- poznasz charakterystykę trzech podstawowych typów wód występujących na Ziemi: wody deszczowej, wody słodkiej i wody morskiej;
- dowiesz się, dlaczego zanieczyszczenie wód związkami organicznymi pochodzenia biologicznego jest tak niebezpieczne dla życia wodnego;
- odkryjesz, jakie czynniki wpływają na rozpuszczalność tlenu w wodzie;
- przypomnisz sobie, na czym polega zjawisko eutrofizacji wód i jakie substancje są głównie za nie odpowiedzialne;
- zapoznasz się z metodami oczyszczania biologicznego i chemicznego ścieków.

Bez wody życie na Ziemi nie mogłoby istnieć. Woda stanowi środowisko życia dla wielu organizmów: ryb, głowonogów, skorupiaków, ssaków wodnych, planktonu, glonów czy roślin wodnych. Ponadto jest uniwersalnym rozpuszczalnikiem, w którym zachodzą praktycznie wszystkie reakcje biochemiczne związane z procesami życiowymi. Dlatego tak ważne jest utrzymanie wód naturalnych w odpowiednim stanie czystości.

2.1. Rodzaje wód naturalnych

woda deszczowa ➤ Najczystsza formą wody występującą w przyrodzie jest **woda deszczowa**. Powstaje w wyniku skroplenia pary wodnej dostającej się do atmosfery na skutek parowania powierzchniowego. Powstawanie deszczu przypomina proces destylacji. Zatem woda deszczowa powinna składać się wyłącznie z cząsteczek H_2O , a jej pH powinno wynosić dokładnie 7,0. Tak jednak nie jest, gdyż woda deszczowa rozpuszcza w sobie składniki atmosfery, przede wszystkim tlenek węgla(IV) CO_2 . W roztworze wodnym CO_2 częściowo przekształca się w słaby kwas węglowy H_2CO_3 :



Częściowa dysocjacja tego kwasu (w wyniku której powstają jony wodorowe) powoduje, że pH wody deszczowej jest niższe od 7, a zazwyczaj mieści się w granicach 5,6–6,0. Kwasowość może jednak mocno wzrosnąć pod wpływem emisji tlenków siarki i azotu do atmosfery (patrz: zjawisko kwaśnych deszczów opisane w poprzednim rozdziale), a pH wody deszczowej w obszarach zurbanizowanych i uprzemysłowionych może spaść znacznie poniżej wartości 5,6.

Na Ziemi około 3% zasobów wodnych stanowią **wody słodkie**. Dwie trzecie tych wód jest uwięzione w postaci wiecznych lodów (lody okolic biegunów, lodowce wysokogórskie). Pozostała część to wody gruntowe oraz wody powierzchniowe – jeziora, mokradła, rzeki. Wskutek kontaktu z podłożem wody słodkie zawierają pewną ilość rozpuszczonych jonów, pochodzących z dysocjacji soli mineralnych. Są to głównie kationy sodu Na^+ , wapnia Ca^{2+} i magnezu Mg^{2+} oraz aniony wodorowęglanowe HCO_3^- , siarczanowe SO_4^{2-} i chlorkowe Cl^- . Obecność zarówno jonów wodorowęglanowych, jak i kwasu węglowego, powstałego w wyniku rozpuszczenia atmosferycznego CO_2 , prowadzi do powstania swoistego roztworu buforowego. Dzięki niemu pH wody słodkiej jest zazwyczaj bliskie 7. W toku ewolucji organizmy wodne przystosowały się do życia w środowisku o odczynie w przybliżeniu obojętnym. Dlatego kwaśne deszcze, obniżające pH wód, są szkodliwe dla tych organizmów. ◀ wody słodkie

Lwią część zasobów wodnych Ziemi, około 97%, stanowią oceany i morza. **Woda morska** zawiera znacznie większą ilość rozpuszczonych soli niż woda słodka. Zasolenie wód oceanicznych (procentowa zawartość soli w wodzie) jest praktycznie takie samo na całym świecie i wynosi około 3,5%. Wynika to stąd, że sole obecnie w nich zawarte zostały wypłukane we wczesnym okresie formowania się oceanów i w ciągu milionów lat ich stężenie się wyrównało. Zasolenie mórz może się znacząco różnić od zasolenia oceanów ze względu na położenie geograficzne. Niewielkie śródlądowe morza, do których wpływają liczne rzeki niosące wodę słodką, położone w chłodnym lub umiarkowanym klimacie utrudniającym intensywne parowanie, mają zasolenie znacznie niższe. Do takich mórz zaliczamy Morze Bałtyckie (średnie zasolenie 0,7%) i Morze Czarne (średnie zasolenie 1,8%). Morza położone w obszarach o gorącym i suchym klimacie, do których wpływają nieliczne rzeki, mają z kolei zasolenie wyższe, na przykład Morze Czerwone na granicy Afryki i Azji (zasolenie 3,6–4,1%). Ze względu na wysokie stężenie soli woda morska wykazuje również wysokie ciśnienie osmotyczne. W tabeli 2.1. przedstawiono zawartość poszczególnych jonów pochodzących z dysocjacji soli rozpuszczonych w wodzie morskiej. Najwyższe stężenie osiągają jony sodu Na^+ i jony chlorkowe Cl^- . Zatem można przyjąć, że za zasolenie odpowiada przede wszystkim chlorek sodu NaCl rozpuszczony w wodzie. Woda morska zawiera również dość wysokie stężenie jonów wodorowęglanowych HCO_3^- , dzięki czemu ma odczyn słabo zasadowy, w granicach pH 7,5–8,4. Sole rozpuszczone w wodzie morskiej stanowią ważne źródło surowców dla człowieka. Od starożytności sól (chlorek sodu) pozyskuje się przez odparowanie wody z wody morskiej w tak zwanych salinach. Na skalę przemysłową z wody morskiej otrzymuje się między innymi magnez, brom i jod. ◀ woda morska

Tab. 2.1. Zawartość jonów w oceanicznej wodzie morskiej (dane dotyczące jonów o zawartości wyższej niż 0,0001%)

	Nazwa	Wzór	Zawartość (%)
Kationy	jon sodu	Na^+	1,076
	jon magnezu	Mg^{2+}	0,129
	jon wapnia	Ca^{2+}	0,041
	jon potasu	K^+	0,040
	jon strontu	Sr^{2+}	0,0008
Aniony	jon chlorkowy	Cl^-	1,935
	jon siarczanowy(VI)	SO_4^{2-}	0,271
	jon wodorowęglanowy i węglanowy	$\text{HCO}_3^-, \text{CO}_3^{2-}$	0,0106
	jon bromkowy	Br^-	0,0067
	jon diwodoroboranowy	H_2BO_3^-	0,0027
	jon fluorkowy	F^-	0,0001
		Razem:	3,5129

2.2. Zanieczyszczenie wód związkami organicznymi

Zwierzęta wodne, oddychające skrzelami (np. ryby, skorupiaki), do oddychania wykorzystują tlen rozpuszczony w wodzie. Rozpuszczalność tlenu w wodzie jest bardzo niska: w temperaturze 20°C, pod normalnym ciśnieniem powietrza (101,3 kPa), w 1 dm³ wody rozpuszcza się zaledwie 9,2 mg tlenu. Aby ryby mogły oddychać, stężenie tlenu w wodzie powinno wynosić co najmniej 4–5 mg/dm³. Oznacza to, że margines bezpieczeństwa jest w tym przypadku bardzo wąski. Każde zaburzenie, które obniży stężenie tlenu, może się okazać fatalne w skutkach dla ryb i innych organizmów żyjących w wodzie.

zanieczyszczenie
wód związkami
organicznymi

Najgroźniejszym zanieczyszczeniem obniżającym stężenie tlenu w wodzie są związki organiczne pochodzenia biologicznego zawarte w ściekach komunalnych (z gospodarstw domowych), przemysłowych i wytwarzanych przez rolnictwo. Źródłem tych związków są odchody ludzkie i zwierząt, resztki żywności oraz zużyte roztwory piorące i myjące. Wprowadzone do wody ulegają rozkładowi mikrobiologicznemu, głównie przez bakterie i pierwotniaki, którym służą za pokarm. Rozwijające się mikroorganizmy zużywają tlen zawarty w wodzie do swoich procesów oddychania. W rezultacie woda ubożeje w tlen i w końcu zaczyna go brakować rydom. Zatem ryby nie mogą żyć w wodzie silnie zanieczyszczonej związkami organicznymi – nadmierne odprowadzanie nieoczyszczonych ścieków stanowi dla nich śmiertelne zagrożenie.

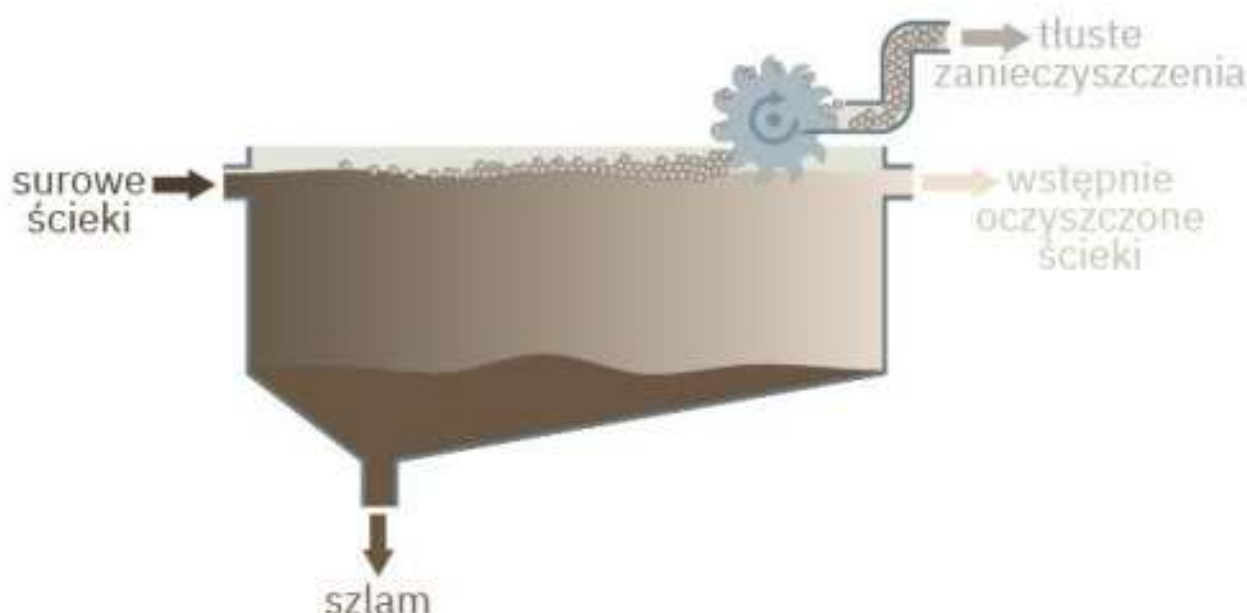
Miarą czystości wód jest parametr BZT_5 , czyli biochemiczne zapotrzebowanie na tlen. Wartość BZT_5 mierzy się w następujący sposób:

1. Próbkę wody o określonej objętości miesza się z porcją wody demineralizowanej nasyconej tlenem.
2. Za pomocą odpowiedniej aparatury mierzy się początkową zawartość tlenu w uzyskanym roztworze.
3. Roztwór inkubuje się przez 5 dni w temperaturze 20°C w ciemności.
4. Po inkubacji ponownie mierzy się zawartość tlenu i oblicza jego ubytek.

W czasie inkubacji mikroorganizmy zawarte w oryginalnej próbce rozwijają się i konsumują zawarte w niej zanieczyszczenia organiczne i jednocześnie zużywają tlen do oddychania. Im więcej zanieczyszczeń znajduje się w wodzie, tym więcej mikroorganizmów jest się w stanie wyżywić i tym więcej zużywa tlenu do oddychania. Zatem parametr BZT_5 jest miarą zawartości zanieczyszczeń organicznych w próbce. Bardzo czysta woda, doskonale nadająca się dla ryb do oddychania, ma parametr BZT_5 w granicach $1\text{--}2\text{ mg/dm}^3$. Woda o BZT_5 $6\text{--}9\text{ mg/dm}^3$ jest już uważana za umiarkowanie zanieczyszczoną, a życie organizmów wodnych w niej będzie mocno utrudnione. W wodzie o $BZT_5 > 10\text{ mg/dm}^3$ te organizmy nie będą w stanie przeżyć, cały dostępny tlen zostanie zużyty przez mikroorganizmy.

Związki organiczne usuwa się ze ścieków w oczyszczalniach w trakcie **oczyszczania biologicznego**. Surowe ścieki przepływają najpierw przez układ filtrów kratowych i osadników, które zatrzymują większe zanieczyszczenia stałe, na przykład: worki foliowe, butelki, szmaty, gałęzie i żwir. Następnie ścieki powoli płyną przez długi basen, w którym pozostające w nich drobne cząstki stałe opadają na dno, gdzie tworzą szlam. Z kolei tłuste zanieczyszczenia, lżejsze od wody, gromadzą się na powierzchni, z której można je zebrać (rys. 2.1.).

oczyszczanie biologiczne



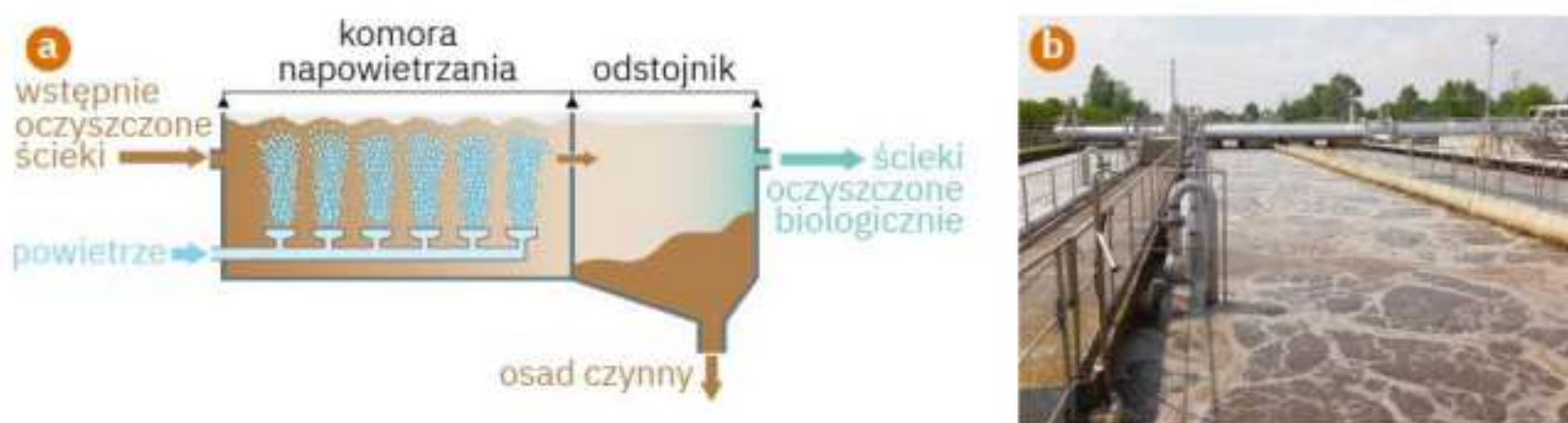
Rys. 2.1. Wstępne oczyszczanie ścieków w odстойniku.

Następnie ścieki są kierowane do oczyszczania biologicznego, które można prowadzić różnymi sposobami. Jeden z nich polega na zraszaniu ściekami złoża o silnie rozwiniętej powierzchni, na przykład warstwy żwiru lub drobnych kamieni (rys. 2.2.). Na powierzchni kamieni szybko tworzy się cienka warstwa żywych mikroorganizmów, które efektywnie rozkładają zanieczyszczenia organiczne. Odciek zbierany na dole zbiornika jest już w dużym stopniu wolny od tych zanieczyszczeń.



Rys. 2.2. Biologiczne oczyszczanie ścieków na złożu zraszonym: a) schemat oczyszczania, b) zbiornik ze złożem zraszonym.

W innej metodzie ścieki kieruje się do komory napowietrzania (rys. 2.3.). To zbiornik, w którym przepuszcza się przez nie powietrze lub tlen. Swobodny dostęp do tlenu skutkuje burzliwym rozwojem mikroorganizmów i przyspieszonym rozkładem związków organicznych. W kolejnych zbiornikach – odстойnikach – produkty rozkładu i bakterie opadają na dno i tworzą tak zwany osad czynny. Ten osad można dodawać do odpadów roślinnych (bio) przed poddaniem ich kompostowaniu.



Rys. 2.3. Biologiczne oczyszczanie ścieków w komorze napowietrzania: a) schemat oczyszczania, b) widok komory napowietrzającej.

2.3. Inne zanieczyszczenia wód

Oprócz związków organicznych pochodzenia biologicznego wraz ze ściekami do wód przedostają się również inne zanieczyszczenia. Wśród nich znajdują się na przykład: polifosforany i fosforany, związki metali ciężkich, pestycydy, substancje ropopochodne, zużyte leki i ich metabolity.

inne
zanieczyszczenia
wód

Źródłem fosforanów w ściekach komunalnych są proszki do prania. W proszkach używa się polifosforanów sodu (np. trifosforanu sodu $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) jako środka ułatwiającego pranie w twardej wodzie. Aniony polifosforanowe tworzą z kationami wapnia Ca^{2+} i magnezu Mg^{2+} trwałe związki kompleksowe, a to zapobiega wytrącaniu się nierozpuszczalnych soli tych metali podczas prania. W roztworze wodnym stopniowo hydrolizują i przekształcają się w jony fosforanowe(V) PO_4^{3-} , które ze ściekami przedostają się do wód powierzchniowych, gdzie wywołują **zjawisko eutrofizacji**. Wody naturalne, nieskażone ściekami komunalnymi, zawierają zazwyczaj dość wysokie stężenie jonów azotanowych(V) NO_3^- . Wynika to ze splukiwania nawozów azotanowych z pól. Natomiast stężenie jonów fosforanowych(V) w wodach naturalnych jest stosunkowo niskie, gdyż stosowane w rolnictwie nawozy fosforowe są znacznie trudniej rozpuszczalne w wodzie. Wzrost roślinności wodnej w takiej wodzie jest utrudniony ze względu na niedobór fosforu, który stanowi tutaj czynnik limitujący. Jeżeli jednak do wód powierzchniowych przedostaną się ścieki zawierające jony fosforanowe(V), w warunkach obfitości azotu i fosforu następuje burzliwy rozwój roślinności wodnej, zwłaszcza glonów i sinic. Taki proces nazywamy zakwitem wody. Woda staje się zielona i mętna, a większe zakwity są widoczne nawet z kosmosu. Rośliny wkrótce obumierają i rozpoczyna się proces ich rozkładu przez mikroorganizmy, które zużywają cały dostępny tlen rozpuszczony w wodzie do oddychania. Dochodzi do radykalnego obniżenia zawartości tlenu w wodzie, co powoduje masowe śnięcie ryb i śmierć innych zwierząt wodnych (rys. 2.4.).

zjawisko
eutrofizacji



Rys. 2.4. Eutrofizacja: a) zakwit wody na Morzu Bałtyckim w okolicy Gotlandii (wyspa należąca do Szwecji), b) skutki eutrofizacji wód.

- Nadmiar fosforanów można usunąć w oczyszczalni ścieków w etapie **oczyszczania chemicznego**, które następuje po opisanym wyżej oczyszczaniu biologicznym. Najpierw na ścieki działa się związkami koagulującymi, na przykład siarczanem(VI) żelaza(III) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ lub siarczanem(VI) glinu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Te związki powodują zbijanie się drobnych cząstek pozostałych po oczyszczaniu biologicznym w większe agregaty i umożliwiają oddzielenie ich w formie osadu. Następnie na uzyskany płyn działa się zawiesiną mleka wapiennego $\text{Ca}(\text{OH})_2$, co skutkuje wytrąceniem jonów fosforanowych(V) w postaci trudno rozpuszczalnego fosforanu(V) wapnia $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.



W środowisku zasadowym wytrącają się również trudno rozpuszczalne związki metali ciężkich, takie jak tlenki, wodorotlenki, węglany i fosforany. Dzięki temu toksyczne jony, na przykład: rtęci(II) Hg^{2+} , ołowiu(II) Pb^{2+} czy kadmu Cd^{2+} , zostają usunięte. Ostatecznie ścieki przepływają przez złożę węgla aktywnego, na którym absorbują się pozostałe zanieczyszczenia – resztki związków metali ciężkich i syntetyczne związki organiczne, takie jak pestycydy, leki i ropopochodne pozostałości.

Podczas omawiania niekorzystnego wpływu działalności człowieka na wody naturalne należy jeszcze wspomnieć o zanieczyszczeniu termicznym. Polega ono na **sztucznie wywołanym wzroście temperatury wód** powierzchniowych. Dochodzi do niego na przykład przez zrzut ogrzanych wód z elektrowni czy rozproszenie ciepła wytwarzanego przez urządzenia grzewcze. Rozpuszczalność gazów, w tym również tlenu, maleje wraz ze wzrostem temperatury. W temperaturze 20°C rozpuszczalność tlenu pod ciśnieniem atmosferycznym wynosi $9,2 \text{ mg/dm}^3$, ale w temperaturze 30°C – już tylko $7,7 \text{ mg/dm}^3$. Zatem ocieplenie wód sprawia, że zwierzętom wodnym trudno oddychać. W szczególnie upalne lata dochodzi czasem do tak zwanej przyduchy, podczas której stężenie tlenu spada tak bardzo, że powoduje to śnięcie ryb.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

1. Wyjaśnij, dlaczego odczyn wody deszczowej jest zawsze kwasowy.
2. Odszukaj na mapie świata Morze Weddella (u wybrzeży Antarktydy) i Zatokę Perską (w Azji Południowo-Zachodniej). Na podstawie położenia geograficznego określ, czy zasolenie tych akwenów morskich będzie znacząco odbiegać od średniego zasolenia 3,5‰ i w jaki sposób. Odpowiedź uzasadnij.

3. Próbkę wody o objętości $50,00\text{ cm}^3$ zmieszano z około 50 cm^3 wody demineralizowanej nasyconej tlenem. Zmierzona zawartość rozpuszczonego tlenu w próbce wyniosła $0,525\text{ mg}$. Próbkę następnie inkubowano w ciemności przez 5 dób w temperaturze 20°C . Potem ponownie zmierzono zawartość tlenu, która tym razem wyniosła $0,485\text{ mg}$. Oblicz parametr BZT_5 dla badanej wody. Oszacuj czystość wody (bardzo czysta, czysta, zanieczyszczona, bardzo zanieczyszczona). Określ, czy ryby żyjące w takiej wodzie będą mogły swobodnie oddychać.
4. Wyjaśnij, dlaczego podwyższona zawartość związków organicznych pochodzenia biologicznego w wodzie skutkuje obniżoną zawartością rozpuszczonego tlenu.
5. Wskaż, które z wymienionych zjawisk będą miały wpływ na zawartość tlenu w wodzie:
 - a) nadejście silnego ochłodzenia na przełomie listopada i grudnia,
 - b) spokojny przepływ wody skalistym korytem utworzonym w skałach wapiennych,
 - c) burzliwy przepływ wody przez szereg kaskad (niewielkich wodospadów),
 - d) gwałtowny rozwój zielonych alg na powierzchni stawu w lecie,
 - e) rzucenie nieoczyszczonych ścieków z pralni bezpośrednio do rzeki,
 - f) opad kwaśnego deszczu.
 Odpowiedź uzasadnij.
6. Opisz, na czym polega oczyszczanie biologiczne ścieków.
7. Zapisz w zeszycie przykładowe równania reakcji, którym mogą ulegać jony metali ciężkich pod wpływem mleka wapiennego w fazie chemicznego oczyszczania ścieków.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Woda deszczowa ma odczyn słabo kwasowy z powodu rozpuszczania atmosferycznego tlenku węgla(IV). Wody słodkie zawierają pewną ilość różnych jonów wskutek rozpuszczania składników mineralnych podłoża. Oceaniczna woda morska zawiera około 3,5% soli rozpuszczonych przed milionami lat (w okresie powstawania oceanów). Zasolenie wody morskiej może się zmieniać w zależności od położenia geograficznego akwenów. s. 144
- Związki organiczne pochodzenia biologicznego przedostające się do wód powodują ich ubożenie w tlen i oddziałują negatywnie na faunę wodną. Większość zanieczyszczeń tego typu usuwa się w oczyszczalniach ścieków w trakcie oczyszczania mikrobiologicznego. s. 146, 147
- Ubożenie wody w tlen może być również spowodowane nadmiernym wzrostem temperatury wody oraz obecnością fosforanów(V) w ściekach, które przyczyniają się do zjawiska eutrofizacji wód. Fosforany(V), jak również jony metali ciężkich, pestycydy i pozostałości leków, usuwa się z wody w procesie oczyszczania chemicznego. s. 149, 150

3. Ochrona środowiska lądowego

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się ze strukturą gleby i poznasz jej najważniejsze rodzaje;
- dowiesz się, z jakich składników składa się gleba;
- zbadasz podstawowe właściwości gleby, takie jak zdolność do retencji wody, właściwości sorpcyjne oraz kwasowość;
- odkryjesz, jakie procesy przebiegające w glebie sprzyjają jej zakwaszaniu i jak radzić sobie z tym problemem;
- poznasz skutki środowiskowe masowego stosowania nawozów sztucznych w rolnictwie;
- przeanalizujesz argumenty za wykorzystywaniem środków ochrony roślin w produkcji rolniczej oraz przeciwko ich stosowaniu.

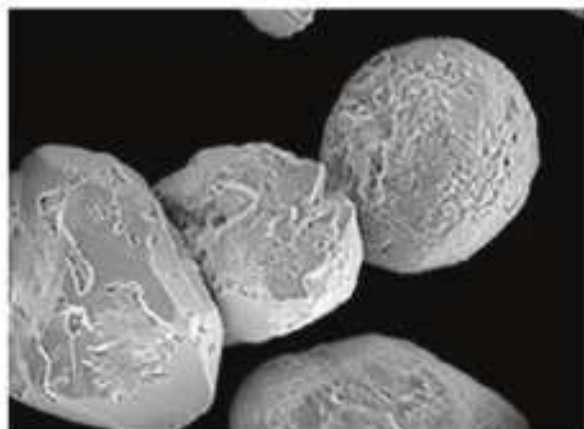
Obszary lądowe na naszej planecie są w większości pokryte warstwą **gleby**. Gleba pełni bardzo ważną funkcję w środowisku naturalnym, a także w różnych gałęziach działalności gospodarczej, przede wszystkim w rolnictwie i leśnictwie. To dzięki glebie możliwy jest wzrost roślin – zarówno dziko rosnących, jak i uprawnych, dla których stanowi ona podłoże i źródło składników odżywczych. Gleba bierze udział w obiegu wody w przyrodzie, dzięki zdolności do akumulacji wody i oczyszczania jej w procesie filtracji. Jest zatem ważnym zasobem naturalnym, który należy otoczyć szczególną ochroną.

3.1. Struktura i właściwości gleby

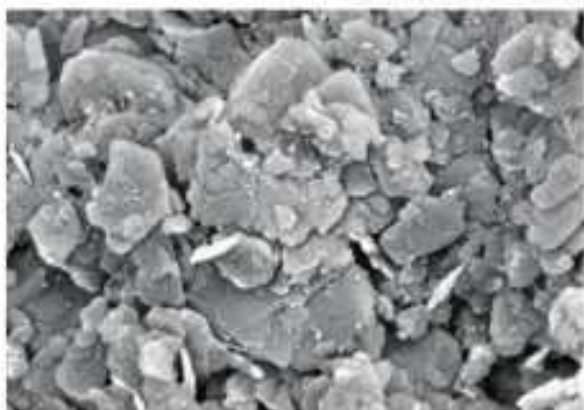
składniki gleby ➤ Podstawowym składnikiem gleby jest silnie rozdrobniony materiał pochodzenia mineralnego, utworzony w procesie wietrzenia skał. Rodzaj minerałów oraz wielkość ziarna istotnie wpływają na właściwości gleby. Na przykład głównym składnikiem gleb piaszczystych (rys. 3.1.a) są w przybliżeniu kuliste ziarna kwarcu powstałego w wyniku wietrzenia granitu i innych skał. Ziarna te są dość duże (0,02–2 mm), co pozostawia sporo pustej przestrzeni między nimi. W rezultacie te gleby mają strukturę luźną, sypką. Określamy je jako „gleby lekkie”. Częstki w glebach gliniastych i ilastych są raczej płaskie (rys. 3.1.b) i znacznie mniejsze (0,002–0,02 mm). Silnie przywierają do siebie i tworzą zbitą strukturę tak zwanych gleb ciężkich. Niekiedy gleby przyjmują zabarwienie od składników mineralnych w nich zawartych. Na przykład gleby bogate w związki żelaza(III) charakteryzują się czerwono-brunatną barwą.

Puste przestrzenie między ziarnami w suchej glebie są wypełnione powietrzem. Zawartość powietrza w glebie w oczywisty sposób zależy od kształtu i wielkości ziaren. Gleby lekkie, piaszczyste, w których między kulistymi ziarnami tworzą się stosunkowo duże puste przestrzenie, są silnie napowietrzone. Gleby ciężkie,

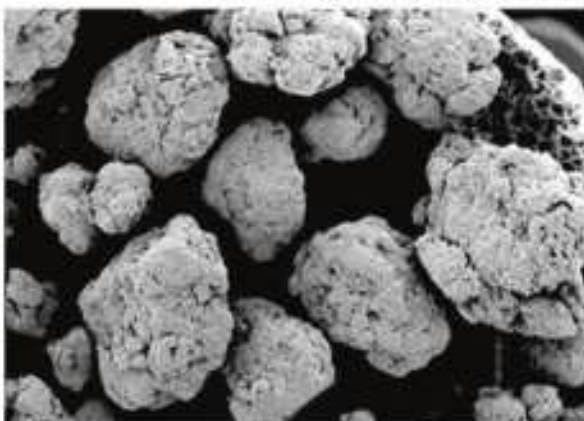
w których płaskie ziarna silnie przywierają do siebie, są ubogie w powietrze. Powietrze w glebie ma inny skład niż atmosferyczne – zawiera dziesięciokrotnie więcej tlenu węgla(IV) CO_2 , który jest produktem mikrobiologicznych procesów rozkładu, intensywnie zachodzących w glebie.



a) Gleba piaszczysta – składa się z w przybliżeniu kulistych ziaren piasku, jest sypka, ma jasną barwę.



b) Gleba gliniasta – składa się z płaskich ziaren mocno przywierających do siebie, jest zwarta, w stanie wilgotnym mazista, ma zabarwienie ciemniejsze od gleby piaszczystej, żółtawe lub czerwone.



c) Czarnoziem – gleba o strukturze gruzelkowej, bogata w humus, o bardzo ciemnym zabarwieniu.

Rys. 3.1. Rodzaje gleby.

Kolejny ważny składnik gleby to woda. Woda jest zatrzymywana w glebie nie tylko z powodu mechanicznego wypełniania przestrzeni między ziarnami. Istotną rolę odgrywa również adsorpcja na powierzchni ziaren, głównie dzięki oddziaływaniom między cząsteczkami wody a jonami lub grupami hydroksylowymi znajdującymi się na powierzchni ziarna. Szczególnie silne są oddziaływania z cząstkami gliny, których płaska powierzchnia jest pokryta licznymi grupami hydroksylowymi wchodzącymi w skład wieloatomowych jonów glinokrzemianowych. Wiązania

wodorowe tworzące się między tymi grupami a cząsteczkami wody sprzyjają zatrzymywaniu wody przez gleby gliniaste. Cząsteczki wody mogą być również wbudowywane w strukturę krystaliczną nieorganicznych związków mineralnych i tworzyć hydraty. Większość roślin wymaga do prawidłowego wzrostu ciągłej perkolacji wody, czyli jej stopniowego przepływu z góry na dół.

Składnikiem decydującym o żyzności gleby jest próchnica, zwana również humusem. Składają się na nią szczątki organiczne martwych organizmów (głównie roślinnych) w różnym stadium rozkładu mikrobiologicznego. Humus pełni różnorodne funkcje w glebie: nadaje jej ciemne zabarwienie, zlepia ze sobą ziarna mineralne, przez co wpływa na jej konsystencję. Jednak przede wszystkim jest źródłem składników odżywczych dla roślin, występujących w łatwo przyswajalnej dla nich formie. Najżyźniejsze czarnoziemy (rys. 3.1.c) zawierają 5–10% humusu w wierzchniej warstwie, spajającego składniki w granulki, dzięki czemu gleba ma dobrze napowietrzoną strukturę gruzelkowatą. Humus spontanicznie powstaje w wyniku mikrobiologicznego rozkładu szczątków roślinnych (opadłych liści i igliwia, obumarłych korzeni traw itp.) w wilgotnej glebie. Tworzy się w warunkach swobodnej perkolacji wody. W stojącej wodzie, na przykład na mokradłach, rozkład szczątków roślinnych prowadzi do powstania torfu. Towarzyszy temu silne zakwaszenie gleby, gdyż kwasy organiczne powstające wskutek mikrobiologicznego rozkładu nie są odprowadzane w głąb gruntu.

Doświadczenie 1. Badanie właściwości gleby

Odczynniki: próbki gleby pobrane z różnych miejsc, najlepiej różniących się znacznie właściwościami fizykochemicznymi: na przykład żyzna gleba ogrodnicza, lekka i jasna gleba piaszczysta, ciężka gleba gliniasta, uniwersalne papierki wskaźnikowe, atrament, węgiel aktywny

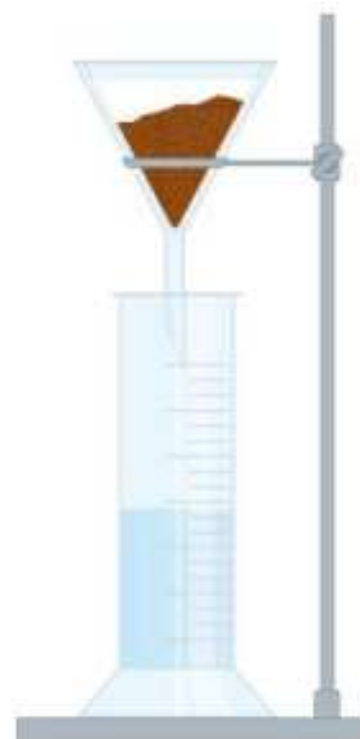
Sprzęt laboratoryjny: zlewki o pojemności 50 cm³, bagietki szklane, cylindry miarowe o pojemności 500 cm³, lejki szklane, sączi z bibuły filtracyjnej

Opis:

Próbki gleby wysusz w temperaturze 105°C, a następnie rozetrzyj w moździerzu na jednorodny proszek.

1. Badanie zdolności do retencji wody

Przygotuj zestaw zgodnie z rysunkiem. W wylocie cylindra miarowego o pojemności 500 cm³ umieść lejek, a w nim sącze z bibuły filtracyjnej. W lejku umieść 50 g suchej, sproszkowanej gleby. Następnie przelej przez nią 150 cm³ wody destylowanej (demineralizowanej). Zadbaj o to, aby cała zawartość sącza była równomiernie zwilżona plynem, a prze-



sącz zbierz w cylindrze. Zebrany przesącz przelej jeszcze kilka razy przez próbkę. Zmierz ostateczną objętość wody w cylindrze. Oblicz maksymalną pojemność wodną gleby PW ze wzoru:

$$PW = \frac{m_w - m_p}{m_g} \cdot 100\%$$

m_w – masa wody przelewanej przez próbkę, m_p – masa przesączu, m_g – masa gleby; wyrażone w gramach. Przyjmij, że gęstość wody i przesączu wynosi 1 g/cm^3 . Powtórz procedurę dla pozostałych próbek gleby.

2. Badanie właściwości sorpcyjnych

Przygotuj trzy zestawy złożone z cylindra, lejka i sączka, podobnie jak w punkcie 1. W pierwszym zestawie lejek wypełnij do połowy wysokości sproszkowaną glebą piaszczystą, w drugim – glebą gliniastą, a w trzecim dla porównania – węglem aktywnym. Do każdego lejka wlej 10 cm^3 rozcieńczonego atramentu (roztwór powinien być przejrzysty, ale barwa niebieska powinna być wyraźnie widoczna). Następnie przemyj zawartość każdego lejka 100 cm^3 wody destylowanej (demineralizowanej). Porównaj wizualnie intensywność barwy przesączów.

3. Badanie kwasowości

W zlewkach o pojemności 50 cm^3 odważ po 10 g suchej, sproszkowanej gleby. Do każdej z nich dodaj 25 cm^3 wody destylowanej (demineralizowanej). Zawartość mieszaj przez kilka minut bagietką szklaną. Po opadnięciu osadu na dno pobierz kroplę roztworu znad osadu bagietką szklaną i umieść tę kroplę na uniwersalnym papierku wskaźnikowym. Na podstawie zabarwienia papierka określ wartość pH roztworu. Jeżeli pracownia szkolna dysponuje pehametrem, odczyn zawiesiny zbadaj przez zanurzenie elektrody pomiarowej bezpośrednio w uzyskanej zawieszynie.

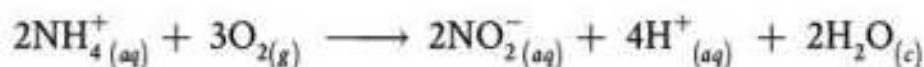
Gleby mogą się bardzo różnić pod względem swoich właściwości: żyzności, zdolności do zatrzymywania wody, sorpcji czy też odczynu kwasowo-zasadowego. Rośliny rosną lepiej na glebach bogatych w humus i zdolnych do dłuższego utrzymywania się w stanie wilgotnym (o wysokiej wartości współczynnika PW). Lekkie gleby piaszczyste słabo zatrzymują wodę i łatwo wysychają, podczas gdy gleby ciężkie i żyzne zachowują wilgotność znacznie dłużej. Zdolności sorpcyjne odgrywają istotną rolę w odżywianiu roślin. Gleby o wysokiej zdolności do sorpcji zatrzymują składniki odżywcze, dzięki czemu zapewniają dostęp do nich systemom korzeniowym roślin. Jeżeli zdolność do sorpcji jest niska, wówczas składniki odżywcze są szybko wymywane przez wodę (np. z opadów) i ich dostępność staje się niższa. właściwości gleby

Istotnym parametrem gleby jest jej odczyn kwasowo-zasadowy. Współczynnik pH gleb silnie kwaśnych może przyjmować wartości niższe od 4,5 (odczyn silnie zdolności sorpcyjne gleby

kwasowy). W przypadku gleb kwaśnych pH osiąga 4,5–6,0. Gleby obojętne i słabo kwaśne mają pH o wartości 6,0–7,5, a gleby zasadowe – powyżej 7,5. Odczyn gleby wpływa na rozpuszczalność składników odżywczych, a zatem również na ich przyswajalność. Azot (w formie jonu azotanowego(V) NO_3^-), fosfor (w formie jonu diwodorofosforanowego(V) H_2PO_4^-) i potas (jako jon K^+) są najlepiej przyswajalne w środowisku obojętnym lub słabo kwasowym. Niektóre rośliny przystosowały się do bardzo wąskiego zakresu pH gleby, w której mogą się rozwijać. Na przykład borówka amerykańska wymaga gleby silnie kwaśnej, podczas gdy rośliny przyprawowe pochodzenia śródziemnomorskiego (np. rozmaryn) dobrze rosną na glebach o charakterze obojętnym lub zasadowym. Większość roślin uprawianych przez człowieka (zboża, ziemniaki, buraki cukrowe) jest bardziej tolerancyjna i może rosnąć na glebach o odczynie słabo kwasowym lub obojętnym.

procesy zachodzące
w glebie

- ▶ Naturalne **procesy zachodzące w glebie** sprzyjają jej zakwaszaniu. Należą do nich:
 - mikrobiologiczny rozkład resztek organicznych w glebie, wytwarzający tlenek węgla(IV) CO_2 , który w połączeniu z wodą daje kwas węglowy H_2CO_3 ;
 - wymywanie jonów Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ i K^+ w głąb gruntu i zastępowanie ich jonami H^+ i Al^{3+} ;
 - wydzielanie kwasów organicznych przez korzenie roślin;
 - procesy nitryfikacyjne, to znaczy bakteryjne utlenianie jonów amonowych NH_4^+ do jonów azotanowych(III) NO_2^- :



Również niektóre aspekty działalności człowieka sprzyjają zakwaszeniu gleb, na przykład stosowanie nawozów sztucznych czy też zjawisko kwaśnych deszczów. Dlatego też powszechną praktyką stosowaną w rolnictwie jest wapnowanie gleby, czyli działanie na nią sproszkowanym wapnem (tlenkiem wapnia CaO) lub kredą (węglanem wapnia CaCO_3). Zabieg ten ma na celu zobojętnienie nadmiaru kwasów i podwyższenie pH gleby.

3.2. Wpływ rolnictwa na środowisko – nawozy, pestycydy

skutki działalności
rolniczej

stosowanie syntetycznych
nawozów sztucznych

- ▶ Intensywna działalność rolnicza prowadzi do nieuchronnych zmian w środowisku i przyczynia się do niepożądanych zjawisk. Masowe stosowanie syntetycznych nawozów sztucznych, takich jak azotany(V) lub fosforany(V), sprawia, że te związki są stopniowo wymywane z pól przez opady. Przez to przedostają się one do wód powierzchniowych: strumieni, rzek, jezior i w końcu do mórz. Skutkiem tego zjawiska jest użyźnienie (eutrofizacja) wód, które prowadzi do nadmiernego rozwoju roślinności wodnej i w konsekwencji do zakwitów z wszystkimi ich negatywnymi konsekwencjami. Szczególnie łatwo wymywane są z gleby nawozy azotowe: azotany(V) sodu, potasu, wapnia i amonu, gdyż są to związki

bardzo dobrze rozpuszczalne w wodzie, słabo adsorbujące się w glebie. Wymusza to częstsze stosowanie tych nawozów, co tylko potęguje przedostawanie się ich do środowiska. Nawozy fosforowe, przede wszystkim diwodorofosforan wapnia $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, są trudniej rozpuszczalne w wodzie i w znacznie mniejszym stopniu są wymywane z pól do wód. W rezultacie, chociaż woda spływająca z pól zawiera dość wysokie stężenie jonów azotanowych(V), zjawisko eutrofizacji jest zahamowane przez stosunkowo niskie stężenie jonów fosforanowych(V), będących w tym przypadku czynnikiem ograniczającym. Jeżeli jednak do wód przedostaną się niedostatecznie oczyszczone ścieki komunalne bogate w fosforany(V), pochodzące z proszków do prania, czynnik ograniczający znika i dochodzi do gwałtownych zakwitów.

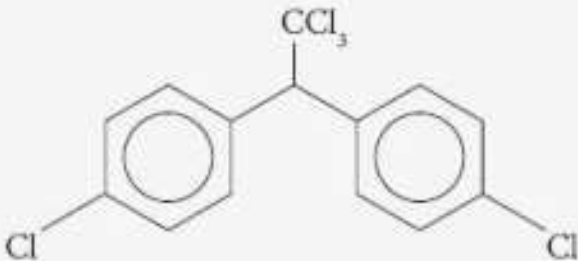
Współczesne rolnictwo nie jest możliwe bez chemicznych środków ochrony roślin, zwanych **pestycydami**. Chronią one plony przed szkodnikami, takimi jak: ♦ **pestycydy** owady, gryzonie, ptaki, chwasty czy grzyby. Szacuje się, że gdybyśmy nie stosowali pestycydów, moglibyśmy stracić na rzecz szkodników 30–40% wytworzonej żywności. Nie możemy sobie pozwolić na taką stratę, chociażby ze względu na ograniczone zasoby ziemi uprawnej na naszej planecie.

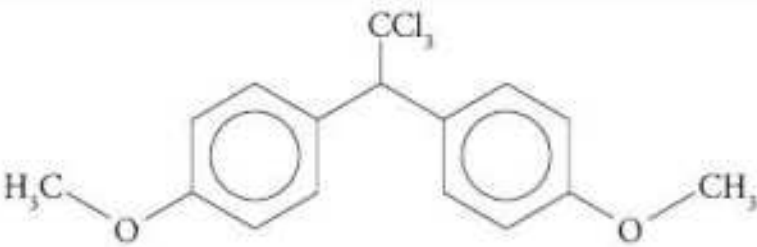
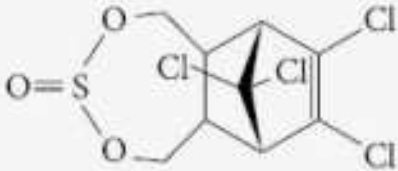
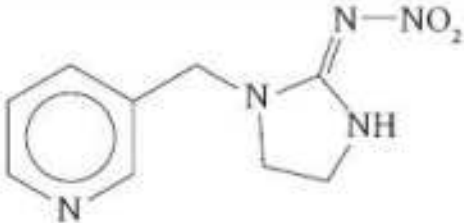
Pestycydy przeznaczone do zwalczania owadzych szkodników, na przykład stonki ziemniaczanej lub bielinka kapustnika, nazywamy **insektycydami**. Pierwszym skutecznym insektycydem wprowadzonym do użytku na wielką skalę w latach czterdziestych ubiegłego stulecia był 1,1,1-trichloro-2,2-di(4-chlorofenyl)etan, powszechnie znany pod akronimem **DDT** (tab. 3.1.). W pierwszych latach jego stosowania okrzyknięto ten związek prawdziwym dobrodziejstwem dla ludzkości. Według ówczesnych badań był zupełnie nieszkodliwy dla człowieka, natomiast skutecznie zabijał wszelkie niepożądane owady. W czasie II wojny światowej DDT chronił żołnierzy walczących na wielu frontach na całym świecie przed ugryzieniami dokuczliwych owadów roznoszących śmiertelne choroby: komarów (malaria), wszy (tyfus) i pcheł (dżuma). Był reklamowany jako nieszkodliwy środek przeciwko uciążliwym owadom w gospodarstwie domowym – molom i muchom, wykorzystywano go między innymi w walce z wszawicą wśród młodzieży szkolnej (preparat aplikowano bezpośrednio na włosy). Ogromne ilości DDT rozpylano nad polami uprawnymi, by chroniły plony. Wkrótce jednak dały o sobie znać negatywne skutki bez troski o wprowadzenia DDT do środowiska. Ten związek, splukiwany z pól przez deszcze, przedostawał się do wód powierzchniowych, a następnie był magazynowany w tkance tłuszczowej żyjących tam ryb. Następnie wraz z pokarmem przedostawał się do organizmów ptaków żywiących się rybami, na przykład kormoranów i bielików, gdzie upośledzał formowanie się jaj. Miały one miękką, słabo wykształconą skorupkę, która zapadała się pod ciężarem wysiadującego ptaka. Zagrożenie procesu rozmnażania ptaków zwróciło uwagę opinii publicznej na problem zanieczyszczenia środowiska DDT

i od 1973 r. ten związek wycofywano z użytku. Obecnie w większości krajów na świecie stosowanie DDT jest prawnie zabronione, chociaż niektóre kraje Afryki i Azji wciąż stosują go w walce z malarią i do ochrony plonów.

Szkodliwe działanie DDT wiąże się między innymi z jego długim okresem połowicznego rozpadu w środowisku, który w glebie wynosi średnio około 8 lat. Oznacza to, że po wprowadzeniu pewnej ilości DDT do środowiska, po 8 latach połowa pierwotnej ilości wciąż pozostanie nierozłożona, a po 16 latach – połowa połowy, czyli jedna czwarta oryginalnej ilości itd. Wycofaniu DDT z użytku towarzyszyły intensywne prace badawcze mające na celu uzyskanie insektycydów o krótszym okresie połowicznego rozpadu, przyjaźniejszych dla środowiska. Początkowo te badania koncentrowały się na związkach chloroorganicznych, takich jak metoksychlor czy endosulfan. Ich okres połowicznego zaniku był krótszy, jednak współcześnie już się ich nie używa ze względu na zawartość chloru. Obecnie rolnictwo dysponuje całą gamą nowoczesnych insektycydów (np. imidaklopryd – tab. 3.1.), które umożliwiają ich precyzyjne stosowanie, jednocześnie zmniejszające do minimum ryzyko narażenia konsumentów na ich szkodliwe działanie. Krótki czas połowicznego rozpadu pozwala na zastosowanie środka w takim momencie, aby skutecznie zniszczył szkodniki, a następnie praktycznie całkowicie się rozłożył, zanim produkt trafi do konsumenta. Wokół stosowania środków ochrony roślin istnieje wiele kontrowersji podobnych do tych, które towarzyszą stosowaniu konserwantów w żywności. Wielu konsumentów postrzega żywność „pryskaną” środkami ochrony roślin jako gorszą i potencjalnie szkodliwą. Jeżeli jednak te środki są stosowane racjonalnie, z zachowaniem reżimu czasowego, nie szkodzą zdrowiu człowieka. Wręcz przeciwnie – chronią żywność przed rozwojem szkodników, które mogą powodować znaczne pogorszenie jej jakości. Natomiast wciąż nierozwiązanym problemem jest toksyczność środków ochrony roślin dla owadów pożytecznych, na przykład dla pszczoł. Insektocydy są trujące dla wszystkich owadów, nie tylko dla szkodników, zatem negatywnie wpływają na populację pszczoł, owadów zapylających kwiaty i tym samym odgrywających kluczową rolę w produkcji owoców.

Tab. 3.1. Przykłady związków chemicznych stosowanych jako insektycydy

Nazwa handlowa	Wzór chemiczny	Okres połowicznego rozpadu w środowisku
DDT, azotox		8 lat (wartość średnia), wycofany z użytku

Nazwa handlowa	Wzór chemiczny	Okres połowicznego rozpadu w środowisku
metoksychlor		20–200 dni, wycofany z użytku
endosulfan		3–7 dni, w trakcie wycofywania z użytku
imidaklopryd		1–4 godz. (pod wpływem światła), najszersze stosowany insektycyd z grupy tzw. neonicotynoidów (syntetycznych pochodnych nikotyny)

Spośród innych grup pestycydów należy wymienić herbicydy, czyli środki zwalczające niepożądaną roślinność, na przykład chwasty, rodentycydy, czyli środki wymierzone przeciwko gryzoniom, oraz awicydy, czyli preparaty odstraszające ptaki.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Wskaż, który z rodzajów gleb: piaszczysta, gliniasta czy czarnoziem, będzie wykazywał:
 - najmniejszą zawartość powietrza w stanie suchym,
 - najwyższą zawartość humusu,
 - najmniejszą zdolność do zatrzymywania wody,
 - najmniejszą zdolność do sorpcji składników odżywczych.
- Masa 1 dm³ suchego piasku wynosi 1520 g.
 - Oblicz, jaką objętość zajmuje powietrze w tej ilości piasku, jeżeli gęstość kwarcu, z którego składa się piasek, wynosi 2,65 g/cm³. Przyjmij, że gęstość powietrza jest pomijalnie mała w porównaniu z gęstością kwarcu.
 - Oblicz masę piasku po zwilżeniu go wodą. Załóż, że powietrze zawarte w pustych przestrzeniach między ziarnami całkowicie zastąpiono wodą. Gęstość wody wynosi 1,00 g/cm³.
- Jedną z przyczyn wzrostu kwasowości gleby jest zastępowanie jonów magnezu, wapnia, sodu i potasu jonami glinu Al³⁺. Wyjaśnij, dlaczego obecność tych ostatnich prowadzi do zwiększenia stężenia jonów wodorowych H⁺. Napisz w zeszycie odpowiednie równanie reakcji chemicznej.

4. Wyjaśnij, dlaczego wody spływające z pól uprawnych są bogate w jony azotanowe(V), a zawierają znacznie mniej jonów fosforanowych(V).
5. W Polsce zakaz stosowania DDT wszedł w życie w 1976 r. Oblicz, jaki procent DDT wprowadzony do środowiska do tego roku ulegnie rozkładowi do 2024 r. Przyjmij, że okres połowicznego rozpadu w środowisku dla tego związku wynosi 8 lat.
6. Podaj pozytywne i negatywne aspekty stosowania środków ochrony roślin w rolnictwie.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- s. 152, 155 ▶ • W skład gleby wchodzi ziarna rozdrobnionego materiału skalnego (mineralnego), humusu (szczątki organizmów roślinnych i zwierzęcych w różnych fazach rozkładu), woda i powietrze. Właściwości gleby są pochodnymi jej składu i struktury. Do najważniejszych dla rolnictwa właściwości gleby należą jej zdolność do retencji wody, zdolność do sorpcji oraz kwasowość.
- s. 156 ▶ • Naturalne i antropogeniczne procesy zachodzące w glebie sprzyjają jej zakwaszaniu. W rolnictwie przeciwdziała się temu zjawisku przez stosowanie wapnowania gleby.
- s. 156 ▶ • Intensywna działalność rolnicza powoduje niekorzystne zmiany w środowisku, między innymi prowadzi do eutrofizacji wód w wyniku wymywania z pól nawozów sztucznych oraz stwarza różnorodne problemy związane ze stosowaniem środków ochrony roślin.
- s. 157 ▶ • Środki ochrony roślin (pestycydy) skutecznie chronią plony przed szkodnikami, jednak ich nieracjonalne użycie może przynieść szkody zarówno zdrowiu człowieka, jak i środowisku naturalnemu.

4. Chemia a środowisko

NA TEJ LEKCJI:

- zapoznasz się z ideą zrównoważonego rozwoju;
- poznasz 12 zasad zielonej chemii;
- dowiesz się, że postępowanie zgodne z zasadami zielonej chemii często jest trudne, może wymagać kompromisów między wartościami użytkowymi produktów a ich wpływem na środowisko i nie zawsze jest możliwe;
- prześledzisz problemy związane z wprowadzaniem zielonych technologii na przykładzie wytwarzania biopaliw.

W 1798 r. angielski ekonomista Thomas Malthus opublikował swój pogląd na temat przyszłości rozwoju cywilizacji na Ziemi. Argumentował, że skoro liczba ludności rośnie w postępie geometrycznym, natomiast produkcja żywności przyrasta wolniej – w postępie arytmetycznym, to musi w końcu dojść do nieuchronnej katastrofy spowodowanej globalnym głodem. W XIX i w pierwszej połowie XX w. teoria Malthusa w różnych wariantach zdominowała myślenie o losach cywilizacji. Zgodnie z jej założeniami w przyszłości zasoby naturalne ulegną wyczerpaniu, a degradacja i zanieczyszczenie środowiska naturalnego uniemożliwią produkcję pełnowartościowej i zdrowej żywności. W drugiej połowie XX w. stopniowo narastało przekonanie, że świadome działanie człowieka na rzecz ochrony środowiska i zasobów naturalnych może oddalić tę perspektywę, a nawet zatrzymać niekorzystne procesy niszczące naszą planetę. W latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia te poglądy ostatecznie przyjęły formę **zasady zrównoważonego rozwoju**.

zasada
zrównoważonego
rozwoju

4.1. Zasada zrównoważonego rozwoju

Początki koncepcji zrównoważonego rozwoju wywodzą się z gospodarki leśnej. Pod koniec XVII w. wiedzano już, że aby zachować zasoby leśne w stanie nie-naruszonym, należy w miejsce wyciętych drzew posadzić tyle samo nowych. Współcześnie tę ideę rozszerzono na całość działalności gospodarczej człowieka. W uproszczeniu zakłada ona, że powinniśmy postępować w taki sposób, aby naturalne zasoby Ziemi nie ulegały nieodwracalnemu wyczerpaniu lub degradacji. Zasadę zrównoważonego rozwoju sformułowano w dokumentach Organizacji Narodów Zjednoczonych w następujący sposób: „**Zrównoważony rozwój Ziemi** to rozwój, który zaspokaja podstawowe potrzeby wszystkich ludzi oraz zachowuje, chroni i przywraca zdrowie i integralność ekosystemu Ziemi, bez zagrożenia możliwości zaspokojenia potrzeb przyszłych pokoleń i bez przekraczania długookresowych granic pojemności ekosystemu Ziemi”.

Zapis o kierowaniu się zasadą zrównoważonego rozwoju znalazł się w artykule 5 Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej, a samą zasadę zdefiniowano w ustawie Prawo ochrony środowiska. W 2015 r. państwa członkowskie ONZ podpisały obszerny dokument określający **cele zrównoważonego rozwoju**, które ma osiągnąć świat do 2030 r. Zawarto w nim 17 celów ogólnych obejmujących łącznie 169 celów szczegółowych z bardzo różnych dziedzin działalności człowieka. Dotyczą one między innymi: eliminacji zjawiska głodu i ubóstwa, dostępu do służby zdrowia i edukacji, równości płci, sprawiedliwości społecznej. Wśród nich znalazły się również cele powiązane w mniejszym lub większym stopniu z szeroko pojętymi naukami chemicznymi, takie jak: dostęp do czystej wody, rozwój źródeł energii alternatywnych do spalania paliw kopalnych, przeciwdziałanie zmianom klimatycznym czy też promowanie technologii przyjaznych środowisku.

Przykładem postępowania zgodnego z zasadą zrównoważonego rozwoju jest poszukiwanie i upowszechnianie źródeł energii opartych na innych technologiach niż pozyskiwanie energii cieplnej ze spalania węgla, ropy naftowej czy też gazu ziemnego. Te surowce należą do grupy zasobów nieodnawialnych. Utworzyły się wskutek długotrwałych procesów geologicznych wiele milionów lat temu i ciągle eksploatacja prowadzi do ich nieuchronnego wyczerpania. Ponadto energetyka oparta na spalaniu paliw kopalnych przynosi wiele innych skutków negatywnych dla środowiska. Tlenek węgla(IV), produkt spalania, przyczynia się do potęgowania efektu cieplarnianego i globalnego ocieplenia klimatu. Spalaniu towarzyszy zazwyczaj emisja pyłów szkodliwych dla zdrowia i dla środowiska. Tlenki siarki i azotu emitowane przez elektrociepłownie i rury wydechowe samochodów są przyczyną kwaśnych deszczów wyrządzających wiele szkód w przyrodzie i gospodarce. Sam proces uzyskiwania energii w formie ciepła prowadzi do nieuchronnego podnoszenia temperatury otoczenia (zanieczyszczenie termiczne). Wydobycie paliw kopalnych wiąże się z dewastacją terenu, której przykładami są „księżycowe krajobrazy” powstałe w wyniku działalności kopalni odkrywkowych czy zapadliska wyrobisk w kopalniach głębinowych. Transport paliw na duże odległości, na przykład przesyłanie ropy naftowej, wiąże się ze znaczącym ryzykiem wypadku i rozlania zawartości tankowca na powierzchni morza lub oceanu. Praca przy wydobyciu surowców często stwarza istotne zagrożenie dla zdrowia osób pracujących w kopalniach. Wreszcie złoża paliw kopalnych, a zwłaszcza ropy naftowej, są cennym surowcem, z którego można wytworzyć wiele użytecznych produktów (np. leki, polimery, detergenty, środki ochrony roślin). Jeżeli więc chcemy oszczędzać zasoby paliw kopalnych i ograniczyć negatywne skutki ich wykorzystania, powinniśmy konsekwentnie rozszerzać udział alternatywnych technologii wytwarzania energii, bardziej przyjaznych dla środowiska i zużywających mniej nieodnawialnych zasobów (rys. 4.1.). Do takich technologii należą między innymi wykorzystanie energii płynących

wód, wiatru, promieni słonecznych czy też z energii wyzwanej w reakcji rozszczepienia jądrowego (tzw. energia atomowa).



Rys. 4.1. Elektrownie wykorzystujące odnawialne źródła energii: a) elektrownia wiatrowa, b) elektrownia wodna, c) farma fotowoltaiczna, d) elektrownia atomowa.

4.2. Zielona chemia

Istnienie i dalszy rozwój współczesnej cywilizacji nie byłyby możliwe bez przemysłu chemicznego i pokrewnych branż wykorzystujących procesy chemiczne, takich jak: energetyka, hutnictwo czy wytwarzanie materiałów budowlanych. Dzięki chemii dysponujemy szeroką gamą materiałów konstrukcyjnych, uzyskujemy energię cieplną i elektryczną, zwalczamy choroby za pomocą syntetycznych leków, utrzymujemy czystość, pielęgnujemy nasze ciała, wytwarzamy włókna i tkaniny, barwimy produkty na różnorodne kolory, uzdatniamy wodę, oczyszczamy ścieki, a także dysponujemy materiałami o niespotykanych wcześniej właściwościach wykorzystywanymi w elektronice. Z drugiej strony, działalność chemiczna nierozwalnie wiąże się z powstawaniem niepożądanych produktów, nierzadko toksycznych lub wyrządzających szkody w środowisku naturalnym. Współcześnie nie możemy zrezygnować z produkcji chemicznej, gdyż jest ona dla nas źródłem zbyt ważnych wyrobów. Nie możemy jednak pozwolić, aby ta działalność doprowadziła do nieodwracalnych zmian w środowisku i spowodowała szybkie wyczerpanie surowców naturalnych, które powinny być zachowane dla przyszłych pokoleń. Próbą pogodzenia tych dwóch ewidentnych sprzeczności jest opracowanie zasad tak zwanej **zielonej chemii**, które przenoszą ogólniejsze zasady zrównoważonego rozwoju na bardziej specyficzny grunt działalności wykorzystującej procesy chemiczne.

Dwanaście zasad zielonej chemii, opracowanych w połowie lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia, jest ukierunkowanych przede wszystkim na wyeliminowanie bądź ograniczenie używania oraz wytwarzania substancji potencjalnie szkodliwych dla zdrowia i środowiska naturalnego. Zostały one przedstawione w skrócie w tabeli 4.1.

dwanaście zasad
zielonej chemii

Tab. 4.1. Dwanaście zasad zielonej chemii

1.	Zapobieganie	Lepiej zapobiegać wytwarzaniu odpadów niż je utylizować po ich utworzeniu.
2.	Ekonomika atomowa	Tak projektować metody syntetyczne, aby w produkcie końcowym znajdowała się możliwie jak największa część atomów zawartych w materiałach wyjściowych (surowcach).
3.	Bezpieczniejsze procesy chemiczne	Stosować procesy syntezy chemicznej, które wykorzystują możliwie jak najmniej substancji szkodliwych dla zdrowia i środowiska.
4.	Bezpieczniejsze substancje chemiczne	Przeprojektować związki chemiczne w taki sposób, aby były mniej szkodliwe przy jednoczesnym zachowaniu ich użyteczności.
5.	Bezpieczniejsze rozpuszczalniki i substancje pomocnicze	Wyeliminować rozpuszczalniki i substancje pomocnicze (np. adsorbenty) tam, gdzie jest to możliwe, lub zastąpić je mniej szkodliwymi zamiennikami.
6.	Zoptymalizować wykorzystanie energii	Ograniczać zużycie energii potrzebnej do przeprowadzenia procesu chemicznego. Dążyć do procedur syntetycznych zachodzących w temperaturze pokojowej i pod ciśnieniem atmosferycznym.
7.	Wykorzystywać odnawialne źródła surowców	Tam, gdzie to możliwe, wykorzystywać źródła surowców odnawialnych, zamiast nieodnawialnych.
8.	Unikać pochodnych	Wyeliminować zbędne produkty pośrednie z procesów syntezy chemicznej.
9.	Stosować katalizatory	Reakcje katalityczne są selektywne, przebiegają z wysoką wydajnością i pozwalają prowadzić proces w łagodniejszych warunkach.
10.	Projektować produkty szybko ulegające biodegradacji	Wytwarzać produkty, które po wprowadzeniu do środowiska będą szybko ulegały biodegradacji do nieszkodliwych substancji.
11.	Monitorować procesy chemiczne	Stale kontrolować przebiegający proces chemiczny. Zmniejsza to ryzyko awarii i sprzyja prawidłowemu przebiegowi procesu.
12.	Ograniczać skutki ewentualnej awarii/ ewentualnego wypadku	Wykorzystywać takie substancje chemiczne, dla których prawdopodobieństwo i skutki ewentualnego wypadku (wycieku, pożaru, wybuchu itp.) byłyby możliwie jak najmniejsze.

Głównym celem stosowania zasad 1, 2 i 8 jest ograniczenie do minimum powstawania odpadów w procesie chemicznym – niepożądanych produktów ubocznych, zużytych rozpuszczalników i substancji pomocniczych (np. adsorbentów, środków koagulujących) czy związków powstałych wskutek usuwania grup osłonowych w pochodnych. Zasada 2 odnosi się do tak zwanej ekonomiki atomów, którą dla reakcji określonej równaniem:



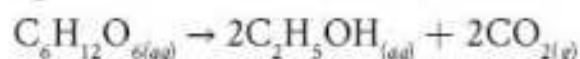
definiujemy jako:

$$\text{ekonomika atomów} = \frac{\text{masa produktu właściwego}}{\text{łączna masa substratów}} \cdot 100\%$$

Chodzi o to, aby możliwie jak najwięcej atomów wchodzących w skład substratów znalazło się w produkcie właściwym, czyli żeby jak najmniej weszło w skład niepożądanych produktów ubocznych. W ten sposób wykorzystanie surowców staje się najbardziej racjonalne.

Przykład 1.

Etanol C_2H_5OH można otrzymać z glukozy $C_6H_{12}O_6$ metodą fermentacyjną, zgodnie z równaniem:



lub na drodze syntezy chemicznej w wyniku katalitycznego przyłączenia wody do etenu C_2H_4 zachodzącego w fazie gazowej:



Która z tych metod charakteryzuje się wyższą ekonomiką atomów?

Rozwiązanie:

Dla pierwszej metody mamy:

$$\text{ekonomika atomów} = \frac{2 \cdot (2 \cdot 12u + 6 \cdot 1u + 1 \cdot 16u)}{6 \cdot 12u + 12 \cdot 1u + 6 \cdot 16u} \cdot 100\% = \frac{92u}{180u} \cdot 100\% = 51\%$$

a dla drugiej:

$$\begin{aligned} \text{ekonomika atomów} &= \frac{2 \cdot 12u + 6 \cdot 1u + 1 \cdot 16u}{(2 \cdot 12u + 4 \cdot 1u) + (2 \cdot 1u + 1 \cdot 16u)} \cdot 100\% = \\ &= \frac{46u}{46u} \cdot 100\% = 100\% \end{aligned}$$

Zatem druga metoda charakteryzuje się wyższą ekonomiką atomów – wszystkie atomy zawarte w substratach znajdują się po reakcji w cząsteczkach produktu.

Treść zasad 3, 4 i 5 dotyczy przede wszystkim eliminacji z użytku substancji niebezpiecznych i szkodliwych oraz zastąpienia ich substancjami o równie wysokich cechach użytkowych, lecz bardziej przyjaznymi dla zdrowia i środowiska. Jest to proces niełatwy, wymagający długotrwałych badań i często przynoszący niezadawalające rezultaty. Przykładem może być próba eliminacji z farb pigmentów zawierających toksyczne związki metali ciężkich. Do końca lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku popularnymi pigmentami stosowanymi w farbach były czerwony tetratlenek triłowiu Pb_3O_4 (tzw. minia) i żółty chromian(VI) ołowiu $PbCrO_4$ (rys. 4.2.). Miały one doskonale właściwości użytkowe: jaskrawe, żywe kolory, wysoką siłę krycia (czyli zdolność do rozpraszania promieni świetlnych, dzięki czemu powłoki malarskie wydawały się nieprzeźroczyste), wysoką odporność na działanie czynników atmosferycznych oraz zdolność do pasywacji powierzchni stalowych przedmiotów pokrytych farbą (właściwości przeciwkorozyjne). Po wprowadzeniu zakazu ich stosowania zastąpiono je syntetycznymi pigmentami organicznymi. Wykazywały one co prawda równie jaskrawą



i żywą kolorystykę, natomiast cechowały się znacznie niższą siłą krycia (były bardziej przeźroczyste), trwałością (szybko traciły kolor pod wpływem tlenu atmosferycznego i promieniowania świetlnego) i nie wykazywały żadnych właściwości przeciwkorozyjnych. W rezultacie współczesne żółte, pomarańczowe i czerwone farby mają gorsze właściwości użytkowe niż dawne, oparte na toksycznych pigmentach. Powłoki malarskie trzeba częściej odnawiać, nanosić farbę grubszą warstwą, aby uzyskać właściwą siłę krycia, wprowadzić do farb nowy czynnik przeciwkorozyjny (jest nim najczęściej fosforan(V) cynku $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$). Są to niedogodności, na które musieliśmy przystać, aby wcielić w życie zasady zielonej chemii.

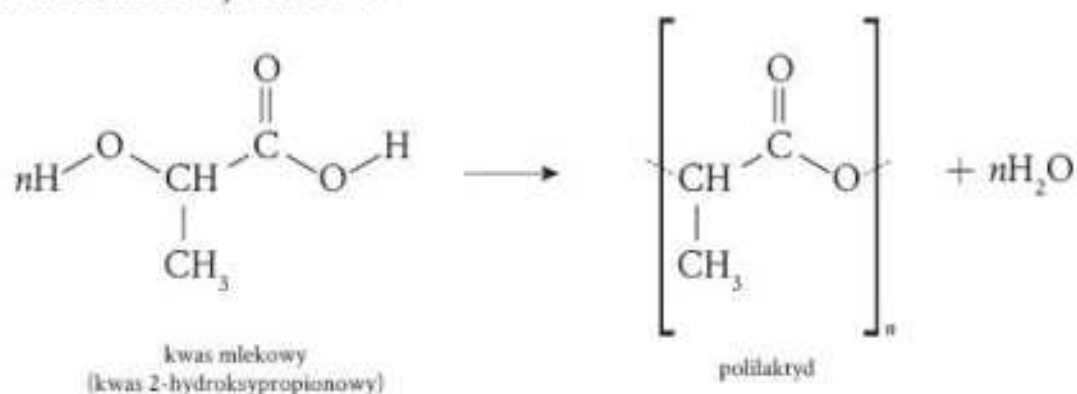


Rys. 4.2. Toksyczne pigmenty zawierające ołów: a) tetratlenek triłowiu Pb_3O_4 (minia); b) chromian(VI) ołowiu PbCrO_4 ; c) Most Golden Gate w San Francisco (USA), otwarty w 1937 r., ze względów przeciwkorozyjnych pomalowano farbami zawierającymi pigmenty ołowiane. W latach 1968–1995 te powłoki usunięto i zastąpiono je farbami niezawierającymi związków ołowiu, zachowano jednak oryginalną barwę mostu.

Zasady 6 i 9 odnoszą się do innego ważnego aspektu prowadzenia procesów chemicznych – mianowicie do obniżenia ich energochłonności. Energia wykorzystywana do ogrzewania lub chłodzenia mieszaniny reakcyjnej, destylacji czy suszenia w większości jest wytwarzana w wyniku spalania paliw kopalnych. Zatem jeśli zaoszczędzimy energię, również zaoszczędzimy nieodnawialne zasoby oraz unikniemy negatywnych skutków jej produkcji dla środowiska. **Katalizatory** są szczególnie efektywnym sposobem podnoszenia szybkości reakcji, umożliwiają ich przeprowadzenie w niższych temperaturach i ciśnieniach, tym samym sprzyjają oszczędzaniu energii.

Zasady zielonej chemii kładą nacisk także na stosowanie **odnawialnych źródeł surowców** zamiast nieodnawialnych (zasada 7), jak również szybką **biodegradowalność** substancji chemicznych wprowadzanych do środowiska (zasada 10). Z tym ostatnim problemem spotkaliśmy się podczas omawiania zagadnienia stosowania środków ochrony roślin w poprzednim rozdziale. Problem biodegradowalności jest szczególnie ważny dla utylizacji opakowań. Przez wiele lat prowadzono badania nad opracowaniem technologii produkcji polimerycznych materiałów na opakowania ulegających szybkiemu rozkładowi mikrobiologicznemu. Wielkie nadzieje wiązano z **polilaktydem** – polimerem

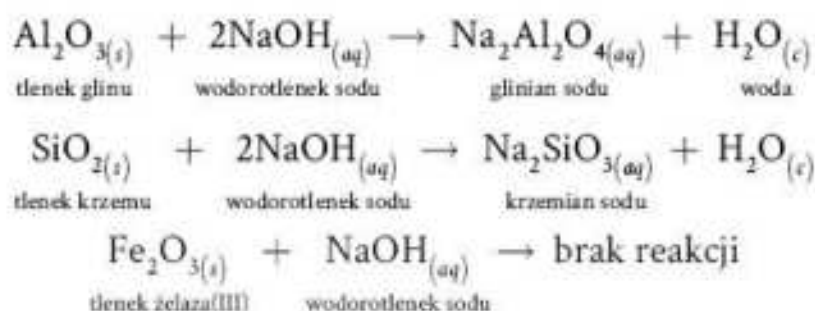
powstającym w wyniku polikondensacji kwasu mlekowego – między innymi produktu fermentacji cukrów.



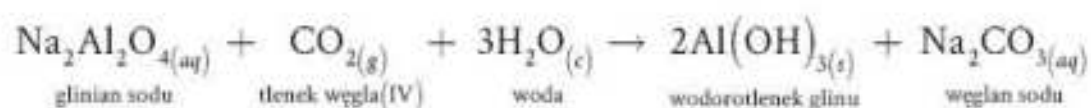
Jego wysoka cena oraz gorsze właściwości użytkowe w porównaniu z polimerami otrzymywanymi z ropy naftowej ograniczają rozpowszechnienie opakowań z tego tworzywa na rynku. Wytwarza się natomiast z niego biodegradowalne implanty medyczne, które po spełnieniu swojej funkcji rozkładają się w organizmie do kwasu mlekowego.

Zasady 11 i 12 odnoszą się do skutków ewentualnego wypadku z udziałem substancji chemicznych. Ciągła kontrola procesów chemicznych obniża ryzyko awarii i pozwala upewnić się, że proces przebiega zgodnie z planem i nie tworzą się niebezpieczne substancje uboczne. Magazynowanie, transport i wykorzystywanie substancji niebezpiecznych zawsze wiążą się z ryzykiem wypadku o bardzo poważnych skutkach.

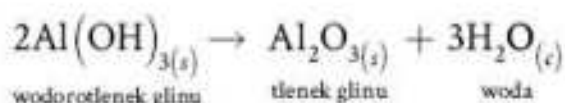
Trzeba sobie zdawać sprawę, że nie zawsze jesteśmy w stanie zastosować zasady zielonej chemii. Istnieją technologie, których wciąż używamy, chociaż w pełni zdajemy sobie sprawę z ryzyka, jakie ze sobą niosą. Uważamy takie postępowanie za uzasadnione, jeżeli wytwarzany produkt jest dla nas bardzo ważny i nie możemy się bez niego obejść. Przykład takiej technologii to wytwarzanie aluminium z boksytu – rudy składającej się z tlenków glinu zanieczyszczonych związkami krzemu i żelaza. Przed właściwym procesem metalurgicznym tlenek glinu oddziela się od zanieczyszczeń. W tym celu sproszkowaną rudę rozтворя w stężonym roztworze wodorotlenku sodu – do roztworu przechodzą związki glinu i krzemu, natomiast związki żelaza pozostają nierozpuszczone, głównie w formie czerwono-brunatnego tlenku żelaza(III) Fe_2O_3 .



Po oddzieleniu gazu przepuszcza się przez niego gazowy tlenek węgla(IV) CO_2 , który powoduje wytrącenie oczyszczonego wodorotlenku glinu $\text{Al}(\text{OH})_3$.



Ten z kolei oddziela się, przemywa i praży, aby otrzymać tlenek Al_2O_3 :



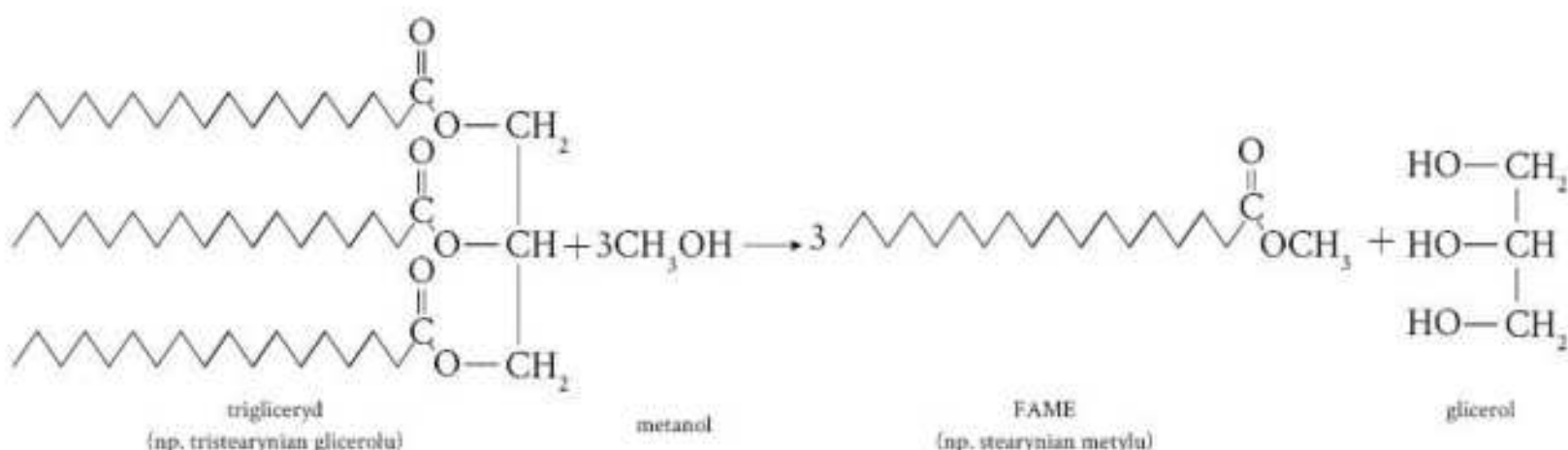
Następnie ten tlenek poddaje się stopieniu i elektrolizie w celu otrzymania czystego metalu. Produktem ubocznym pierwszej fazy oczyszczania jest tak zwany czerwony szlam, czyli gęsta, lepka zawiesina wodorotlenku żelaza(III) w stężonym roztworze wodorotlenku sodu. Dla tego odpadu nie opracowano skutecznej metody utylizacji, zatem magazynuje się go w ogromnych, otwartych zbiornikach. Takie zbiorniki powstają przy niemal każdej wytwórni aluminium i stanowią poważne zagrożenie dla środowiska w razie wypadku. W 2010 r. w miejscowości Kolontar na Węgrzech doszło do przerwania wału w takim zbiorniku i wylania na zewnątrz około miliona metrów sześciennych czerwonego szlamu. Zanieczyszczenie spłynęło w kierunku pobliskiego miasteczka i spowodowało katastrofę ekologiczną (rys. 4.3.). W wyniku wypadku śmierć poniosło 10 osób, zginęło też wiele zwierząt, a także została zniszczona roślinność.



Rys. 4.3. Katastrofa w Kolontarze w 2010 r.: a) wyrwa w wale zbiornika czerwonego szlamu; b) obszar skażony przez wyciek.

Zielona chemia odnosi jednak wiele ważnych sukcesów, głównie w dziedzinie opracowania nowych technologii o wyższej ekonomice atomowej niż dotychczas stosowane, eliminujących substancje szkodliwe i niebezpieczne czy też rozwiązujących problem uciążliwych odpadów. Jedną z nich jest technologia wytwarzania **biodiesla** – paliwa alternatywnego do oleju napędowego (tzw. diesla), otrzymywanego z ropy naftowej. Surowcem do produkcji biodiesla są oleje roślinne, zatem zastąpienie tradycyjnego oleju napędowego biodieslem oznacza przejście z surowców nieodnawialnych (ropy naftowej) na surowce odnawialne (produkty roślinne), zgodnie z postulatem zawartym w zasadzie 7 zielonej chemii. Biodiesel otrzymuje się w wyniku transestryfikacji metanolem triglicerydów, z któ-

rych składają się oleje roślinne. Produktem reakcji są estry metylowe wyższych kwasów tłuszczowych (ang. *Fatty Acid Methyl Esters*, FAME) oraz gliceryna.



Estry FAME mają właściwości fizykochemiczne bardzo zbliżone do właściwości węglowodorów wchodzących w skład oleju napędowego. Charakteryzują się również podobną wartością energetyczną (FAME 37 kJ/g, olej napędowy 43 kJ/g). Biodiesel można stosować jako samodzielne paliwo do silników wysokoprężnych lub (częściej) jako domieszkę do tradycyjnego oleju napędowego. Z punktu widzenia ochrony środowiska biodiesel wyróżnia się dodatkowymi zaletami:

1. Mimo że produktem spalania jest tlenek węgla(IV), stosowanie biodiesla nie zwiększa stężenia tego gazu w atmosferze, gdyż węgiel zawarty w paliwie pochodzi z CO₂ pobranego wcześniej przez rośliny w procesie fotosyntezy. Zatem spalanie biodiesla nie przyczynia się do pogłębiania efektu cieplarnianego.
2. Biodiesel praktycznie nie zawiera związków siarki, zatem jego spalanie nie powoduje emisji tlenku siarki(IV) SO₂ i nie przyczynia się do powstawania zjawiska kwaśnych deszczów.

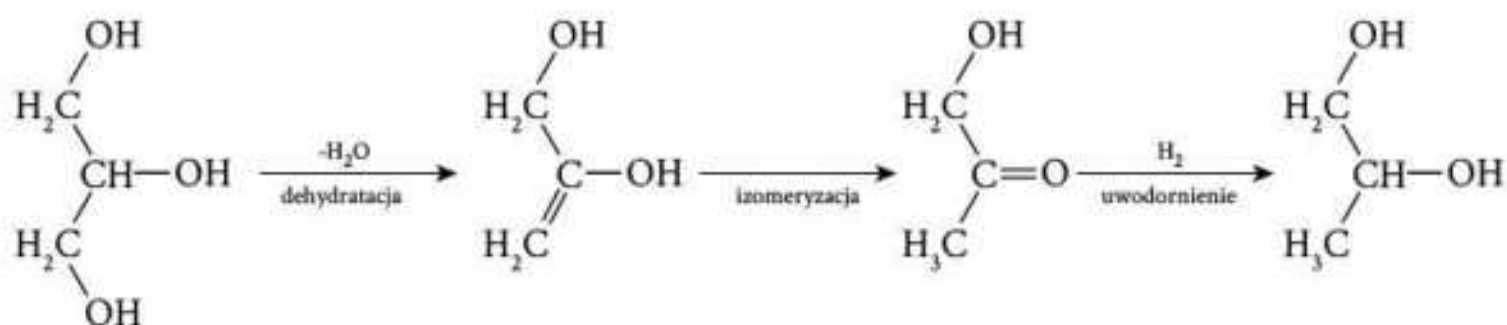
Z drugiej strony jednak, z wytwarzaniem i stosowaniem biodiesla wiążą się pewne problemy. Najważniejsze to:

1. Do prawidłowego przebiegu reakcji jest wymagana obecność zasad (np. wodorotlenku sodu), które trzeba później utylizować. Obecność zasad prowadzi również do powstawania niepożądanego produktu ubocznego w postaci mydeł (soli sodowych kwasów tłuszczowych).
2. Metanol stosowany w syntezie pochodzi ze źródeł nieodnawialnych. Surowcem do jego wytwarzania jest węgiel kamienny.
3. W wyniku syntezy powstają znaczne ilości zawodnionej, zanieczyszczonej gliceryny, która stanowi uciążliwy odpad.
4. Niektóre właściwości biodiesla różnią się nieco od właściwości oleju napędowego, na przykład lepkość czy skłonność do zestalania się w niskich temperaturach. Stwarza to ryzyko uszkodzenia tradycyjnych silników wysokoprężnych i wymaga wprowadzenia pewnych zmian konstrukcyjnych.

5. Przeznaczenie arealów ziemi pod uprawę roślin oleistych, z których wytwarza się paliwo, wydaje się nieetyczne w sytuacji głodu wciąż występującego w różnych rejonach świata.

Intensywne badania naukowe doprowadziły do częściowego rozwiązania tych problemów. Zaproponowano alternatywne technologie wytwarzania FAME bez użycia zasad, na przykład: synteza w nadkrytycznym metanolu, synteza w reaktorze ultradźwiękowym czy też metoda biotechnologiczna z zastosowaniem enzymu lipazy.

Rozwiązano też problem odpadowej gliceryny, którą za pomocą specjalnego katalizatora można przekształcać w nietoksyczny propan-1,2-diol (glikol propylenowy).



Ten ostatni można z powodzeniem wykorzystać w różnego rodzaju płynach niezamarzających (np. płynie do chłodziw samochodowych), zamiast stosowanego dotychczas silnie trującego etanodiolu $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$, wytwarzanego z ropy naftowej.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

- Wyjaśnij, na czym polega zasada zrównoważonego rozwoju.
- Opisz negatywne skutki wytwarzania energii w wyniku spalania paliw kopalnych.
- Wyszukaj w dostępnych źródłach informacje dotyczące bardziej „zielonych” sposobów wytwarzania energii niż spalanie paliw kopalnych. Weź pod uwagę na przykład: wykorzystanie energii płynących wód, wiatru, energii promieniowania słonecznego czy też energii atomowej. Wskaż pozytywne i ewentualne negatywne skutki stosowania jednego, wybranego sposobu. Rozważ, czy może istnieć taki sposób wytwarzania energii, który przynosiłby wyłącznie korzyści.
- Wskaż numery zasad zielonej chemii, które zrealizowano w wyniku następujących zmian technologicznych:
 - zastąpienie farb olejnych zawierających rozpuszczalniki organiczne farbami wodorozcieńczalnymi,
 - zastąpienie klasycznej, pięcioetapowej syntezy ibuprofenu (leku z grupy niesteroidowych leków przeciwzapalnych) syntezą trójetapową,

- c) opracowanie technologii wytwarzania opakowań z modyfikowanej skrobi, szybko ulegającej rozkładowi mikrobiologicznemu,
- d) wyposażenie składowiska odpadów w instalację spalania biogazu (metanu), która wykorzystuje wytworzoną energię do podgrzewania wody (wskazówka: metan wywołuje ok. dziesięciokrotnie silniejszy efekt cieplarniany niż tlenek węgla(IV)).
5. Oblicz ekonomikę atomów dla procesów związanych z produkcją biodiesla:
- a) otrzymywanie FAME w wyniku transestryfikacji tristéarynianu glicerolu metanolem,
- b) przekształcenie gliceryny w propan-1,2-diol.
6. W Amazonii (Ameryka Południowa) wciąż praktykuje się nielegalny sposób wydobywania złota przez działanie ciekłą rtęcią na rozdrobnioną glebę zawierającą drobne ziarenka tego kruszcu i następnie przez odparowanie uzyskanego amalgamatu (roztworu złota w rtęci) za pomocą palnika acetylenowo-tlenowego w otwartych, metalowych naczyniach (rtęć wrze w 357°C). Wskaż, które zasady zielonej chemii są łamane w ten sposób.

PODSUMOWANIE LEKCJI

- Zasada zrównoważonego rozwoju zakłada taki sposób korzystania z zasobów naturalnych naszej planety, który nie prowadzi do nieodwracalnego ich wyczerpania i degradacji środowiska naturalnego. s. 161
- Dwanaście zasad zielonej chemii określa sposoby postępowania prowadzące do zmniejszenia negatywnych skutków prowadzenia działalności gospodarczej wykorzystującej procesy chemiczne. s. 163
- Wprowadzanie w życie zasad zielonej chemii nie jest łatwe, wymaga długotrwałych i kosztownych badań i nie zawsze kończy się sukcesem. Czasem wynikiem takich badań jest kompromis między pogorszeniem właściwości użytkowej wyrobu a zmniejszeniem jego negatywnego wpływu na środowisko. Niektóre szkodliwe technologie musimy zaakceptować, gdyż brakuje innych, mniej inwazyjnych rozwiązań. s. 167

Podsumowanie przed sprawdzianem

- s. 132 • Działalność gospodarcza prowadzi do wielu zjawisk niekorzystnych dla atmosfery ziemskiej: efektu cieplarnianego wywołanego nadmierną emisją tlenu węgla(IV) CO_2 i innych gazów cieplarnianych, zapylenia, kwaśnych deszczów powstających głównie w wyniku emisji tlenków siarki i azotu, smogu oraz niszczenia ochronnej warstwy ozonu przez freony. Główną przyczyną zanieczyszczenia atmosfery są emisje przemysłowe, a zwłaszcza substancje powstające wskutek wytwarzania energii w wyniku spalania paliw kopalnych.
- s. 144 • Zanieczyszczenie wód substancjami organicznymi pochodzenia biologicznego skutkuje drastycznym spadkiem zawartości tlenu w wodzie i stanowi zagrożenie dla życia organizmów wodnych. Te zanieczyszczenia są usuwane w procesie oczyszczania mikrobiologicznego w oczyszczalniach ścieków. Innym zagrożeniem dla wód są nawozy sztuczne splukiwane z pól uprawnych, przyczyniające się między innymi do zjawiska eutrofizacji.
- s. 152 • Gleba stanowi uniwersalne podłoże wzrostu roślin. Właściwości gleby, takie jak jej zdolność do retencji wody, do sorpcji składników odżywczych, jak również jej kwasowość, mają istotne znaczenie w wykorzystaniu gleby do uprawy roślin. Rolnictwo stosuje duże ilości syntetycznych nawozów sztucznych oraz środki ochrony roślin, które w przypadku nieracjonalnego użycia mogą wywierać negatywny wpływ na środowisko naturalne.
- s. 161 • Zasada zrównoważonego rozwoju określa sposób wykorzystywania zasobów naturalnych Ziemi, który nie prowadzi do ich nieodwracalnego wyczerpania i degradacji środowiska naturalnego. W zakresie działalności człowieka opartej na prowadzeniu procesów chemicznych ta zasada jest reprezentowana przez dwanaście zasad zielonej chemii.

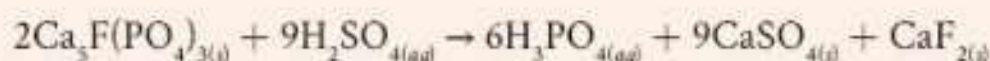
Ważne!

Po zapoznaniu się z tym działem zdobędziesz następujące umiejętności:

- opisywanie najważniejszych zjawisk spowodowanych działalnością człowieka, które prowadzą do degradacji atmosfery, wód oraz środowiska lądowego, wskazywanie ich przyczyn oraz proponowanie środków zaradczych zmierzających do zmniejszenia zakresu lub całkowitej likwidacji tych zjawisk;
- wskazywanie pozytywnych skutków działalności człowieka opartej na prowadzeniu procesów chemicznych oraz najważniejszych negatywnych skutków tejże działalności, wraz z propozycjami kompleksowego rozwiązania najważniejszych problemów;
- przedstawianie związków między strukturą i właściwościami gleby a jej przydatnością do prowadzenia działalności rolniczej;
- uzasadnianie konieczności stosowania nawozów sztucznych i środków ochrony roślin w rolnictwie, proponowanie sposobów ograniczenia ich negatywnego wpływu na środowisko;
- wyjaśnianie znaczenia zasady zrównoważonego rozwoju oraz zasad zielonej chemii dla racjonalnego korzystania z zasobów naturalnych naszej planety.

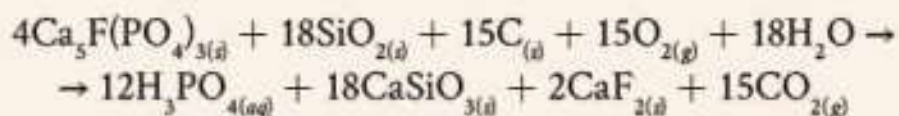
Sprawdź, czy umiesz!

1. Sprawność elektrowni węglowej, która spala węgiel kamienny o zawartości 80% czystego pierwiastka, wynosi 45% (tzn. 45% energii cieplnej wytworzonej w reakcji zostaje przekształcone w energię elektryczną). Średnie roczne zużycie energii elektrycznej przez gospodarstwo domowe wynosi 1600 kWh ($1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$). Oblicz:
 - a) ile kilogramów węgla musi spalić elektrownia, aby zapewnić to zapotrzebowanie, jeżeli spalenie 1 mola pierwiastka węgla dostarcza 394 kJ energii;
 - b) masę tlenku węgla(IV) CO_2 , jaka zostanie wyemitowana do atmosfery z powodu tej operacji;
 - c) ile kilogramów biomasy w postaci cukrów (przyjmij, że jest to glukoza) powstanie, jeżeli cały CO_2 zostanie pochłonięty przez rośliny zielone w procesie fotosyntezy.
2. Zawartość siarki w węglu kamiennym spalany przez elektrownię opisaną w zadaniu 1. wynosi 1,5%. Oblicz, ile kilogramów kwasu siarkowego(VI) może powstać w atmosferze wskutek emisji spalin związanych z wytworzeniem 1600 kWh energii.
3. Uszereguj następujące typy wód naturalnych w kolejności wzrastającego pH. Zastosuj znaki „<” i „>” lub „=”, jeżeli wartości pH typów wód są porównywalne.
 - a) zimna woda płynąca spokojnie dnem piaszczystego strumienia
 - b) zimna woda płynąca kaskadami skalistym dnem wapiennego wąwozu
 - c) nagrzana słońcem woda stawu o piaszczystym dnie
 - d) deszcz padający nad miastem w rejonie Górnego Śląska
 - e) deszcz padający nad Puszcą BiałowieskąWskaż, która z wód wymienionych w punktach a, b i c będzie najbogatsza w tlen.
4. Odważono próbkę 1 kg suchej gleby. Przesypano ją do cylindra miarowego, aby zmierzyć jej objętość nasypową, która wyniosła 610 cm^3 . Następnie glebę zwilżono w taki sposób, że puste przestrzenie między ziarnami gleby zostały całkowicie wypełnione wodą. Masa mokrej ziemi wyniosła 1,23 kg. Oblicz, jaki procent objętości suchej gleby zajmowało powietrze.
5. Czas połowicznego rozpadu w środowisku pestycydu o nazwie endosulfan wynosi 7 dni. Oblicz, po jakim czasie (wyrażonym w tygodniach) 93,75% endosulfanu wprowadzonego do środowiska ulegnie rozkładowi.
6. Kwas fosforowy(V) H_3PO_4 otrzymywano do niedawna w wyniku działania kwasem siarkowym(VI) H_2SO_4 na fluoroapatyty $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ wydobywane z ziemi. W tej technologii powstawał jako produkt uboczny fosfogips, czyli silnie zakwaszona mieszanina siarczanu wapnia CaSO_4 i fluorku wapnia CaF_2 . Fosfogips składowano jako odpad, co stanowiło zagrożenie dla zdrowia, gdyż w środowisku kwasowym z fluorku wapnia powstawał gazowy, toksyczny fluorowodór H_2F_2 .



Tę technologię zastąpiono nowszą, w której fluoroapatyty prażono z węglem C (koksem) i tlenkiem krzemu SiO_2 (piaskiem), a uzyskany w ten sposób elementarny fosfor P_4 spalano w powietrzu do tlenku P_4O_{10} , który następnie rozpuszczano w wodzie z utworzeniem kwasu fosforowego(V) H_3PO_4 . W tej reakcji również powstają produkty uboczne: krzemian wapnia

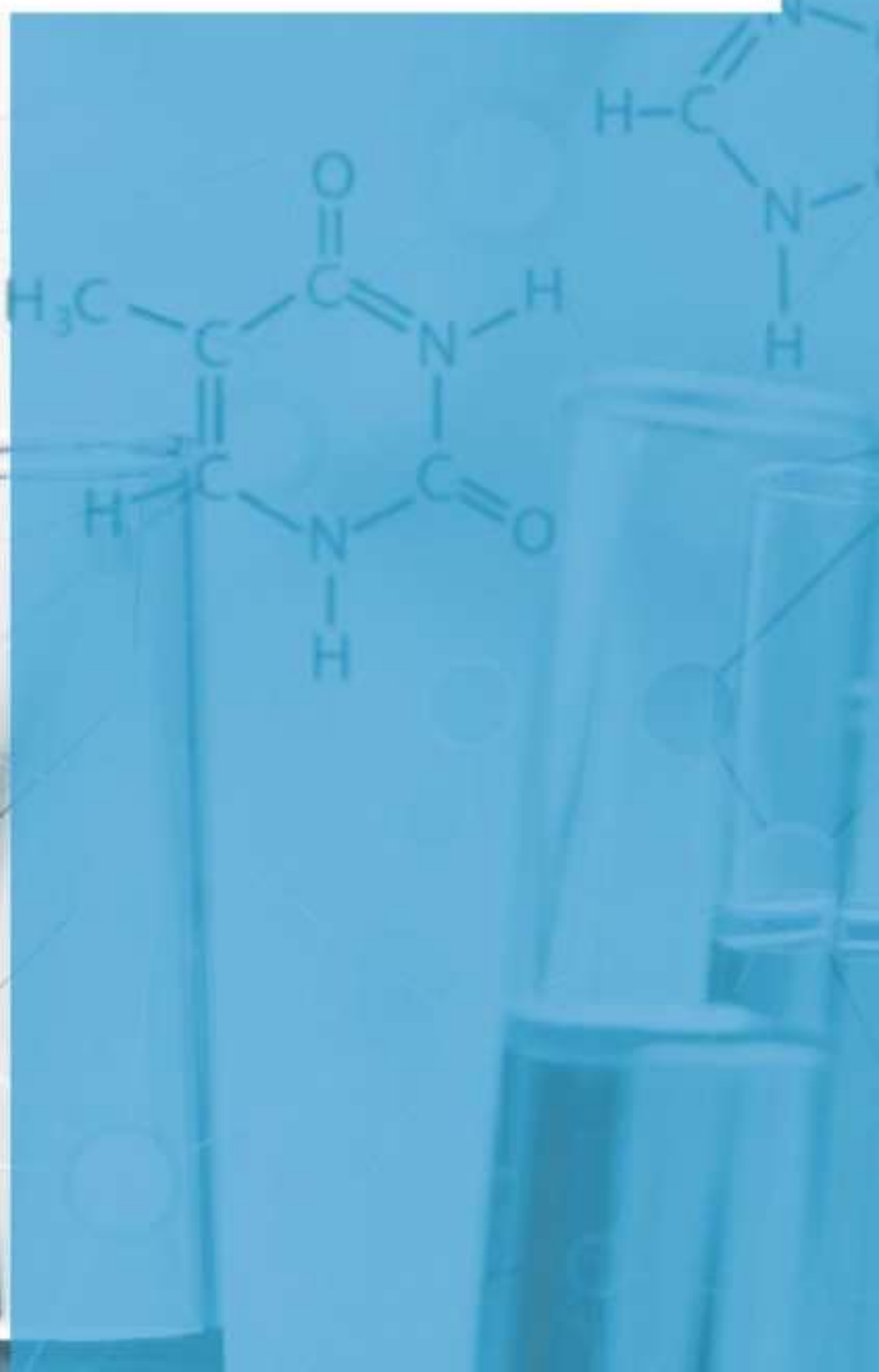
CaSiO_4 , fluorek wapnia CaF_2 i tlenek węgla(IV) CO_2 . Krzemian wapnia nie jest szkodliwy dla środowiska (stanowi pospolity składnik gleby i skał), a fluorek wapnia CaF_2 nie rozkłada się do fluorowodoru, gdyż odpady mają odczyn obojętny. Sumarycznie nową technologię otrzymywania kwasu fosforowego(V) można przedstawić w następujący sposób:



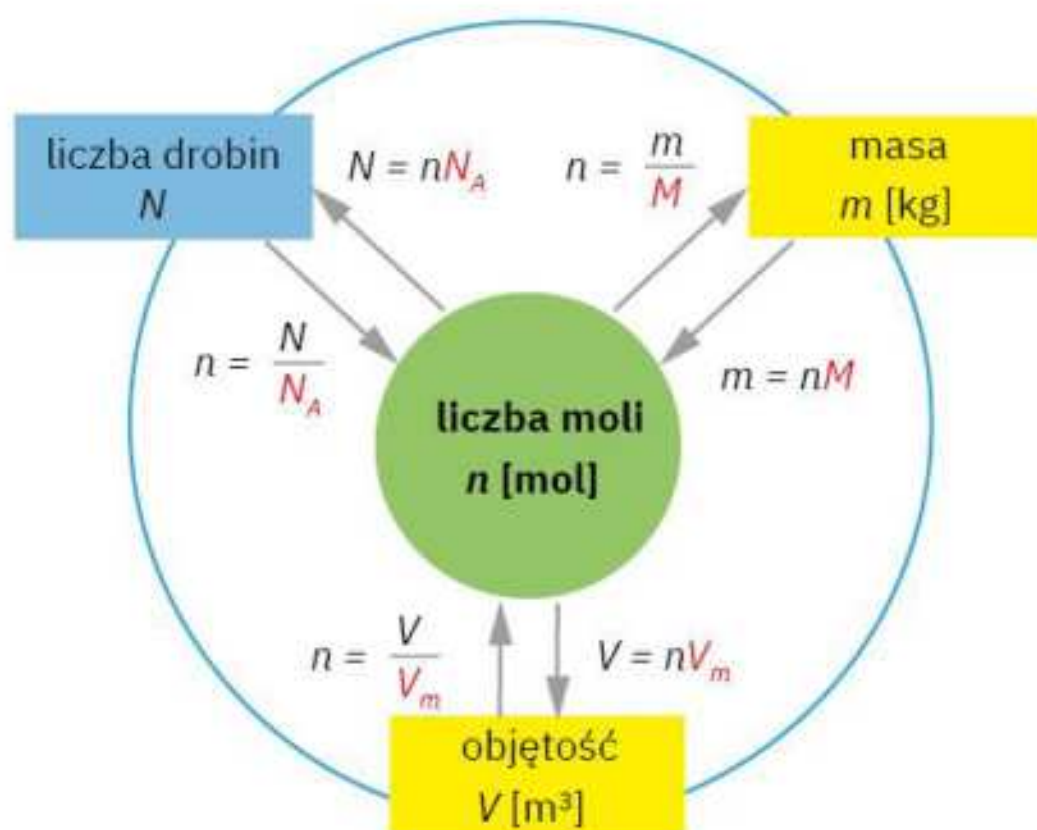
Przeanalizuj oba równania reakcji, a następnie:

- oblicz ekonomikę atomów dla obu technologii;
- wskaż zalety stosowania nowej technologii;
- wskaż ewentualne wady nowej technologii w kontekście 12 zasad zielonej chemii.

V Repetytorium



Atomy, cząsteczki i stechiometria chemiczna



- Pojęcie **mol** pełni funkcję pomostu między mikro- i makroskopowym opisem materii. Do opisu mikroskopowego należy liczba drobin substancji, a do makroskopowego – masa i objętość, czyli wielkości bezpośrednio mierzone w doświadczeniu. Analizowanie przemian chemicznych z uwzględnieniem obu opisów jest możliwe dzięki trzem kluczowym wielkościom: stałej Avogadra, masie molowej i objętości molowej. Pojęcie mol (kolor zielony na rysunku powyżej) stanowi niejako pomost między mikro- (kolor niebieski) i makroskopowym (kolor żółty) opisem materii.

Trzy wielkości kluczowe są zaznaczone na czerwono: stała Avogadra (N_A), masa molowa (M) i objętość molowa (V_m). Substancje reagują ze sobą w ściśle określonych stosunkach ilościowych zgodnie ze współczynnikami stechiometrycznymi znajdującymi się w równaniu reakcji.

- Masa atomowa** – masa pojedynczego atomu pierwiastka wyrażona w atomowych jednostkach masy [u].

$$1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

- Masa molowa** – masa 1 mola drobin substancji chemicznej $\left[\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right]$.

$$M = N_A \cdot m$$

N_A – liczba Avogadra ($6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$), m – masa substancji

- Objętość molowa gazu** w warunkach normalnych wynosi $22,4 \left[\frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} \right]$.

Opis atomu

liczba masowa = liczba nukleonów =
= liczba protonów + liczba neutronów



liczba atomowa = liczba protonów w jądrze atomu =
= liczba elektronów poruszających się w przestrzeni wokół jądra w obojętnym atomie

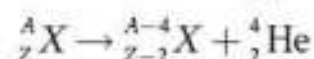
Średnia masa atomowa

$$\begin{matrix} \text{średnia} \\ \text{masa} \\ \text{atomowa} \\ \text{pierwiastka} \end{matrix} = \frac{\text{masa izotopu}_1 \cdot X_1 \% + \text{masa izotopu}_2 \cdot X_2 \% + \dots + \text{masa izotopu}_n \cdot X_n \%}{100 \%}$$

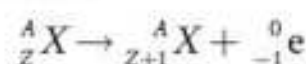
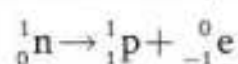
$X\%$ – procentowa zawartość izotopu

Reakcje jądrowe

- Rozpad α – emisja cząstki α (${}^4_2\text{He}$) przez niestabilne jądro:



- Rozpad β^- – neutron emituje elektron i przekształca się w proton:



- $T_{1/2}$ – **czas połowicznego rozpadu** to czas, w którym połowa początkowej liczby jąder się rozpada.

Budowa atomu

Rozwój teorii budowy atomu

- Prace Plancka i de Broglie'a doprowadziły do odkrycia dualnego charakteru fotonu i elektronu, które mogą się zachowywać jednocześnie jak cząstki materii i jak fale.
- **Model atomu Bohra** opisywał rozmieszczenie elektronów wokół jądra w atomie wodoru. Wyjaśniał, dlaczego widmo emisyjne pierwiastków ma postać wąskich prążków światła.
- Na podstawie dualnego charakteru elektronu de Broglie wyjaśnił, dlaczego elektrony mogą zajmować pewne orbity atomowe, a innych nie.
- Zgodnie z **regułą nieoznaczoności Heisenberga** nie można jednocześnie dokładnie określić energii (prędkości, pędu) elektronu oraz jego położenia w przestrzeni.
- Współczesny kwantowo-mechaniczny model atomu opisuje rozmieszczenie elektronów w atomie w kategoriach energii elektronu oraz prawdopodobieństwa znalezienia elektronu w danym obszarze przestrzeni.

Kwantowo-mechaniczny model atomu

- Stan każdego elektronu w atomie jest opisany przez cztery liczby kwantowe: główną n , poboczną l , magnetyczną m_l i magnetyczną spinową m_s .

- **Główna liczba kwantowa** n definiuje powłoki elektronowe. Przyjmuje wartości 1, 2, 3... **Poboczna liczba kwantowa** l definiuje podpowłoki w obrębie powłok elektronowych. Przyjmuje wartości 0, 1, 2 ... $n - 1$, a podpowłoki są oznaczane odpowiednio symbolami $s, p, d, f...$
- Podpowłoki składają się z orbitali. Rodzaj i liczba orbitali każdego typu są definiowane przez **magnetyczną liczbę kwantową** m_l , która przyjmuje wartości $-l, -(l-1), \dots, -1, 0, 1, \dots, l-1, l$. Podpowłoka s składa się z jednego orbitalu s , podpowłoka p – z trzech orbitali p , podpowłoka d – z pięciu orbitali d . Orbitalom przypisuje się charakterystyczne kształty – określają one obszar, na którym prawdopodobieństwo znalezienia elektronu jest wysokie, np. wynosi 90%.
- Ruch obrotowy elektronu wokół własnej osi, tzw. spin, generuje pole magnetyczne, którego kierunek opisuje **magnetyczna spinowa liczba kwantowa** m_s . Może ona przyjmować jedynie dwie wartości $+\frac{1}{2}$ i $-\frac{1}{2}$.

Konfiguracja elektronowa atomów i jonów

- W miarę wzrostu odległości od jądra energia elektronów na kolejnych powłokach, podpowłokach i orbitalach rośnie. Orbitale są zapelniane przez elektrony w kolejności rosnącej energii.
- Rozmieszczenie elektronów na poszczególnych orbitalach atomowych nosi nazwę **konfiguracji elektronowej**. Konfigurację elektronową przedstawiamy w formie symbolicznego zapisu określającego główną liczbę kwantową n powłoki, rodzaj podpowłok (orbitali) zajętych przez elektrony oraz liczbę elektronów na każdej podpowłoce. Konfigurację można przedstawić również w formie schematu klatkowego.
- **Zakaz Pauliego** mówi, że w atomie nie mogą się znaleźć dwa elektrony mające jednakowe wartości wszystkich czterech liczb kwantowych. W konsekwencji jeden orbital atomowy może pomieścić najwyżej dwa elektrony.
- **Reguła Hunda** stwierdza, że atom przyjmuje taką konfigurację elektronową, w której liczba niesparowanych spinów jest możliwie jak największa, gdyż jest ona konfiguracją najtrwalszą.
- Atomy gazów szlachetnych mają wyjątkowo trwałą konfigurację elektronową, w której podpowłoki są całkowicie zapelnione elektronami. Niektóre atomy dążą do uzyskania trwałej konfiguracji gazu szlachetnego przez oddawanie lub przyjmowanie elektronów. W ten sposób powstają jony: kationy o ładunku dodatnim lub aniony o ładunku ujemnym.

Układ okresowy pierwiastków a konfiguracja elektronowa atomu

- Pierwiastki w układzie okresowym są rozmieszczone w poziomych rzędach zwanych okresami i pionowych kolumnach zwanych grupami. Nazwy grup pochodzą od nazwy pierwiastka rozpoczynającego grupę.
- Atomy pierwiastków bloku s mają elektrony walencyjne wyłącznie na zewnętrznej podpowłoce s . Atomy pierwiastków bloku p mają elektrony walencyjne zarówno na podpowłoce s , jak i na podpowłoce p . Do bloku d zaliczamy pierwiastki, których atomy mają zapelniony zewnętrzny orbital s , więc zapelniają stopniowo orbitale d należące do niższej powłoki elektronowej.

- Położenie pierwiastka w układzie okresowym ma ścisły związek z konfiguracją elektronową jego atomu. Numer okresu jest równy liczbie powłok w atomie, na których znajduje się przynajmniej jeden elektron. Numer grupy ma związek z liczbą elektronów walencyjnych: dla pierwiastków bloku *s* jest równy liczbie tych elektronów, dla pierwiastków bloku *p* jest równy liczbie elektronów walencyjnych powiększonej o 10, a dla pierwiastków bloku *d* – łącznej liczbie walencyjnych elektronów *s* oraz elektronów *d* na niższej powłoce.
- Właściwości fizyczne i chemiczne pierwiastków zmieniają się stopniowo w okresach i grupach. Na przykład promień atomowy, charakter metaliczny pierwiastka i zasadowość jego tlenku rosną od prawej strony do lewej w obrębie okresu oraz z góry na dół w obrębie grupy. Natomiast pierwsza energia jonizacji, elektroujemność, charakter niemetaliczny pierwiastka i kwasowość jego tlenku rosną od lewej strony do prawej w obrębie okresu i z dołu do góry w obrębie grupy.

Wiązania chemiczne. Oddziaływania międzycząsteczkowe

Wiązanie jonowe i metaliczne

- Pierwiastki, które różnią się znacznie elektroujemnością, tworzą między sobą **wiązania jonowe**, w których pierwiastek o niższej elektroujemności występuje w postaci kationów, a pierwiastek o wyższej elektroujemności – w postaci anionów. Kationy i aniony przyciągają się wzajemnie siłami elektrostatycznymi.
- Związki jonowe składają się z ogromnej liczby kationów i anionów ułożonych na przemian w regularny sposób, tak aby zapewnić optymalne przyciąganie między jonami o przeciwnych znakach.
- Jony znajdujące się w kryształach związku jonowego nie mają możliwości ruchu, zatem w stanie stałym związki jonowe nie przewodzą prądu elektrycznego. Po stopieniu lub rozpuszczeniu w wodzie kryształ rozpada się na poszczególne jony, które mogą się poruszać i przenosić ładunek elektryczny. Zatem stopione związki jonowe i ich roztwory przewodzą prąd elektryczny.
- W metalach i ich stopach występuje **wiązanie metaliczne**. Polega ono na przyciąganiu elektrostatycznym między kationami metali ułożonymi w regularną sieć krystaliczną a chmurą zdelokalizowanych elektronów poruszających się swobodnie między nimi. Metale są doskonałymi przewodnikami prądu elektrycznego i ciepła.

Wiązanie kowalencyjne

- Atomy mogą osiągać trwałą konfigurację elektronową przez uwspólnianie elektronów. W ten sposób powstaje wiązanie kowalencyjne. Każda wspólna, wiążąca para elektronowa jest równoważna jednemu wiązaniu kowalencyjnemu.

- **Wiązania kowalencyjne** mogą powstawać między atomami tego samego pierwiastka lub różnych pierwiastków. Dwa atomy mogą uwspólniać jedną, dwie lub trzy pary elektronów, co prowadzi do powstania wiązania pojedynczego, podwójnego lub potrójnego.
- Wiązania kowalencyjne łączące atomy pierwiastków różniących się elektroujemnością są **spolaryzowane**, tzn. występuje w nich rozdzielenie ładunku elektrycznego: na atomie o wyższej elektroujemności pojawia się cząstkowy ładunek ujemny, a na atomie o niższej elektroujemności – cząstkowy ładunek dodatni.
- **Wiązanie koordynacyjne** jest odmianą wiązania kowalencyjnego, w którym wiążąca para elektronowa w całości pochodzi od jednego z atomów zwanego donorem. Atom przyjmujący tę parę nazywamy akceptorem.
- Grupę atomów związanych ze sobą wiązaniami kowalencyjnymi i/lub koordynacyjnymi i obdarzoną ładunkiem elektrycznym nazywamy jonem złożonym. Jony złożone, podobnie jak jony proste, wchodzą w skład związków jonowych.

Budowa cząsteczek

- **Teoria VSEPR** pozwala przewidzieć geometrię prostych cząsteczek na podstawie założenia, że wiążące i niewiążące pary elektronowe odpychają się wzajemnie i starają się znaleźć możliwie najdalej od siebie.
- Odpychanie między parami niewiązącymi jest nieco silniejsze niż odpychanie między parą wiążącą a niewiązącą, a to z kolei jest silniejsze od odpychania między dwoma parami wiążącymi.
- **Teoria wiązań walencyjnych** zakłada, że wiązanie kowalencyjne powstaje w wyniku nakładania się na siebie orbitali atomowych, co prowadzi do utworzenia orbitalu molekularnego.
- **Wiązanie typu σ** (sigma) powstaje w wyniku nakładania się dwóch orbitali s , orbitalu p i orbitalu s lub czołowego nakładania się orbitali p . **Wiązanie typu π** (pi) powstaje w wyniku bocznego nakładania orbitali p .

Hybrydyzacja orbitali atomowych

- **Hybrydyzacja** polega na „mieszaniu” się orbitali atomowych, w wyniku którego dochodzi do utworzenia się układu zhybrydyzowanych orbitali. Liczba zhybrydyzowanych orbitali jest równa liczbie orbitali atomowych, które ulegają hybrydyzacji. Zhybrydyzowane orbitale odpychają się wzajemnie i starają się zająć takie położenie w przestrzeni, aby być możliwie jak najdalej od siebie.
- Wyróżniamy trzy rodzaje hybrydyzacji orbitali s i p : sp , sp^2 i sp^3 .
- Zhybrydyzowane orbitale mogą być zajmowane zarówno przez wiążące, jak i niewiążące pary elektronowe.
- Atomy tego samego pierwiastka mogą ulegać hybrydyzacji różnego rodzaju. Tak zachowują się na przykład atomy węgla, które ulegają zarówno hybrydyzacji sp^3 , sp^2 , jak i sp . Rodzaj hybrydyzacji decyduje o krotności wiązania, które atom tworzy z innymi atomami.

Oddziaływania międzycząsteczkowe

- Elektrycznie obojętne cząsteczki przyciągają się wzajemnie na skutek działania **sił van der Waalsa**. Rozróżniamy trzy rodzaje tych sił: oddziaływania dipol-dipol, oddziaływania dipol-dipol indukowany oraz siły dyspersyjne (oddziaływanie dipol indukowany-dipol indukowany).
- **Wiązanie wodorowe** jest szczególnym typem międzycząsteczkowego oddziaływania typu dipol-dipol, który ma również pewne cechy wiązania chemicznego o charakterze akceptorowo-donorowym. W wiązaniu wodorowym biorą udział atomy wodoru związane wiązaniem kowalencyjnym z atomami fluoru, tlenu lub azotu. Wiązanie wodorowe należy do najsilniejszych oddziaływań międzycząsteczkowych.
- Oddziaływania międzycząsteczkowe występują również pomiędzy jonami a obojętnymi elektrycznie cząsteczkami. Mają one charakter oddziaływań jon-dipol lub jon-dipol indukowany.
- **Sila oddziaływań** między atomami i cząsteczkami jest bardzo zróżnicowana. Najsilniejszym oddziaływaniem są wiązania chemiczne. Spośród oddziaływań międzycząsteczkowych najsilniejsze jest wiązanie wodorowe, słabsze to oddziaływanie dipol-dipol, a najslabsze są siły dyspersyjne.
- Temperatura wrzenia i temperatura topnienia wskazują na wielkość oddziaływań między cząsteczkami i atomami. Im te parametry są wyższe, tym silniejsze oddziaływania.

Związki kowalencyjne o strukturze molekularnej

- Związki o strukturze molekularnej składają się z odrębnych, elektrycznie obojętnych cząsteczek, zbudowanych z atomów połączonych ze sobą wiązaniami kowalencyjnymi. Budowę cząsteczki można przedstawić w postaci pełnego (rozszerzonego) lub skróconego wzoru strukturalnego. Wzór sumaryczny określa liczbę atomów każdego rodzaju zawartych w cząsteczce.
- Substancje o strukturze molekularnej na ogół nie przewodzą prądu elektrycznego, chyba że ich cząsteczki są zdolne do dysocjacji w roztworze wodnym.
- Obserwowane właściwości związków o strukturze molekularnej w dużej mierze zależą od rodzaju i siły oddziaływań międzycząsteczkowych. Związki niepolarne i słabo polarne, w których działają wyłącznie słabe siły dyspersyjne między cząsteczkami, charakteryzują się względnie niskimi temperaturami wrzenia i topnienia. Związki polarne, w których występują również silniejsze oddziaływania dipol-dipol, a zwłaszcza wiązania wodorowe, cechują się wyższymi temperaturami topnienia i wrzenia.
- Dla związków o podobnej polarności temperatura wrzenia i temperatura topnienia rosną w miarę wzrostu wielkości cząsteczek. Związki o cząsteczkach rozgałęzionych mają niższe temperatury wrzenia i topnienia niż związki o podobnej masie cząsteczkowej składające się z cząsteczek prostoliniowych.
- Rozpuszczalność związków zależy od polarności zarówno substancji rozpuszczonej, jak i rozpuszczalnika. Jeżeli polarność związku jest podobna do polarności rozpuszczalnika, wówczas związek dobrze się rozpuszcza i roztwór tworzy się z łatwością. W przeciwnym razie, gdy różnica polarności jest znaczna, związek nie rozpuszcza się w rozpuszczalniku.

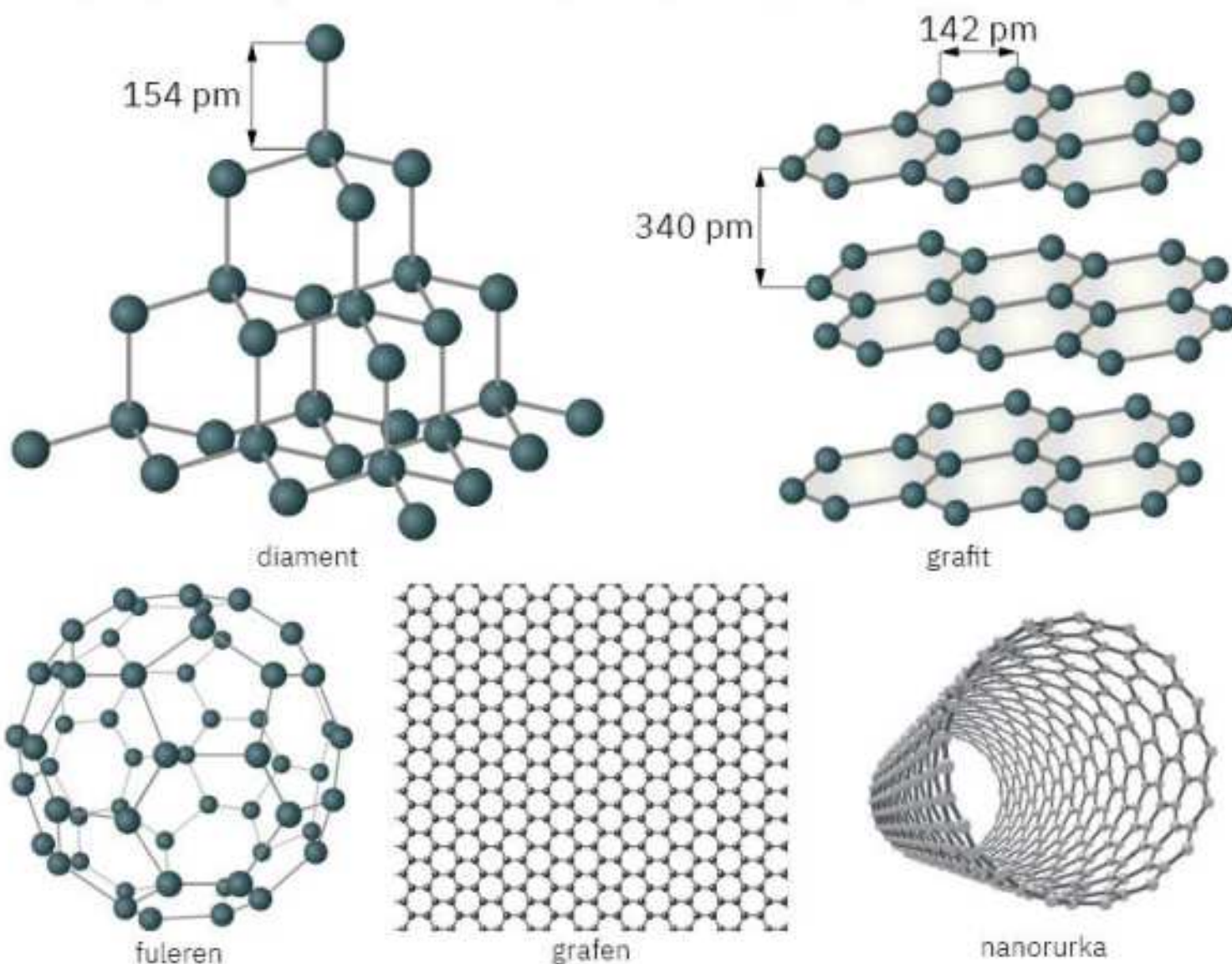
- Często w cząsteczkach związków możemy wyróżnić fragmenty polarne i niepolarne. Rozpuszczalność takich związków w danym rozpuszczalniku zależy od wzajemnej proporcji obu fragmentów.

Kryształy kowalencyjne

- W kryształach kowalencyjnych olbrzymia liczba atomów wiąże się ze sobą wiązaniami kowalencyjnymi.

Związki o takiej strukturze charakteryzują się bardzo wysoką twardością i temperaturą topnienia.

- Węgiel występuje w wielu odmianach alotropowych, z których najbardziej znane to diament, grafit, fulereny, grafen i nanorurki. Odmiany te różnią się w zasadniczy sposób właściwościami fizycznymi, co wynika z ich odmiennej budowy wewnętrznej.



Kinetyka i statyka chemiczna. Energetyka reakcji chemicznych

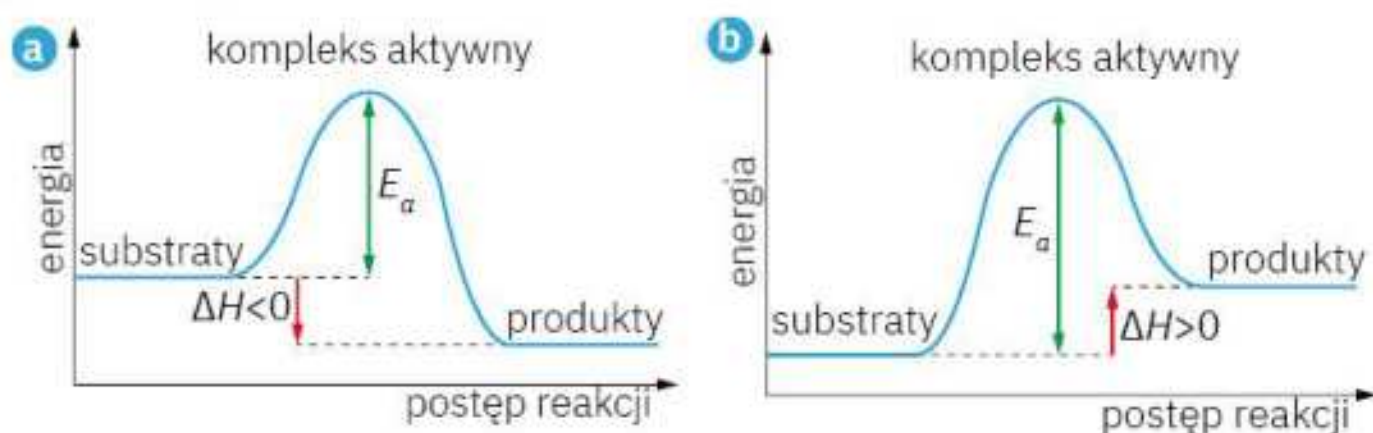
- **Proces egzoenergetyczny** – proces, podczas którego energia jest przekazywana od układu do otoczenia.
- **Proces endoenergetyczny** – proces, podczas którego energia jest przekazywana z otoczenia do układu.

- **Proces egzotermiczny** – proces, podczas którego energia na sposób ciepła przepływa od układu do otoczenia.
- **Proces endotermiczny** – proces, w którym energia na sposób ciepła przepływa z otoczenia do układu.
- **Zmiana entalpii ΔH** jest równa energii wymienionej na sposób ciepła między układem i otoczeniem w warunkach stałego ciśnienia.

$\Delta H < 0$ oznacza reakcję egzotermiczną

$\Delta H > 0$ oznacza reakcję endotermiczną

- Standardowa entalpia reakcji ΔH° jest zmianą entalpii reakcji zachodzącej w warunkach standardowych dla molowych ilości reagentów określonych współczynnikami stechiometrycznymi równania reakcji. Wyraża się ją w kilodżulach na mol $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$.
- **Prawo Hessa** mówi, że standardowa zmiana entalpii procesu nie zależy od drogi, a jedynie od stanu początkowego i końcowego układu.
- **Energia aktywacji** jest minimalną energią, z jaką cząsteczki substratów muszą się zderzyć, aby zaszła reakcja.



Rys. Energetyczny profil: a) reakcji egzotermicznej, b) reakcji endotermicznej.

- **Szybkość reakcji** to szybkość reakcji chemicznej obliczona przez podzielenie zmiany stężenia molowego reagenta (substratu lub produktu) przez przedział czasu, w którym ta zmiana nastąpiła.
 - Wzrost temperatury układu o 10°C powoduje w przybliżeniu dwukrotny wzrost szybkości reakcji.
 - Wzrost stężenia (dla gazów ciśnienia) przynajmniej jednego z substratów powoduje zwiększenie szybkości reakcji.
 - Wzrost powierzchni ciała stałego (rozdrobienie) zwiększa szybkość reakcji.
 - **Katalizatory** przyspieszają szybkość reakcji chemicznych, chociaż same pozostają bez zmian i się nie zużywają w trakcie jej przebiegu. Katalizatory umożliwiają zajście reakcji na nowej drodze. Na tej nowej drodze reakcji energia aktywacji jest niższa niż na drodze pierwotnej.

- **Równanie kinetyczne** to równanie wyrażające szybkość reakcji za pomocą stężeń molowych reagentów.

Jeżeli równanie kinetyczne reakcji chemicznej ma postać:

$$v = k \cdot [A]^a \cdot [B]^b,$$

to reakcję określa się jako rzędu a względem A , rzędu b względem B , a jej sumaryczny rząd jest równy $a + b$.

- Odwracalne reakcje chemiczne wytwarzają **stan równowagi dynamicznej**, w którym szybkości reakcji w prawo i w lewo stają się jednakowe.

Dla odwracalnej reakcji biegnącej według równania:



w stanie równowagi chemicznej stężenia reagentów spełniają zależność:

$$K_c = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

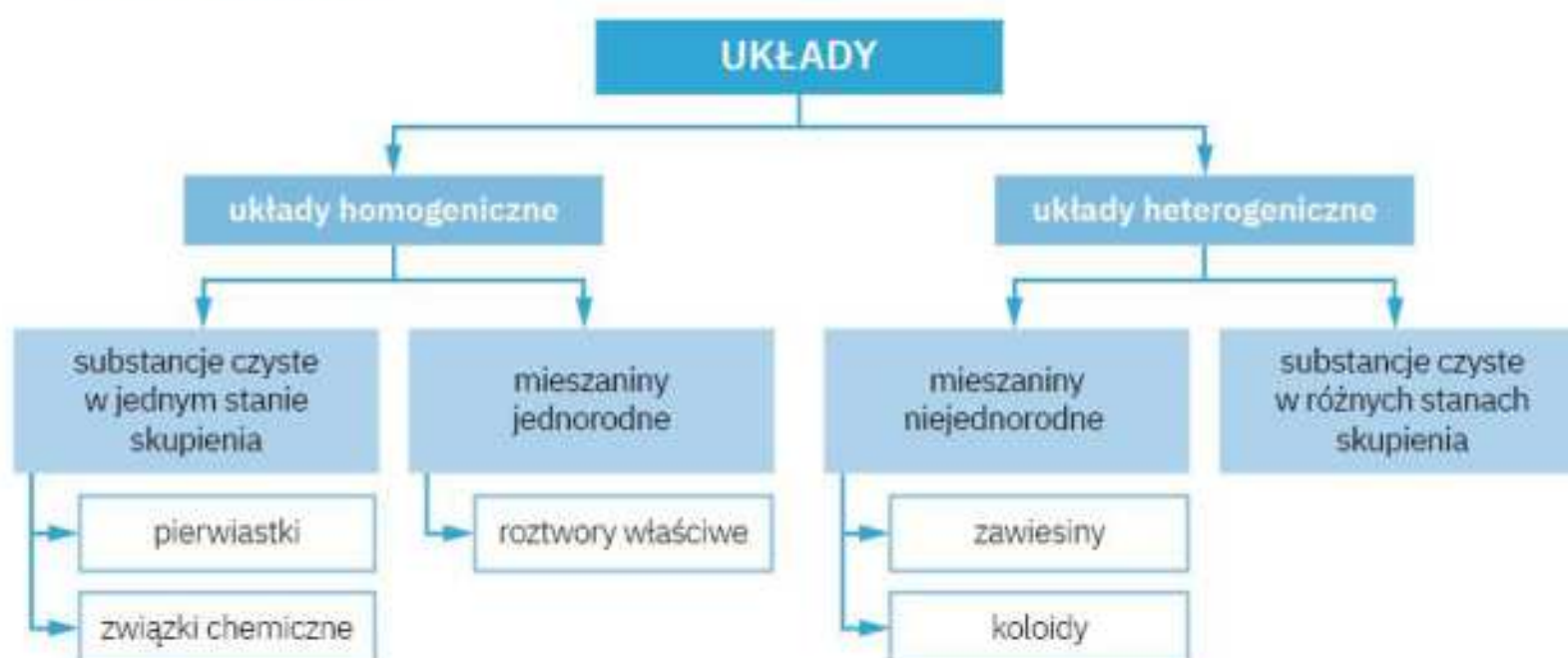
K_c – stała równowagi reakcji zależna tylko od temperatury.

Liczbowa wartość stałej równowagi informuje, jakie są relacje między stężeniami substratów i produktów. Im większa wartość K_c , tym efektywniej tworzą się produkty.

- **Reguła przekory (reguła Le Chateliera i Brauna)** mówi, że jeżeli układ znajdujący się w stanie równowagi dynamicznej zostanie poddany działaniu czynnika zewnętrznego, to w układzie zajdą takie zmiany, których efekt zmniejszy działanie tego czynnika i doprowadzi do osiągnięcia nowego stanu równowagi.

Roztwory wodne

Podział materii



Metody rozdzielania mieszanin

Mieszaniny jednorodne:	Mieszaniny niejednorodne:
• odparowanie rozpuszczalnika • metody strąceniowe • destylacja • ekstrakcja • chromatografia • elektroforeza	• sączenie • dekantacja • wirowanie • krystalizacja

Zawartość substancji w roztworze

Stężenia procentowe (C_p)	Stężenie molowe (C_m)	Rozpuszczalność
$C_p = \frac{m_s}{m_r} \cdot 100\%$ m_s – masa substancji m_r – masa roztworu	$C_m = \frac{n}{V}$ n – liczba moli substancji rozpuszczonej V – objętość roztworu w dm^3	liczba gramów substancji, którą można rozpuścić w 100 g danego rozpuszczalnika w danej temperaturze i pod stałym ciśnieniem

Reakcje w roztworach wodnych

Teoria kwasów i zasad Brønsteda–Lowry’ego

- **Kwas** to indywiduum chemiczne będące donorem (dawcą) protonów.
- **Zasada** to indywiduum chemiczne będące akceptorem (biorcą) protonów.

Stała równowagi reakcji przeniesienia protonu

K_a – stała kwasowości (stała dysocjacji kwasu)	K_b – stała zasadowości (stała dysocjacji zasady)
$\text{HA} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{A}^- + \text{H}_3\text{O}^+$ $K_a = \frac{[\text{A}^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]}$	$\text{Z} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{ZH}^+ + \text{OH}^-$ $K_b = \frac{[\text{ZH}^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{Z}]}$

Stopień dysocjacji

Stopień dysocjacji to stosunek liczby moli substancji zdysocjowanej do liczby moli substancji wprowadzonej do roztworu.

$$\alpha = \frac{C_z}{C_0}, 0 < \alpha < 1$$

Prawo rozcieńczeń Ostwalda

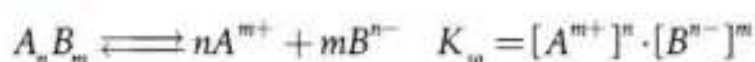
$$K_a = \frac{\alpha^2 \cdot C_0}{1 - \alpha}$$

gdy $\alpha < 0,05$ (5%) lub $\frac{C_0}{K_a} \geq 400$ $K_a = \alpha^2 \cdot C_0$

Odczyn roztworu

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

Iloczyn rozpuszczalności



Reakcje utlenienia i redukcji

- Reakcja utleniania i redukcji jest reakcją chemiczną, w której jedna substancja zostaje zredukowana, a druga – utleniona.

Utlenianie	Redukcja
to proces oddawania elektronów przez atom, jon lub cząsteczkę, związany ze zwiększeniem stopnia utlenienia pierwiastka oddającego elektron. $\text{np. } \overset{0}{\text{Mg}} \rightarrow \overset{+2}{\text{Mg}^{2+}} + 2e^-$	to proces przyjmowania elektronów przez atom, jon lub cząsteczkę, związany ze zmniejszeniem stopnia utlenienia pierwiastka przyjmującego elektron. $\text{np. } \overset{0}{\text{Cl}_2} + 2e^- \rightarrow \overset{-1}{2\text{Cl}^-}$

Reduktor (czynnik redukujący)	Utleniacz (czynnik utleniający)
substrat w połówkowym równaniu utleniania: $X \rightarrow X^{n+} + ne^-$ - oddaje elektrony - podwyższa swój stopień utlenienia - ulega utlenieniu - powoduje redukcję innej substancji	substrat w połówkowym równaniu redukcji: $Y + ne^- \rightarrow Y^{n-}$ - przyjmuje elektrony - obniża swój stopień utlenienia - ulega redukcji - powoduje utlenianie innej substancji
Pospolite reduktory - reaktywne metale: metale 1 i 2 grupy (Li, Na, Mg), cynk Zn, żelazo Fe, cyna Sn, glin Al oraz ich stopy - związki chemiczne, które zawierają pierwiastek na najniższym stopniu utlenienia: – sole cyny(II), np. SnCl_2 – sole żelaza(II), np. chlorek żelaza(II) FeCl_2 – jodki, np. NaI – tlenek siarki(IV) SO_2 – siarkowodor H_2S – tlenek węgla(II) CO – niemetale (węgiel, wodór)	Pospolite utleniacze - reaktywne niemetale: tlen O_2, fluorowce, np. Cl_2, Br_2 - związki chemiczne zawierające tlen, szczególnie w roztworach kwasowych, w których występują pewne pierwiastki na najwyższych stopniach utlenienia: – manganian(VII) potasu KMnO_4 – dichromian(VI) potasu $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – nadtlenek wodoru H_2O_2 – kwas azotowy(V) HNO_3 – tlenek osmu(VIII) OsO_4

- Substancje na pośrednich stopniach utlenienia

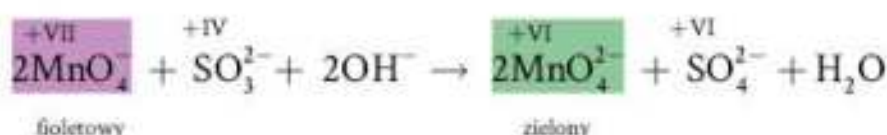
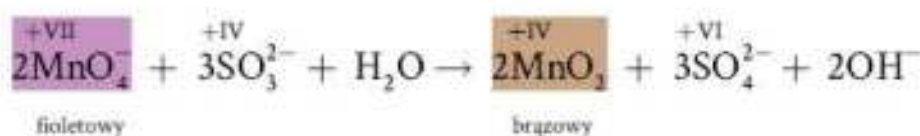
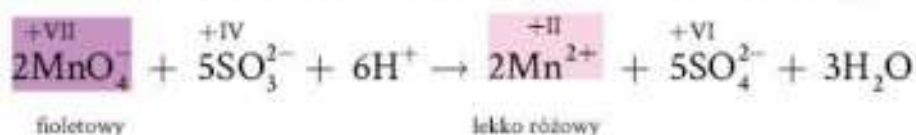
Jeżeli pierwiastek w związku występuje na pośrednim stopniu utlenienia, to może być zarówno utleniaczem, jak i reduktorem. Do takich związków należą:

- siarczan(IV) sodu Na_2SO_3 ,
- nadtlenek wodoru H_2O_2 ,
- azotan(III) potasu KNO_2 .

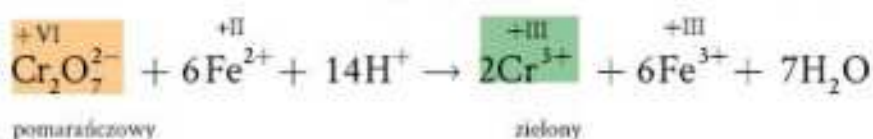
- **Stopień utlenienia** jest pojęciem umownym, które przypisuje się atomom pierwiastków chemicznych lub jonom według określonych reguł.

Dobieranie współczynników stechiometrycznych w schematach reakcji redoks **metodą bilansu elektronowo-jonowego** polega na rozdzieleniu schematu reakcji w formie jonowej na dwa schematy półkowych reakcji utleniania i redukcji. Dla każdego schematu reakcji półkowej współczynniki stechiometryczne dobiera się oddzielnie. Liczba elektronów w obu reakcjach półkowych musi być jednakowa. Uzgodnione równania półkowe utleniania i redukcji dodaje się stronami i uzyskuje się równanie reakcji redoks.

- Produkt redukcji jonów manganianowych(VII) zależy od środowiska. Związki manganu mają różną barwę w zależności od stopnia utlenienia manganu.



- W środowisku kwasowym jony dichromianowe(VI) ulegają redukcji do Cr^{3+} , na przykład:



Elektrochemia. Ogniwa i elektroliza

Ogniwa galwaniczne

- **Ogniwa galwaniczne** wytwarzają prąd elektryczny w wyniku reakcji utleniania i redukcji zachodzących w półogniwach. Półogniwa składają się z elementów metalowych (elektrod) pozostających w kontakcie z roztworem elektrolitu. W półogniwie nazywanym **anodą**, która stanowi biegun ujemny ogniwa, zachodzi reakcja utleniania. W półogniwie nazywanym **katodą**, która stanowi biegun dodatni ogniwa, zachodzi reakcja redukcji. Aby ogniwo wytwarzało prąd, roztwory elektrolitu w obu ogniwach muszą być połączone za pomocą klucza elektrolitycznego.
- W miarę pracy ogniwa reagenty zawarte w półogniwach zużywają się, co powoduje wyczerpanie ogniwa. **Ogniwa odwracalne** można ponownie naładować – w tym celu należy podłączyć je do zewnętrznego źródła prądu, dzięki czemu odtwarzają się zużyte reagenty. **Ogniwa nieodwracalnych** nie można ponownie naładować.

- **Napięcie elektryczne**, czyli różnica potencjałów między anodą a katodą ogniwa, to siła elektromotoryczna – **SEM**. SEM zależy od rodzaju półogniw, z których jest zbudowane ogniwo.
- Baterie i akumulatory są ogniwami galwanicznymi (lub ich układami) o specjalnej konstrukcji, która pozwala na ich wygodne i bezpieczne użytkowanie. Baterie cynkowo-węglowe, alkaliczne i rtęciowe są ogniwami nieodwracalnymi, natomiast akumulatory kwasowo-ołowiowe oraz litowo-jonowe są ogniwami odwracalnymi.

Standardowy potencjał półogniwa

- **Standardowy potencjał półogniwa** definiujemy jako SEM ogniwa zbudowanego z badanego półogniwa i standardowego półogniwa wodorowego, któremu przypisano potencjał 0,00 V. Określenie *standardowy* oznacza, że wszystkie reagenty uczestniczące w reakcji elektrochemicznej są w tzw. **stanie standardowym**, tzn. stężenia reagentów w roztworze wynoszą 1 mol/dm³, a ciśnienie reagentów gazowych wynosi 101,3 kPa. Standardowe półogniwo wodorowe składa się z blaszki platynowej pokrytej czernią platynową, zanurzonej w roztworze kwasu solnego o stężeniu 1 mol/dm³ i omywanej strumieniem gazowego wodoru pod ciśnieniem 101,3 kPa.
- Dzięki znajomości standardowych potencjałów półogniw można obliczyć SEM ogniwa galwanicznego z nich złożonego. W tym celu należy odjąć od potencjału katody (wyższa wartość) potencjał anody (niższa wartość).
- Wartości standardowych potencjałów półogniw uporządkowane rosnąco (lub malejąco) nazywamy szeregiem elektrochemicznym. Im wyższa wartość potencjału, tym większa tendencja do zachodzenia w nim reakcji redukcji. Zatem w półogniwach o wysokim dodatnim potencjale reakcje redukcji zachodzą tym łatwiej, im wyższa jest wartość potencjału półogniwa. W półogniwach o niskim potencjale przebiegają reakcje utlenienia (tym łatwiej, im niższa jest wartość potencjału półogniwa).
- Znajomość standardowych potencjałów półogniw pozwala na przewidywanie kierunku reakcji redoks zachodzących zarówno w ogniwach galwanicznych, jak i poza nimi (bezpośrednio między reagentami).

Korozja metali

- **Korozja żelaza** jest procesem elektrochemicznym zachodzącym pod wpływem czynników zewnętrznych. W wyniku korozji metaliczne żelazo przekształca się w hydrat tlenku żelaza(III), zwany rdzą. Rdza ma luźną, porowatą strukturę i nie chroni metalu przed dalszą korozją. Korozja stali wymaga obecności tlenu i wody, a szybkość tego procesu wzrasta w obecności elektrolitów.
- Inne metale również ulegają reakcji ze składnikami otoczenia, ale pokrywają się szczelną powłoką produktów reakcji zapobiegającą dalszej korozji. Powłoka chroniąca glin i chrom składa się z tlenków tych pierwiastków, a na powierzchni miedzi tworzy się warstwa węglanu hydroksomiedzi(II), zwana patyną.

- **Korozji stali można zapobiegać** – w tym celu należy pokryć ją powłokami ochronnymi, które izolują ją od czynników zewnętrznych (tlen, wilgoć). W ten sposób działają powłoki malarskie oraz powłoki z innych metali, bardziej odpornych na korozję. Powłoki z metali bardziej szlachetnych niż żelazo (np. cyny, niklu) tracą właściwości ochronne w wyniku uszkodzenia, a wówczas wręcz przyspieszają korozję. Powłoki z metali mniej szlachetnych (np. cynku) chronią stal nawet po uszkodzeniu, gdyż w powstającym ogniwie pełnią funkcję anody, na której zachodzi reakcja utleniania. Inne metody ochrony stali przed korozją to ochrona protektorowa, ochrona katodowa oraz wprowadzenie dodatków stopowych (stal nierdzewna).

Elektroliza

- Przepływ prądu elektrycznego przez ciekły elektrolit wymusza reakcje zachodzące na elektrodach. Proces ten nazywamy **elektrolizą** i przeprowadzamy go w urządzeniu zwanym elektrolizerem. Na anodzie (biegun dodatni) zachodzi utlenianie anionów zawartych w elektrolicie, a na katodzie (biegun ujemny) – redukcja kationów. Napięcie elektryczne wytwarzane przez zewnętrzne źródło prądu musi przekraczać napięcie rozkładowe, które zależy od standardowych potencjałów półogniw.
- **Elektrolizie można poddawać stopione związki jonowe** (sole). Ich topnieniu towarzyszy dysocjacja termiczna na jony – w stanie ciekłym stanowią one mieszaninę swobodnie poruszających się kationów i anionów.
- **Elektrolizę można również prowadzić w wodnych roztworach elektrolitów**. W takim przypadku reakcjom na elektrodach mogą ulegać również cząsteczki wody. O rodzaju produktu wydzielonego na anodzie lub katodzie decyduje wysokość standardowego potencjału półogniwa.
- Elektrolizę wykorzystuje się między innymi do wyodrębniania reaktywnych metali z rud, elektorafinacji metali, pokrywania przedmiotów powłokami z metali oraz otrzymywania ważnych produktów chemicznych (np. wodoru, tlenu, chloru, wodorotlenku sodu).

Systematyka związków nieorganicznych



Tlenki

- **Tlenki** to dwuskładnikowe związki tlenu z innymi pierwiastkami chemicznymi.

Właściwości kwasowo-zasadowe tlenków:

tlenki zasadowe	tlenki kwasowe
tlenki metali grupy 1 i grupy 2 (bez BeO) układu okresowego $\text{Bi}_2\text{O}_3, \text{CrO}, \text{MnO}, \text{FeO}, \text{NiO}$ Reagują z kwasami, w reakcji z wodą (jeśli jej ulegają) dają zasady, np.: $\text{MnO} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{MnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$	$\text{CO}_2, \text{SiO}_2, \text{P}_4\text{O}_{10}, \text{N}_2\text{O}_3, \text{NO}_2, \text{N}_2\text{O}_5, \text{Cl}_2\text{O}, \text{Cl}_2\text{O}_7, \text{CrO}_3, \text{Mn}_2\text{O}_7$ Reagują z zasadami, w reakcji z wodą (jeśli jej ulegają) dają kwasy, np.: $\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{P}_4\text{O}_{10} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_3\text{PO}_4$
tlenki amfoteryczne	tlenki obojętne
$\text{BeO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{ZnO}, \text{CuO}, \text{MnO}_2, \text{Cr}_2\text{O}_3$ Reagują z kwasami i zasadami, np.: $\text{ZnO} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{ZnO} + 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2[\text{Zn(OH)}_4]$	$\text{N}_2\text{O}, \text{NO}, \text{CO}, \text{SiO}$ Nie reagują z wodą, kwasami i zasadami, mogą rozpuszczać się w wodzie na zasadzie fizycznej rozpuszczalności.

Tlenki reagujące z wodą

kwasowe	zasadowe	amfoteryczne
niemetali, np.: $\text{SO}_2, \text{SO}_3, \text{NO}_2, \text{P}_4\text{O}_{10}$ metali, np.: $\text{CrO}_3, \text{Mn}_2\text{O}_7$	metali, np.: $\text{K}_2\text{O}, \text{CaO}$	niemetali, np.: As_2O_3

Wodorki

- **Wodorki** to związki wodoru z innymi pierwiastkami.

Typy wodorków:

- wodorki typu soli (np. NaH, CaH_2),
- wodorki metaliczne (np. CuH),
- wodorki kowalencyjne (np. HCl, CH_4).

Charakter chemiczny wodorków:

zasadowe	kwasowe	obojętne
np.: NaH, NH_3 Reagują z wodą, a w tej reakcji powstaje wodorotlenek i wodór. NH_3 z wodą tworzy roztwór zasadowy.	np.: $\text{HCl}, \text{H}_2\text{S}$ Reagują z: – wodą, a w tej reakcji powstają kwasy beztlenowe, – z wodorotlenkami, a w tej reakcji powstają sole.	np.: CH_4 Nie reagują z wodą w zwykłych warunkach, są słabo rozpuszczalne w wodzie.

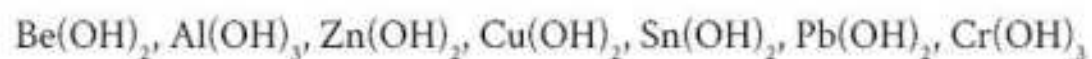
Wodorotlenki

- **Wodorotlenki** to związki chemiczne zbudowane z kationów metali i anionów wodorotlenkowych.

Chemiczny charakter wodorotlenków:

- **wodorotlenki zasadowe** – reagują z kwasami, a nie reagują z zasadami; wodorotlenki litowców i berylowców (bez berylu) oraz niektóre wodorotlenki metali bloku *d* (na najniższym stopniu utlenienia);

- **wodorotlenki amfoteryczne** – reagują z kwasami i zasadami; na przykład:



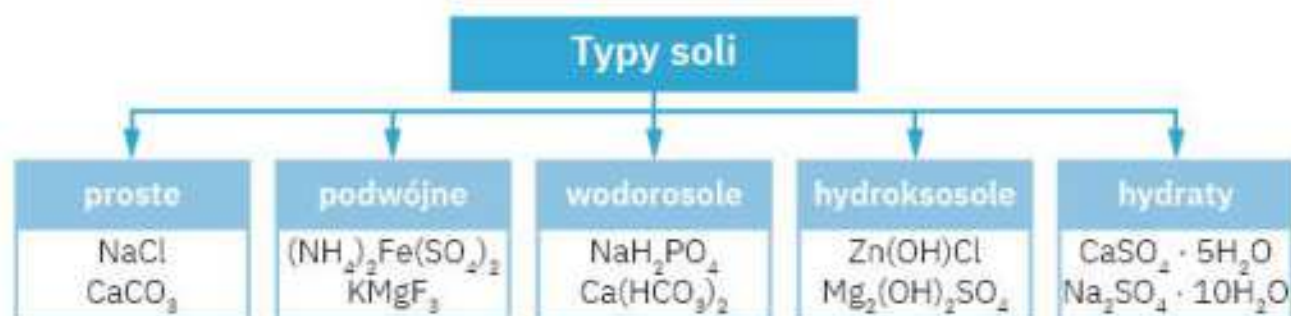
Kwasy

- **Kwasy** to związki chemiczne o budowie kowalencyjnej, zawierające w cząsteczce wodór i resztę kwasową.

Podział kwasów ze względu na:	
skład reszty kwasowej:	
kwasy beztlenowe, np.: HCl , H_2S	kwasy tlenowe, np.: HNO_3 , H_2SO_3
liczbę atomów wodoru:	
kwasy jednoprotone, np.: HCl , HNO_3	kwasy wieloprotone, np.: H_2SO_4 , H_3PO_4
łatwość, z jaką zachodzi dysocjacja elektrolityczna:	
mocne, np.: HCl , HNO_3	słabe, np.: H_2S , H_2SO_3
właściwości utleniające:	
kwasy utleniające, np.: HNO_3 , $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{stg.})}$, HClO_3 , HClO_4 , H_2CrO_4	kwasy nieutleniające, np.: $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{rozp.})}$, HCl , H_3PO_4 , CH_3COOH

Sole

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



Metale, niemetale i ich związki

Charakterystyczne właściwości metali i niemetali

Metale	Niemetale
mają połysk metaliczny	brak połysku metalicznego
kowalne i ciągliwe	kruche
dobre przewodnictwo elektryczne i ciepłne	izolatory (z wyjątkiem grafitu)
niska elektroujemność i energia jonizacji	wysoka elektroujemność i energia jonizacji
tlenki – zazwyczaj zasadowe, jonowe	tlenki – kwasowe, kowalencyjne
w reakcjach chemicznych oddają elektrony i tworzą kationy	w reakcjach chemicznych mają tendencję do przyjmowania elektronów i tworzenia anionów
dobre reduktory	dobrze utleniacze
aktywność wzrasta w dół grupy układu okresowego	aktywność maleje w dół grupy układu okresowego

• Aktywność chemiczna

Najaktywniejsze metale:

- to metale o najniższej elektroujemności i najniższej energii jonizacji, łatwo tworzą kationy;
- leżą w lewym dolnym rogu układu okresowego.

• Aktywność metali w układzie okresowym:

- w grupie rośnie ze wzrostem liczby atomowej;
- w okresie maleje ze wzrostem liczby atomowej.

Najaktywniejsze niemetale:

- to te, które mają najwyższą elektroujemność i łatwo tworzą aniony;
- leżą blisko prawego górnego rogu układu okresowego.

• Aktywność niemetali w układzie okresowym:

- w grupie maleje ze wzrostem liczby atomowej;
- w okresie rośnie ze wzrostem liczby atomowej.



Rys. 1. Aktywność pierwiastków chemicznych a położenie w układzie okresowym.

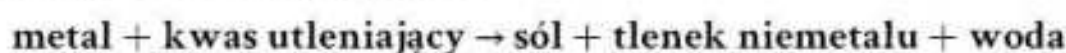
Reakcje metali z wodą i kwasami nieutleniającymi

Szereg elektrochemiczny metali

Li		Li	
K	$E^0 < -2,3$	K	
Ba	Reagują z zimną wodą, a w reakcji powstają wodorotlenek i wodór.	Ba	
Ca		Ca	
Na		Na	
		Mg	$E^0 < 0$
Mg	$-2,3 < E^0 < 0$	Al	Reagują z kwasami nieutleniającymi, w czasie tej reakcji zostaje wyparty wodór.
Al		Mn	
Mn		Zn	
Zn		Cr	
Cr		Fe	
Fe		Co	
		Ni	
		Sn	
H ₂		H ₂	
Cu	$E^0 > 0$	Cu	$E^0 > 0$
Ag		Ag	
Hg		Hg	
Pt		Pt	
Au		Au	
			Nie reagują z kwasami nieutleniającymi, nie wypierają wodoru.

Reakcje metali z kwasami utleniającymi

- Metale zgrupowane w szeregu elektrochemicznym za wodorem (Cu, Ag, Hg) reagują z kwasami utleniającymi według schematu:



- Al, Ni, Cr ulegają pasywacji pod wpływem HNO_{3(stępl.)} i H₂SO_{4(stępl.)}.

Wypieranie wzajemne metali

- Metal bardziej aktywny (o niższym standardowym potencjale redukcji) wypiera metal mniej aktywny (o wyższym standardowym potencjale redukcji) z roztworu jego soli, na przykład:

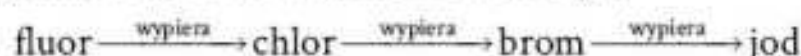


- Reakcje wypierania metali pozwalają na ocenę aktywności metali.

Wypieranie wzajemne fluorowców

- Właściwości utleniające fluorowców w stanie wolnym maleją w szeregu od fluoru do jodu.

- W roztworze bardziej aktywny fluorowiec wypiera (utlenia) mniej aktywny fluorowiec z jego soli. Wypieranie wzajemne fluorowców zachodzi w szeregu:



Na przykład:



Reakcje odwrotne są niemożliwe.

Zastosowanie wybranych związków nieorganicznych

Tlenek krzemu(IV) i szkło

- Tlenek krzemu(IV) jest jednym z najpospolitszych związków chemicznych wchodzących w skład skorupy ziemskiej. Najważniejszym minerałem tlenku krzemu(IV) jest kwarc, występujący w formie piasku oraz jako składnik różnorodnych skał.
- Tlenek krzemu(IV) jest związkiem stałym o bardzo wysokiej temperaturze topnienia. Jest obojętny chemicznie, w temperaturze pokojowej wchodzi w reakcje jedynie z kwasem fluorowodorowym HF i stężonymi roztworami mocnych zasad. Droбноziarnista, bezpostaciowa forma tlenku krzemu(IV), zwana żelem krzemionkowym, wykazuje silną tendencję do adsorpcji wody i innych substancji polarnych na swojej powierzchni.
- Szkło jest bezpostaciowym ciałem stałym, które powstaje wskutek stapiania tlenku krzemu(IV) z tlenkami lub węglanami metali, głównie sodu i wapnia. W wysokiej temperaturze panującej w piecu szklarskim zachodzą reakcje chemiczne, w wyniku których wydzielą się tlenek węgla(IV) i powstają krzemiany metali.
- Szkło jest ważnym materiałem konstrukcyjnym stosowanym głównie do wytwarzania szyb okiennych oraz opakowań szklanych. Dzięki dodawaniu różnych składników do masy szklarskiej można uzyskać szkło barwne o różnorodnych kolorach oraz szkło o specjalnych właściwościach.

Skały wapienne

- Węglan wapnia CaCO_3 występuje w przyrodzie głównie w postaci minerałów: kalcytu, aragonitu i dolomitu (w tym minerale razem z węglanem wapnia występuje węglan magnezu).
- Skały wapienne są skałami osadowymi, głównie pochodzenia biologicznego. Kreda jest miękką porowatą odmianą skał wapiennych, a marmur to skała metamorficzna powstała w wyniku przeobrażenia skał wapiennych.
- W wysokiej temperaturze węglan wapnia CaCO_3 zawarty w skałach wapiennych rozkłada się na tlenek wapnia CaO (wapno palone) i tlenek węgla(IV) CO_2 . Tlenek wapnia reaguje z wodą,

a w tej reakcji powstaje wodorotlenek wapnia $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (wapno gaszone). Wszystkie odmiany skał wapiennych reagują z kwasami, a w tych reakcjach wydzielają się gazy CO_2 .

- Zjawiska krasowe kształtujące krajobraz skał wapiennych są skutkiem subtelnej równowagi chemicznej zachodzącej między węglanem wapnia CaCO_3 (trudno rozpuszczalnym w wodzie), wodorowęglanem wapnia $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (dość dobrze rozpuszczalnym w wodzie) oraz tlenkiem węgla CO_2 rozpuszczonym w wodzie.
- Kamień wapienny jest surowcem do produkcji wapna i cementu.

Gips. Hydraty soli

- Siarczan(VI) wapnia jest związkiem jonowym o wysokiej temperaturze topnienia, słabo rozpuszczalnym w wodzie. W przyrodzie występuje głównie w postaci minerałów anhydrytu CaSO_4 i gipsu $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.
- Siarczan(VI) wapnia tworzy dwa rodzaje hydratów (soli uwodnionych): dihydrat $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (gips) i hemihydrat $(\text{CaSO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (tzw. gips półwodny). Ogrzewanie gipsu prowadzi do utraty wody i powstania najpierw hemihydratu, a następnie bezwodnego anhydrytu.
- Hemihydrat zmieszany z wodą tworzy plastyczną masę, która szybko twardnieje i przekształca się w dihydrat. To zjawisko wykorzystuje się w wytwarzaniu zaprawy i tynków gipsowych, jak również do sporządzania odlewów gipsowych.
- Wiele związków jonowych tworzy hydraty, w których cząsteczki wody wchodziły w skład kryształu jonowego. Cząsteczki wody są utrzymywane w sieci krystalicznej dzięki oddziaływaniom jon-dipol, wiązaniami wodorowym, a w przypadku soli metali bloku d również dzięki wiązaniami koordynacyjnym. Uwodnione sole metali bloku d zwykle różnią się barwą od soli bezwodnych.

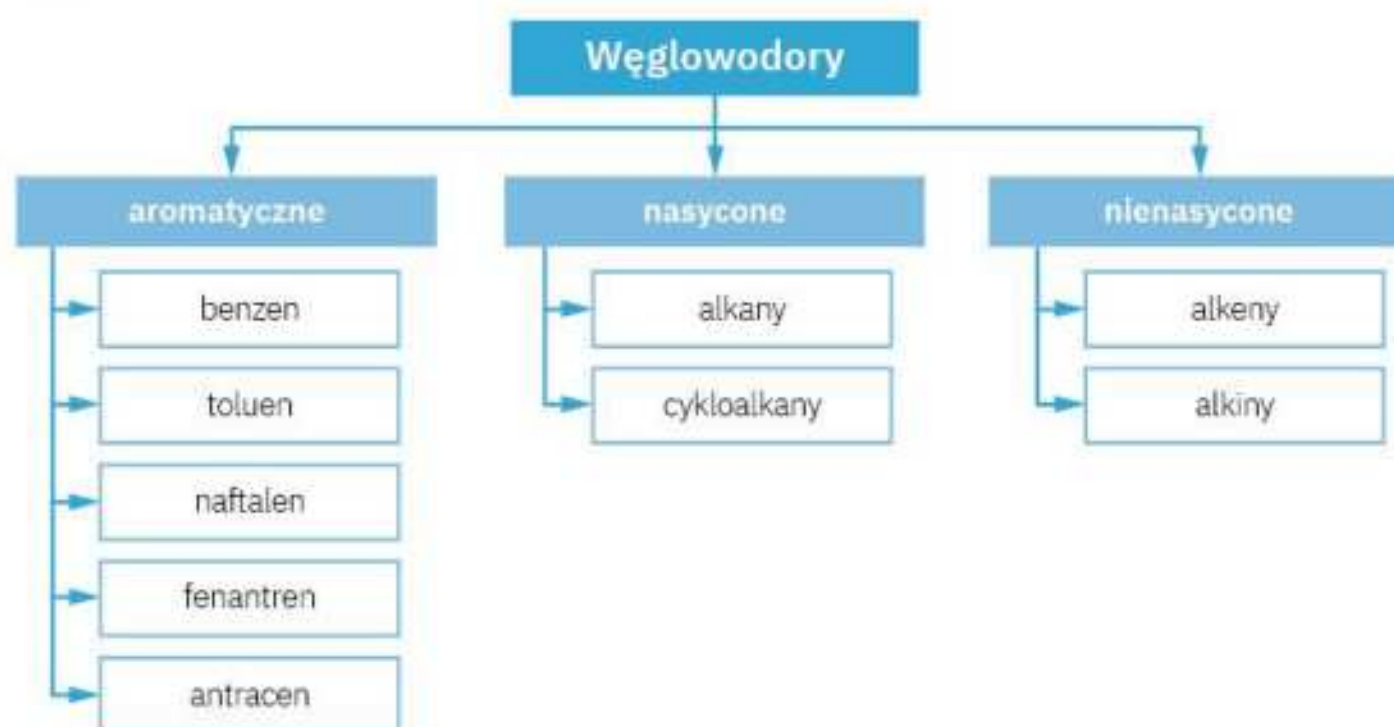
Twardość wody

- Sole wapnia i magnezu rozpuszczone w wodzie niekorzystnie wpływają na właściwości użytkowe wody wodociągowej, ponieważ nadają jej tak zwaną twardość. Twardość przemijająca pochodzi od wodorowęglanów tych metali, a twardość trwała – od innych soli, na przykład siarczanów(VI), chlorków lub azotanów(V).
- Twardość przemijająca jest przyczyną powstawania kamienia kotłowego składającego się głównie z węglanu wapnia i wodorotlenku magnezu, które tworzą się w wyniku rozkładu termicznego wodorowęglanów wapnia i magnezu.
- Wysoka twardość wody utrudnia pranie i zmywanie mechaniczne, gdyż aniony kwasów karboksylowych zawarte w mydle i środkach piorących reagują z kationami Ca^{2+} i Mg^{2+} i tworzą maziste osady mydeł wapniowych (magnezowych).
- Twardość wody można usunąć lub obniżyć za pomocą węglanu sodu, roztworów o odczynie zasadowym, trifosforanu(V) sodu lub żywic jonowymiennych.

Nawozy

- Oprócz wodoru, węgla i tlenu rośliny potrzebują do prawidłowego rozwoju azotu, fosforu, potasu oraz niewielkich ilości innych pierwiastków.
- Azot, fosfor i potas są pobierane przez rośliny przez system korzeniowy z gleby w postaci odpowiednio: jonów azotanowych(V) NO_3^- (czasami również amonowych NH_4^+), jonów diwodorofosforanowych H_2PO_4^- i jonów potasu K^+ . W rolnictwie źródłem tych składników są nawozy naturalne (pochodzenia zwierzęcego, roślinnego lub mineralnego) i nawozy sztuczne.
- Nawozy azotowe syntezuje się na wielką skalę w przemysłowych zakładach chemicznych. Pierwszym etapem syntezy jest proces Habera-Boscha, w którym wytwarza się amoniak z azotu (z powietrza) i wodoru (z gazu ziemnego). Amoniak można dalej przekształcić w sole amonowe, mocznik i azotany(V), wchodzące w skład nawozów sztucznych. Jako nawóz fosforowy stosuje się głównie superfosfat (diwodorofosforan wapnia), otrzymywany przez działanie kwasu siarkowego(IV) na fosforyty. Potas dostarcza się roślinom w formie rozpuszczalnych soli potasu.

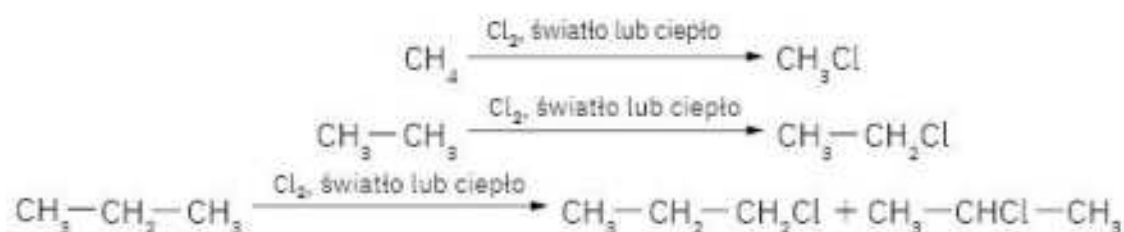
Węglowodory



Najważniejsze reakcje węglowodorów

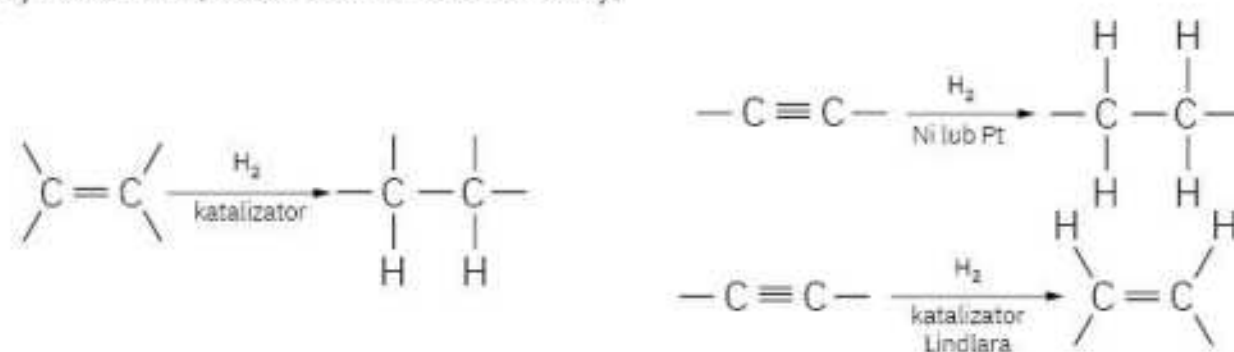
• Alkany

– Schematy reakcji substytucji (mechanizm rodnikowy)

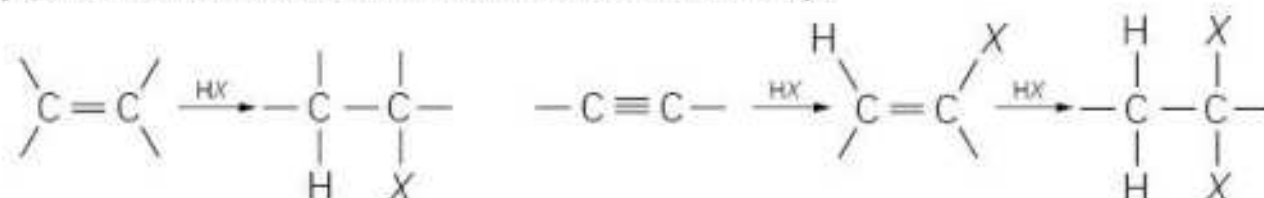


• **Węglowodory nienasycone (alkeny i alkiny)**

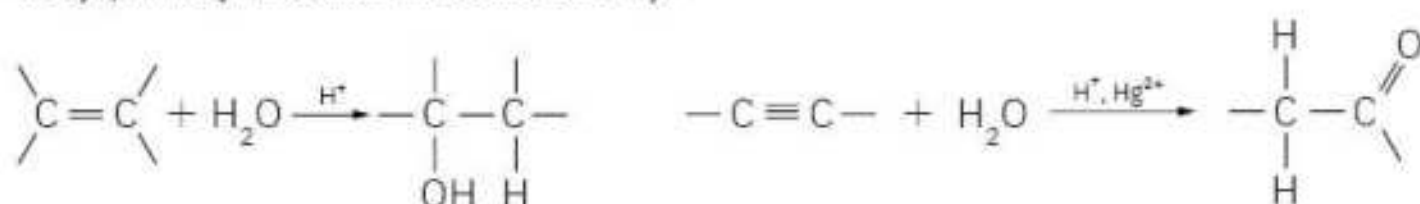
– addycja wodoru (mechanizm elektrofilowy)



– addycja fluorowcówodorów (mechanizm elektrofilowy)



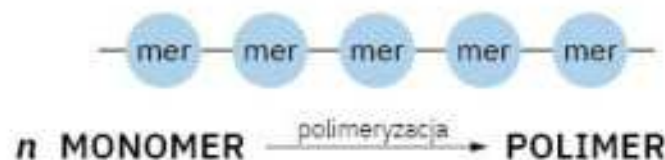
– addycja wody (mechanizm elektrofilowy)



– reakcja eliminacji

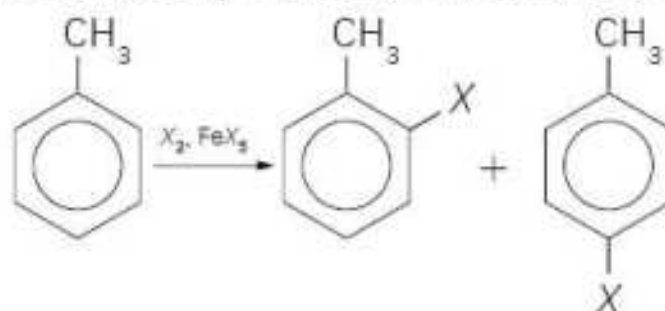


– reakcja polimeryzacji

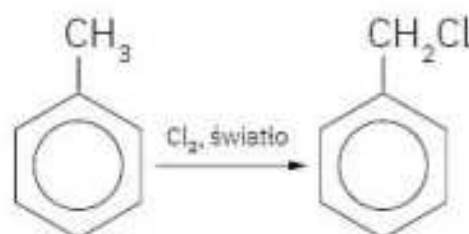


• **Węglowodory aromatyczne i ich pochodne**

– substytucja w pierścieniu benzenowym (mechanizm elektrofilowy):



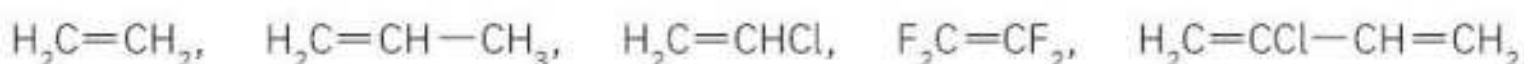
– substytucja w grupie alkilowej związanej z pierścieniem aromatycznym (mechanizm rodnikowy):



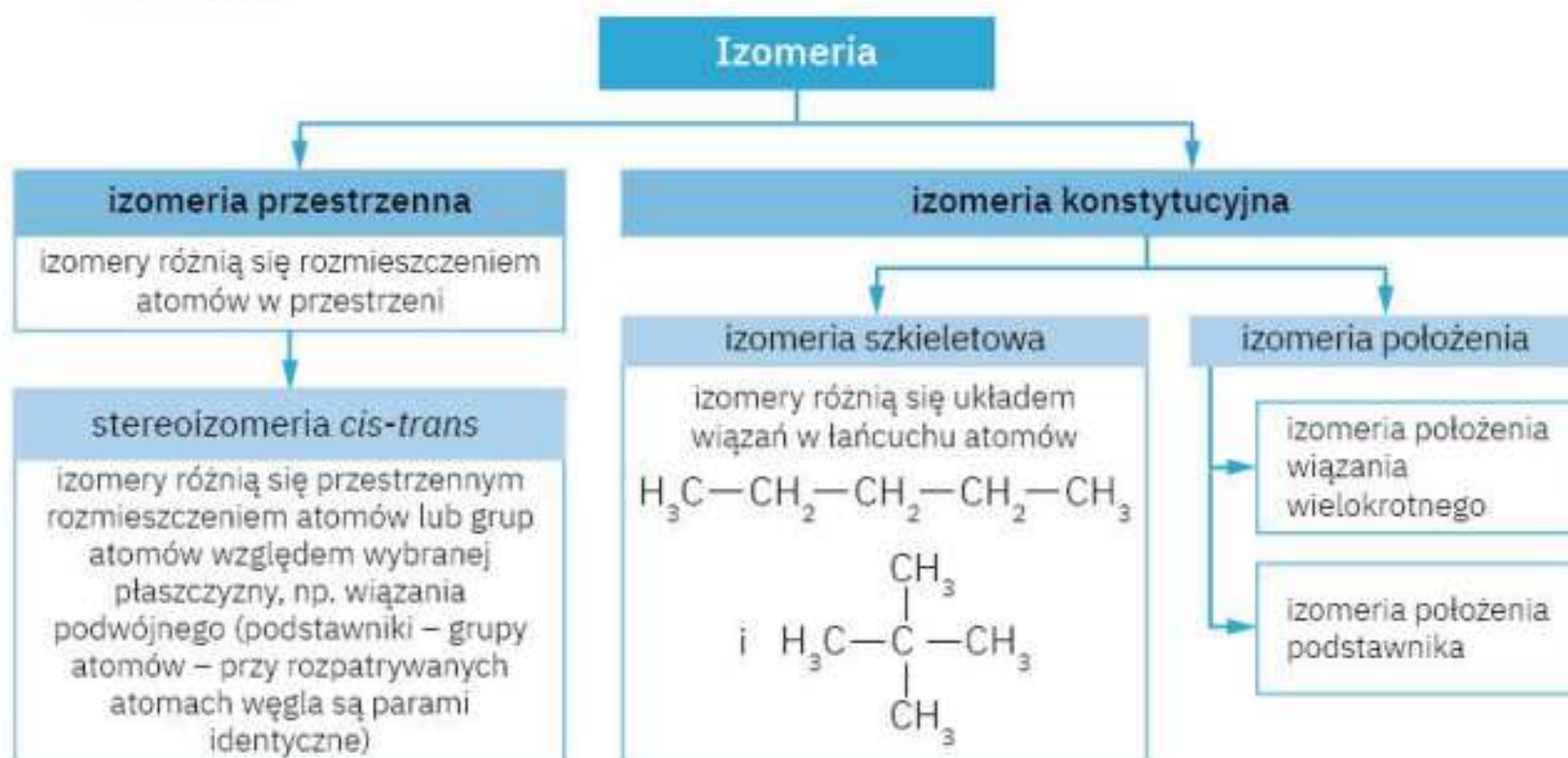
- Rekcje wykorzystywane do odróżnienia poszczególnych grup węglowodorów między sobą

odczynnik	odróżniane węglowodory
rozcieńczony, obojętny lub kwasowy roztwór manganianu(VII) potasu	węglowodory nasycone – węglowodory nienasycone
roztwór bromu	węglowodory nasycone – węglowodory nienasycone
mieszanina nitrująca	węglowodory nasycone – węglowodory aromatyczne

Najważniejsze substancje ulegające polimeryzacji: alkeny i ich pochodne



Izomeria



Alkohole i fenole

Budowa alkoholi i fenoli

Alkohole	Fenole
pochodne węglowodorów, w których w miejsce jednego atomu lub większej liczby atomów wodoru została podstawiona grupa hydroksylowa związana z atomem węgla tworzącym cztery wiązania pojedyncze	pochodne węglowodorów aromatycznych zawierające grupę hydroksylową połączoną z atomem węgla tworzącym pierścień aromatyczny

Właściwości fizyczne alkoholi

Cząsteczki alkoholi tworzą wiązania wodorowe i z tego względu ich temperatury wrzenia są stosunkowo wysokie w porównaniu z węglowodorami i ich fluorowcopochodnymi o zbliżonej masie molowej.

Właściwości chemiczne alkoholi

Reakcja z fluorowcowodorami (HI, HCl, HBr)	$R-OH + HX \longrightarrow R-X + H_2O$ reaktywność alkoholi: $3^\circ > 2^\circ > 1^\circ$
Reakcja odwodnienia (dehydratacji) Jeśli w wyniku dehydratacji alkoholu możliwe byłoby powstanie dwóch różnych produktów, to produktem głównym tej reakcji będzie alken, w cząsteczkach którego wiązanie podwójne leży przy atomach węgla o wyższej rzędowości.	$ \begin{array}{c} \\ -C- \\ \\ H \end{array} \begin{array}{c} \\ -C- \\ \\ OH \end{array} \xrightarrow[\text{lub } Al_2O_3 / \text{temperatura}]{H^+ / \text{temperatura}} \begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ C=C \\ \diagdown \quad \diagup \end{array} + H_2O $
Reakcja polihydroksylowych alkoholi z wodorotlenkiem miedzi(II)	powstaje barwny (szafirowy) kompleks z jonami Cu^{2+}

Porównanie właściwości chemicznych fenoli i alkoholi

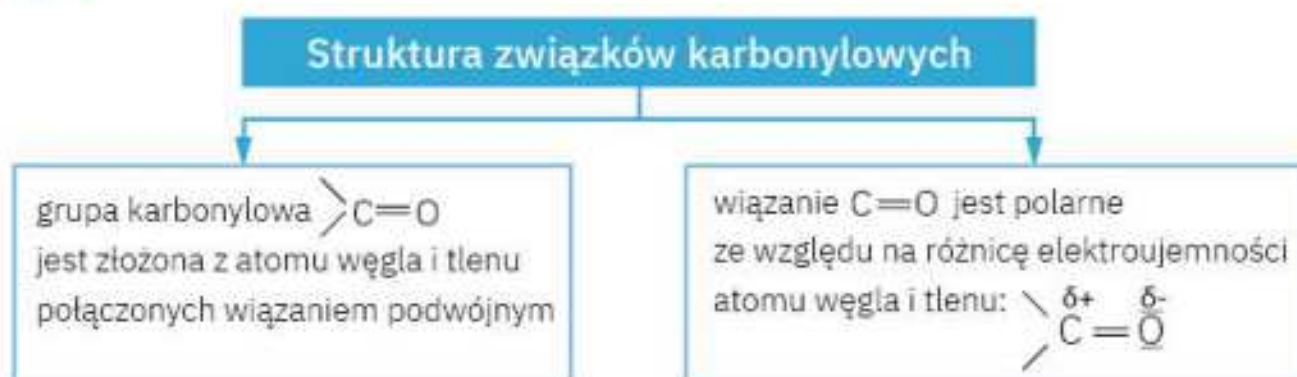
Odczynnik (substrat)	Alkohol	Fenol
Na	$2R-OH + 2Na \longrightarrow 2R-ONa + H_2$	$2C_6H_5-OH + 2Na \longrightarrow 2C_6H_5-ONa + H_2$
NaOH	nie reaguje	$C_6H_5-OH + NaOH \longrightarrow C_6H_5-ONa + H_2O$
HNO_3	$R-OH + HNO_3 \rightleftharpoons R-NO_3 + H_2O$	fenol $\swarrow \xrightarrow{HNO_3 \text{ (rocz.)}}$ 4-nitrofenol + 2-nitrofenol $\searrow \xrightarrow{HNO_3 \text{ (rocz.)}}$ 2,4,6-trinitrofenol

Odróżnianie alkoholi od fenoli



Organiczne związki karbonylowe. Aldehydy i ketony

Struktura



Aldehydy	Ketony
mają co najmniej 1 atom H przyłączony do >C=O, np.: $\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{array}$ metanal $\begin{array}{c} \text{H} & \text{O} \\ & \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C}-\text{H} \\ & \\ \text{H} & \end{array}$ etanal	mają dwa atomy C przyłączone do >C=O, np.: $\begin{array}{c} \text{H} & \text{O} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C}- & \text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$ propanon

Metoda otrzymywania

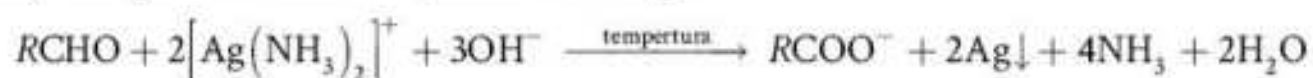
Aldehydy	Ketony
powstają w wyniku utleniania alkoholi pierwszorzędowych: $\text{R}-\text{CH}_2-\text{OH} \xrightarrow{[\text{O}]} \text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}$ alkohol pierwszorzędowy aldehyd	powstają w wyniku utleniania alkoholi drugorzędowych: $\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{R}-\text{CH}_2-\text{R}' \end{array} \xrightarrow{[\text{O}]} \text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{R}'}{\text{C}}}$ alkohol drugorzędowy keton

Właściwości chemiczne

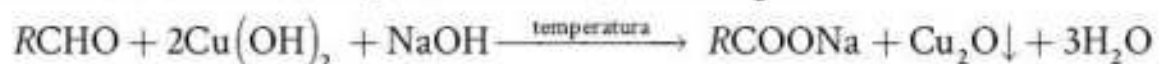
Aldehydy	Ketony
- są reduktorami - łatwo utleniają się do kwasów: $\text{RCHO} + [\text{O}] \rightarrow \text{RCOOH}$	- nie są reduktorami - są odporne na działanie większości utleniaczy

Odróżnienie aldehydów od ketonów umożliwiają dwa doświadczenia		
Doświadczenie	Aldehyd	Keton
próba Tollensa	 lustro srebrne	brak reakcji
próba Trommera	 ceglastoczerwony osad	wytrącanie czarnego osadu będącego wynikiem termicznego rozkładu wodoronadtlenku miedzi(II)

- **Próba Tollensa** – roztwór zawiera kation diaminasrebra(I) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$. Jon Ag^+ jest redukowany do Ag . Test nosi nazwę lustra srebrnego.



- **Próba Trommera** – roztwór zawiera jony miedzi(II) w środowisku zasadowym. Jony Cu^{2+} są redukowane do Cu^+ . Powstaje ceglastoczerwony osad Cu_2O .



Właściwości fizyczne aldehydów i ketonów

- Temperatury wrzenia: nieco wyższe niż temperatury wrzenia alkanów o podobnej masie.
- Rozpuszczalność: są rozpuszczalne w rozpuszczalnikach organicznych. Tylko związki o krótkich łańcuchach są również rozpuszczalne w wodzie.

Kwasy karboksylowe

Struktura

- Kwasy karboksylowe $R\text{-COOH}$ zawierają grupę karboksylową: $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C} \\ | \\ \text{O}-\text{H} \end{array}$
- Grupa karboksylowa jest kombinacją grupy karbonylowej >C=O i hydroksylowej $-\text{OH}$.
- Obie grupy leżą tak blisko, że wpływają na siebie nawzajem i wytwarzają nowe właściwości.

Reakcje

• z wodą

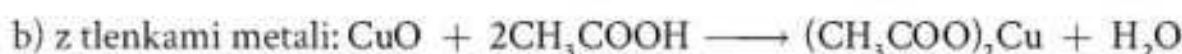
Kwasy karboksylowe są słabymi kwasami.



• z aktywnymi metalami

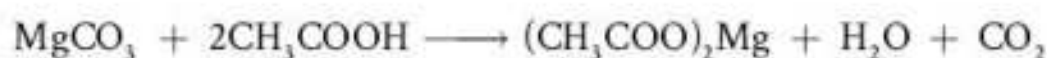


• z zasadami

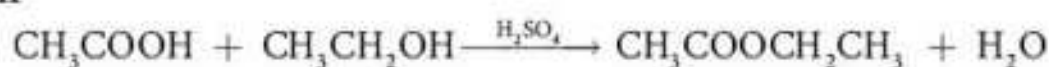


• z solami słabych kwasów

z węglanami

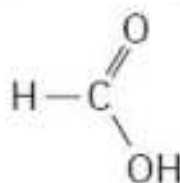


• z alkoholami



Kwasy karboksylowe reagują z alkoholami, w wyniku czego powstają estry kwasów karboksylowych.

- **Kwas mrówkowy** wykazuje właściwości redukujące, ponieważ zawiera w cząsteczce grupę aldehydową.



Właściwości fizyczne

- Temperatury wrzenia: są znacznie wyższe niż innych związków o porównywalnej masie cząsteczkowej.
- Rozpuszczalność: tylko kwasy o krótkich łańcuchach są rozpuszczalne w wodzie, ponieważ ich cząsteczki oddziałują z wodą za pośrednictwem wiązań wodorowych.

Metody otrzymywania

Utlenianie pierwszorzędowych alkoholi i aldehydów za pomocą silnych utleniaczy, takich jak manganian(VII) potasu w zakwaszonym roztworze.

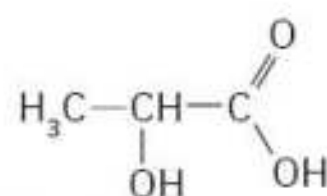
Mydła

Sole sodowe (lub potasowe) wyższych kwasów tłuszczowych, np. $C_{17}H_{35}COO^-Na^+$, ułatwiają mycie i pranie. Ich roztwory wodne są zasadowe.

Hydroksykwasy

Zawierają w cząsteczce dwa typy grup funkcyjnych: grupę hydroksylową OH i grupę karboksylową COOH.

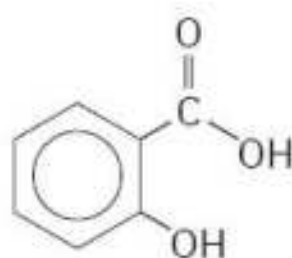
• Kwas mlekowy



kwas 2-hydroksypropanowy

Występuje w kwaśnym mleku, serze i kiszonkach. Powstaje w procesie fermentacji mlekowej cukrów. Jest naturalnym środkiem konserwującym.

• Kwas salicylowy



kwas 2-hydroksybenzoesowy (kwas 2-hydroksybenzenokarboksylowy)

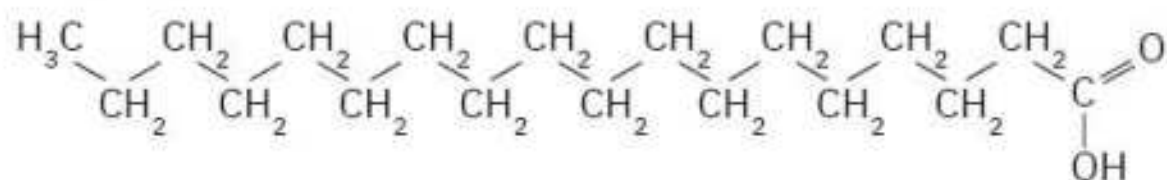
Środek dezynfekcyjny oraz związek wyjściowy w syntezie leków (aspiryny), barwników i środków zapachowych.

Kwasy tłuszczowe

• Nasycone

Zawierają długi, prosty łańcuch węglowodorowy:

np. kwas stearynowy

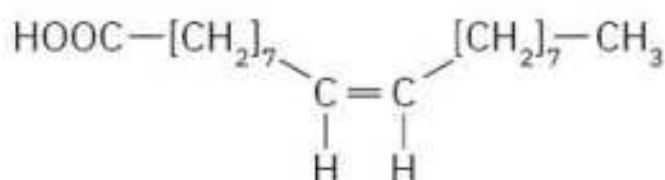


Zawierają wyłącznie pojedyncze wiązania C-C w łańcuchu.

Nie reagują z wodą bromową.

- **Nienasycone**

np. kwas oleinowy



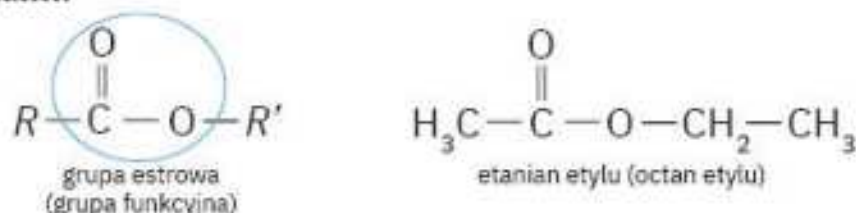
Mają jedno lub więcej wiązań podwójnych C=C w łańcuchu.

Reagują z wodą bromową i powodują jej odbarwienie.

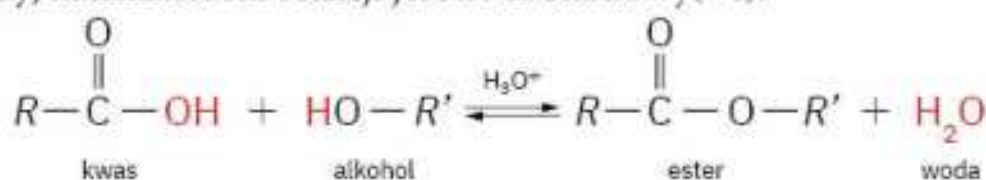
Estry i tłuszcze

Estry

- **Estry** – produkty reakcji między kwasami karboksylowymi lub tlenowymi kwasami nieorganicznymi i alkoholami.

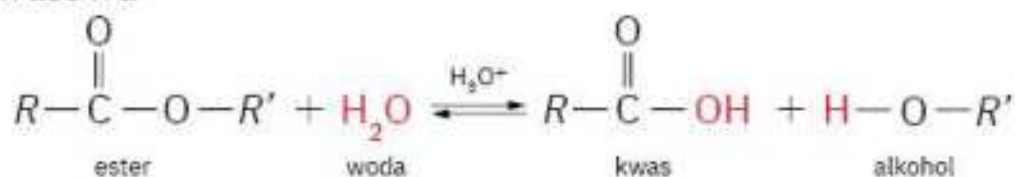


- **Estryfikacja** – reakcja kwasów z alkoholami, podczas której powstaje ester i wydzielą się cząsteczka wody; katalizatorem reakcji jest kwas siarkowy(VI).

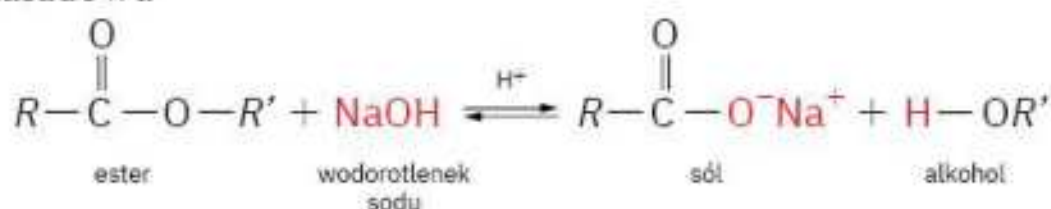


Estry hydrolizują w wodzie. Reakcję katalizują zarówno kwasy, jak i zasady.

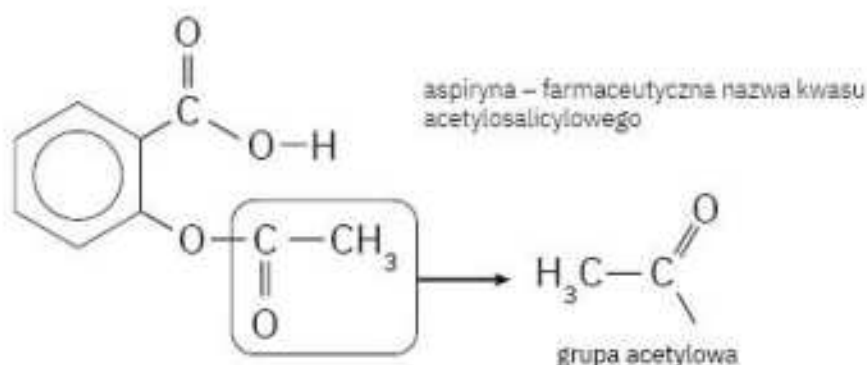
- **Hydroliza kwasowa**



- **Hydroliza zasadowa**

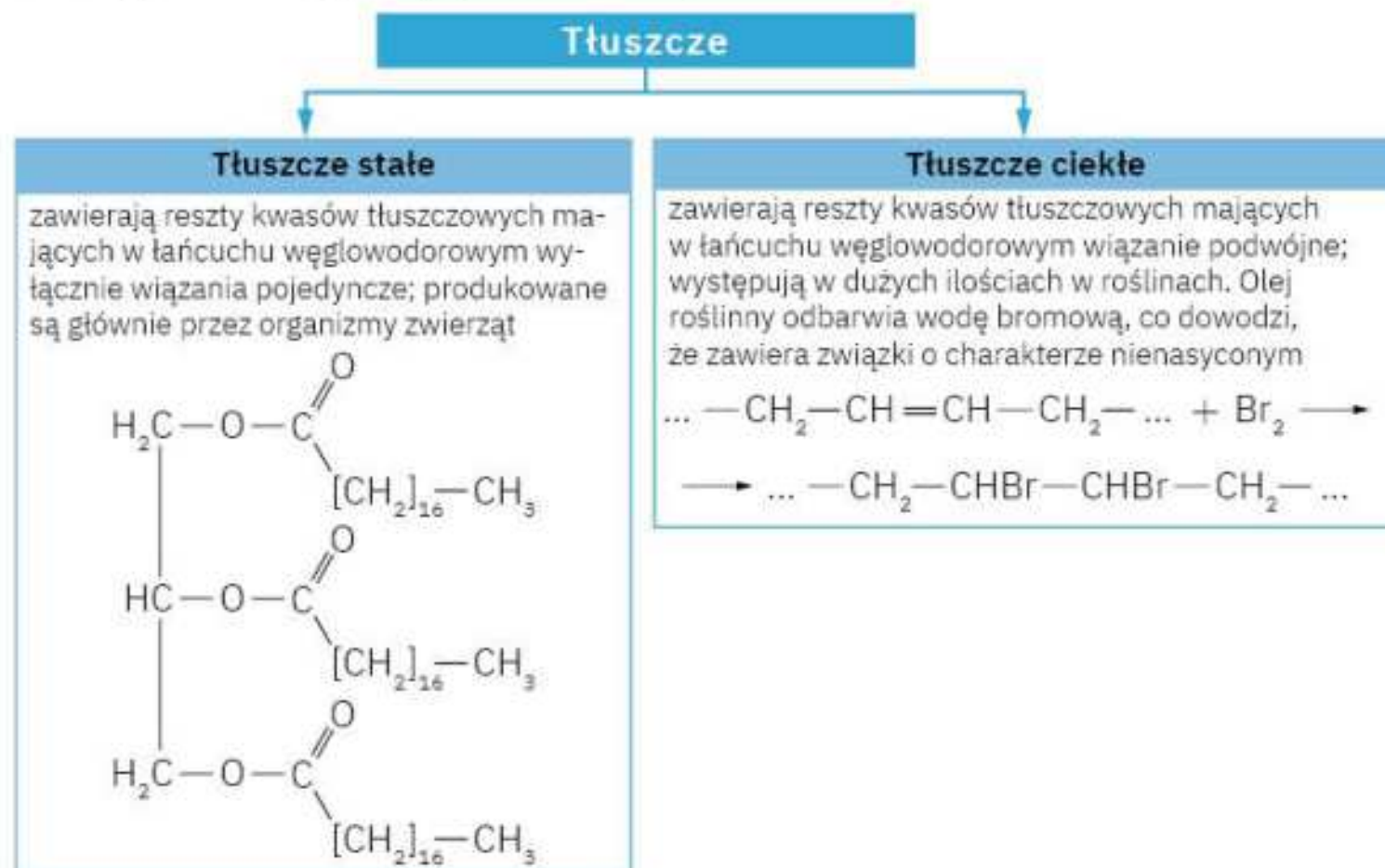


- **Aspiryna**

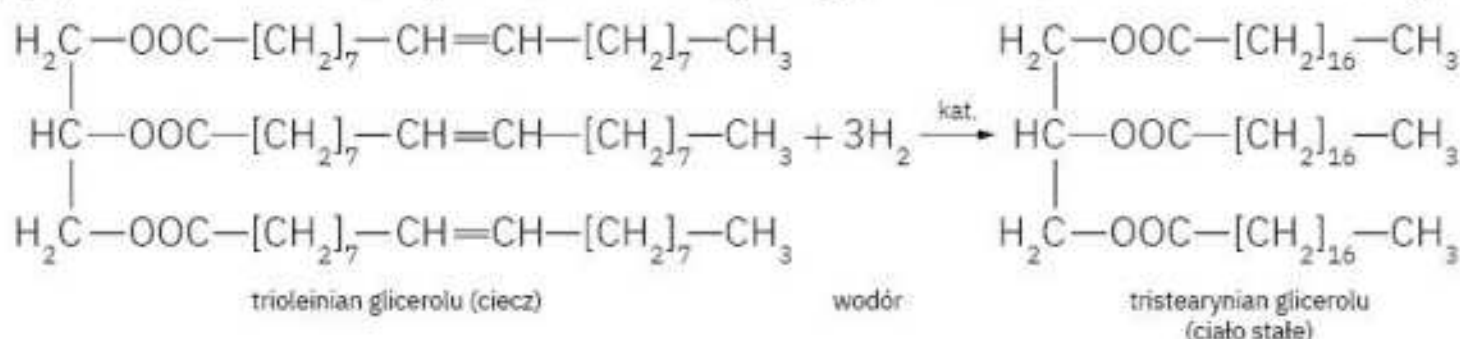


Tłuszcze

- Tłuszcze** – estry glicerolu i długolącuchowych kwasów tłuszczowych; w organizmie służą do długoterminowego magazynowania energii.

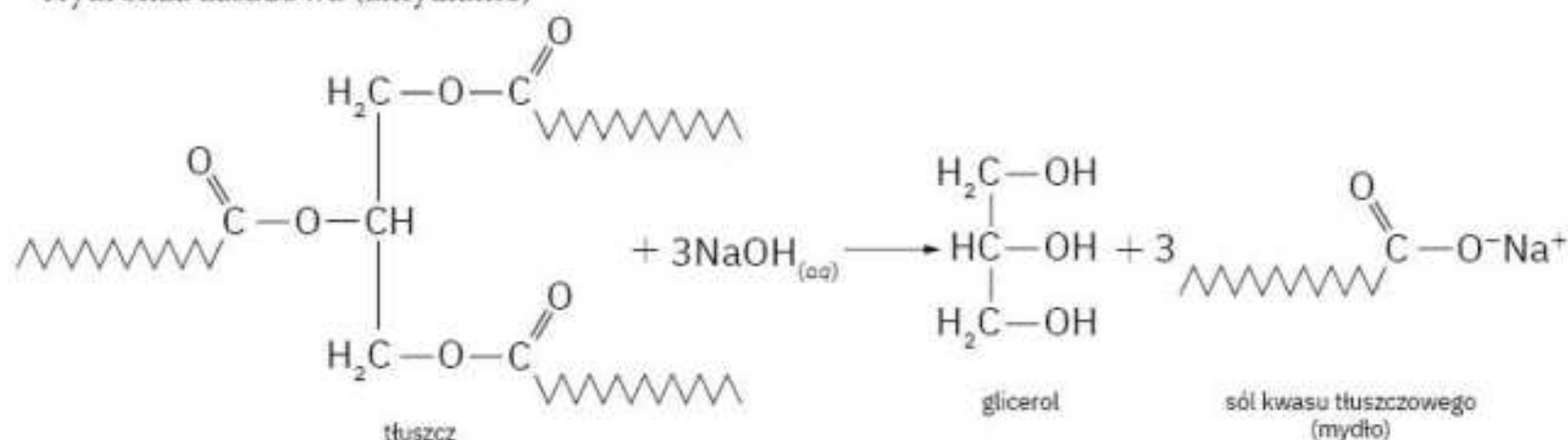


- Utwardzanie tłuszczów ciekłych – proces addycji wodoru do wiązań podwójnych występujących w resztach kwasowych tłuszczu nienasyconego, w obecności katalizatora niklowego.

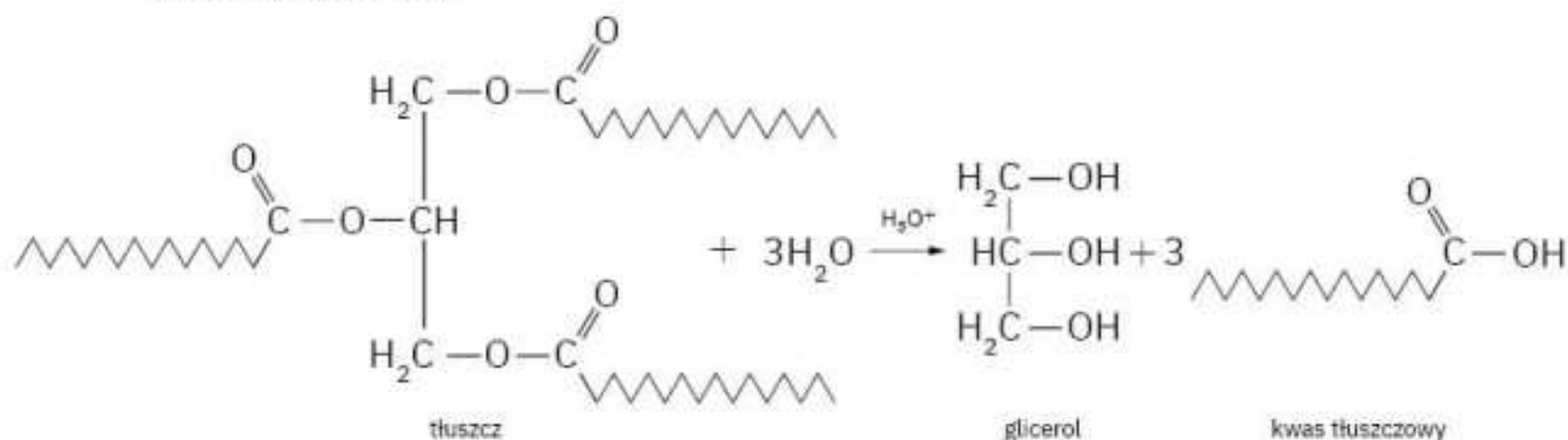


- Hydroliza olejów jadalnych i tłuszczów stałych prowadzi do wydzielenia glicerolu i długolącuchowych kwasów tłuszczowych.

Hydroliza zasadowa (zmydlanie)



Hydroliza kwasowa



Związki organiczne zawierające azot

Aminy – struktura i klasyfikacja

- Aminy są organicznymi pochodnymi amoniaku, w których jeden, dwa lub trzy atomy wodoru zostały zastąpione grupami węglowodorowymi. W aminach pierwszorzędowych atom azotu jest związany z jednym atomem węgla, w aminach drugorzędowych – z dwoma atomami węgla, a w aminach trzeciorzędowych – z trzema atomami węgla.
- Budowa cząsteczki aminy przypomina budowę cząsteczki amoniaku. Podobnie jak amoniak aminy zawierają wolną parę elektronową w cząsteczce. W zależności od rodzaju grup związanych z atomem azotu aminy dzielimy na alifatyczne, alicykliczne, aromatyczne, heterocykliczne i heteroaromatyczne.
- Aby utworzyć nazwę aminy, podaje się nazwy grup związanych z atomem azotu i dodaje na końcu cząstkę -amina. W nazewnictwie amin aromatycznych w wypadku nazwy *fenyloaminy* możemy używać nazwy zwyczajowej *anilina*.

Właściwości amin

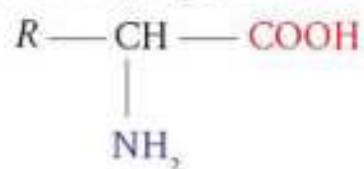
- Aminy są cieczami o nieprzyjemnym zapachu. Charakteryzują się wyższymi temperaturami wrzenia niż węglowodory o podobnej masie cząsteczkowej ze względu na zdolność do tworzenia międzycząsteczkowych wiązań wodorowych.
- Dzięki obecności wolnej pary elektronowej zlokalizowanej na atomie azotu cząsteczki amoniaku i amin są zdolne do wiązania jonów wodorowych (protonów) H^+ . Amoniak i aminy są zasadami Brønsteda, reagują z wodą z utworzeniem jonów wodorotlenkowych OH^- oraz ulegają reakcji zobojętnienia.
- Aminy są słabymi zasadami. Zasadowość amin aromatycznych jest znacznie niższa niż zasadowość amin alifatycznych.
- Przyczyną niższej zasadowości amin aromatycznych jest delokalizacja wolnej pary elektronowej do pierścienia aromatycznego. Innym skutkiem delokalizacji elektronów jest wzrost reaktywności pierścienia aromatycznego w reakcji nitrowania i bromowania.

Otrzymywanie amin. Amidy

- Aminy alifatyczne można otrzymać przez alkiłowanie amoniaku. Aminy aromatyczne otrzymuje się na ogół przez redukcję odpowiednich związków nitrowych.
- Amidy są pochodnymi kwasów karboksylowych, w których grupa hydroksylowa została zastąpiona grupą aminową. Amidy powstają w wyniku reakcji amin z reaktywnymi pochodnymi kwasów karboksylowych.
- Amidy nie wykazują właściwości zasadowych, ich roztwory i zawiesiny mają odczyn obojętny. Ulegają reakcji hydrolizy pod wpływem mocnych kwasów i zasad.
- Mocznik, diamid kwasu węglowego, jest bezbarwnym ciałem stałym, dobrze rozpuszczalnym w wodzie z powodu tworzenia wiązań wodorowych z cząsteczkami wody. Wodne roztwory mocznika wykazują odczyn obojętny.
- Mocznik ulega hydrolizie kwasowej i zasadowej. Ogrzewanie go w wysokiej temperaturze prowadzi do powstania produktu kondensacji – biuretu. Mocznik jest ważnym produktem przemysłowym wykorzystywanym do otrzymywania nawozów sztucznych, tworzyw sztucznych i leków.

Aminokwasy

- Aminokwasy to związki dwufunkcyjne. Ich cząsteczki zawierają grupy karboksylową i aminową. Aminokwasy, których reszty wchodzi w skład białek i dla których istnieją odpowiednie kodony, to aminokwasy biogenne. Można je opisać wzorem ogólnym:



Do opisu aminokwasów biogennych powszechnie stosuje się ich nazwy zwyczajowe.

- Aminokwasy biogenne, z wyjątkiem glicyny, są związkami optycznie czynnymi i mogą występować w postaci enancjomerów. Wszystkie optycznie czynne aminokwasy biogenne są izomerami *L*.
- W stanie stałym aminokwasy występują w formie jonów obojnaczych. Z powodu silnych oddziaływań elektrostatycznych między tymi jonami aminokwasy ulegają topnieniu w wysokiej temperaturze.
- Aminokwasy wykazują charakter amfoteryczny. Reagują zarówno z kwasami, jak i zasadami, a w tych reakcjach powstają odpowiednie sole.
- Aminokwasy wchodzi w reakcje chemiczne typowe zarówno dla grupy aminowej (np. tworzenia amidów), jak i dla grupy karboksylowej (np. tworzenia estrów).

Peptydy

- Częsteczki aminokwasów mogą się łączyć ze sobą specjalnymi wiązaniami w peptydy.
W zależności od liczby reszt aminokwasów w łańcuchu peptydowym wyróżniamy: dipeptydy, tripeptydy itd. oraz oligopeptydy (do 20 reszt) i polipeptydy (powyżej 20 reszt). Budowę cząsteczki peptydu określamy, podając sekwencję trójliterowych skrótów nazw aminokwasów.
- Hydroliza peptydów w środowisku kwasowym prowadzi do powstania mieszaniny aminokwasów. Natomiast hydroliza enzymatyczna pozwala na selektywną hydrolizę określonych wiązań peptydowych. Analiza produktów hydrolizy peptydów jest ważną metodą określania składu aminokwasowego peptydu oraz ustalania sekwencji reszt aminokwasów w łańcuchu peptydowym.
- W tak zwanej reakcji biuretovej peptydy składające się z co najmniej trzech reszt aminokwasów tworzą z jonem miedzi(II) w środowisku zasadowym związki kompleksowe o barwie fioletowej.

Białka

- **Struktura białek** – patrz s. 17
- **Reakcje białek** – patrz s. 24

Cukry

- **Cukry proste** – patrz s. 34
- **Właściwości i znaczenie cukrów prostych** – patrz s. 41
- **Disacharydy** – patrz s. 47
- **Polisacharydy** – patrz s. 56

Chemia wokół nas

- **Włókna naturalne** – patrz s. 69
- **Włókna sztuczne i syntetyczne** – patrz s. 79
- **Środki czystości i kosmetyki** – patrz s. 91
- **Substancje o działaniu leczniczym i toksycznym** – patrz s. 103
- **Chemia napojów i żywności** – patrz s. 118
- **Odpady stałe i ich utylizacja** – patrz s. 127

Elementy ochrony środowiska

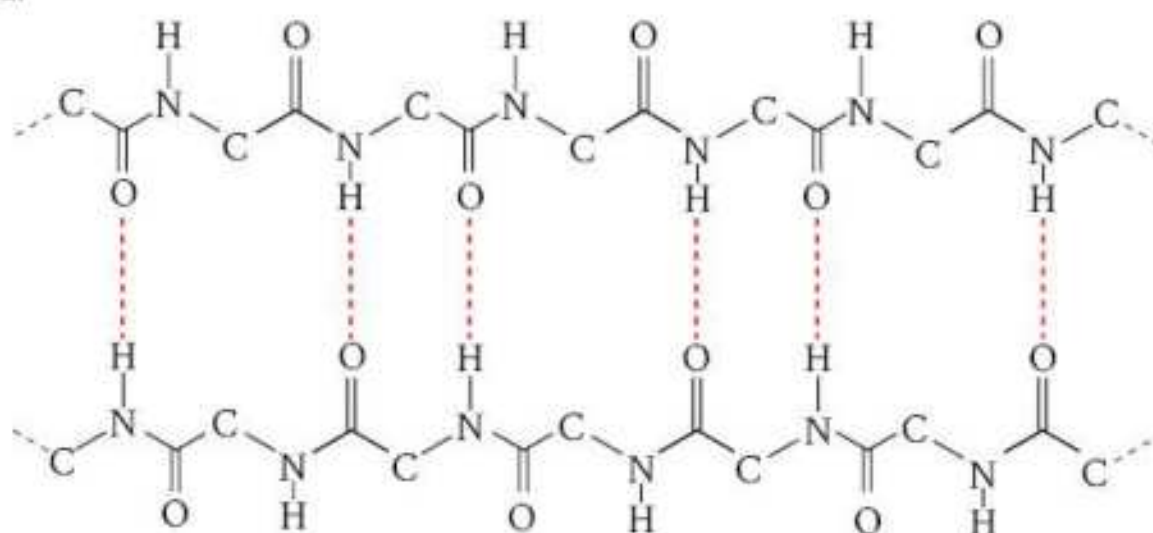
- **Ochrona atmosfery** – patrz s. 143
- **Ochrona wód naturalnych** – patrz s. 151
- **Ochrona środowiska lądowego** – patrz s. 160
- **Chemia a środowisko** – patrz s. 171

Odpowiedzi do wybranych zadań

I Białka

1. Struktura białek

2.



5. cztery

6.

Aminokwas	Mostek disiarczkowy	Mostek solny	Wiązania wodorowe	Oddziaływania hydrofobowe
cysteina	+	-	-	+
lizyna	-	+	+	-
tyrozyna	-	-	+	-
fenyloalanina	-	-	-	+
kwas asparaginowy	-	+	+	-

7.

	Struktura			
	pierwszo-rzędowa	drugo-rzędowa	trzecio-rzędowa	czwarto-rzędowa
Skreślenie fragmentów łańcucha polipeptydowego w helisie alfa.	-	+	-	-
Sekwencja 141 aminokwasów w podjednostce alfa.	+	-	-	-
Globularny kształt podjednostek alfa i beta.	-	-	+	-
Połączenie dwóch podjednostek alfa i dwóch podjednostek beta w cząsteczkę hemoglobiny.	-	-	-	+
Umieszczenie reszt aminokwasowych o charakterze hydrofilowym na powierzchni cząsteczki.	-	-	+	-

8. a) hydrofobowe; b) mostek disiarczkowy, hydrofobowe; c) wiązanie wodorowe; d) mostek solny, wiązanie wodorowe

9. na powierzchni: seryna, lizyna, kwas glutaminowy; wewnątrz: fenyloalanina, cysteina

2. Reakcje białek

2. a) wysoka temperatura, alkohole, kwasy, zasady, sole; b) sole metali ciężkich; c) kwasy, zasady, sole
3. Jony metali ciężkich oddziałują z mostkami disiarczkowymi i zmieniają kształt cząsteczek białka, co powoduje jego dezaktywację. Uszkodzone w ten sposób białko nie może pełnić swojej funkcji biologicznej.
4. denaturacja białek mikroorganizmów
5. a) reakcja ksantoproteinowa (ze stężonym kwasem azotowym(V)); b) reakcja biuretowa
6. Skóra przyjmie żółte zabarwienie.

Sprawdź, czy umiesz!

1. Aminokwas – związek organiczny zawierający w cząsteczce grupę aminową i karboksylową. Peptyd – związek o liniowej cząsteczce złożonej z reszt aminokwasów powiązanych ze sobą wiązaniami peptydowymi. Białko – biomolekuła zbudowana z bardzo długiego łańcucha peptydowego o określonej strukturze przestrzennej (lub składająca się z kilku takich łańcuchów).

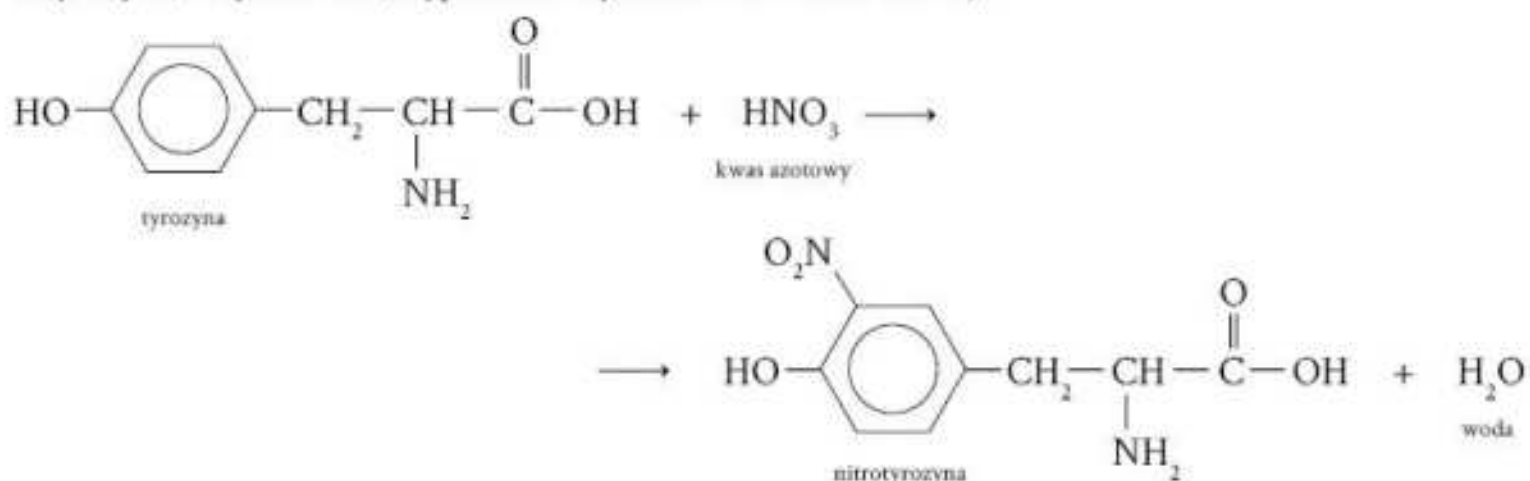
2.

Opis	Struktura			
	pierwszo-rzędowa	drugo-rzędowa	trzecio-rzędowa	czwarto-rzędowa
Cząsteczka insuliny jest zbudowana z dwóch łańcuchów polipeptydowych, łańcucha A i łańcucha B, połączonych dwoma mostkami disiarczkowymi.			+	
Łańcuch A składa się z 21 reszt aminokwasów połączonych wiązaniami peptydowymi.	+			
Dwa fragmenty łańcucha A zwiłają się w spiralę o regularnym kształcie.		+		
Dwie reszty cysteiny zawarte w łańcuchu A tworzą mostek disiarczkowy i spinają fragment łańcucha w pętlę.			+	
N-terminalnym aminokwasem w łańcuchu A jest glicyna, a C-terminalnym – asparagina.	+			
Łańcuch B składa się z 30 reszt aminokwasów połączonych wiązaniami peptydowymi.	+			
Środkowy fragment łańcucha B zwiłają się w spiralę o regularnym kształcie.		+		
N-terminalnym aminokwasem w łańcuchu B jest fenyloalanina, a C-terminalnym – alanina.	+			
Insulina jest magazynowana w organizmie w postaci agregatu złożonego z sześciu cząsteczek insuliny związanych z jednym jodem cynku Zn^{2+} za pomocą grup bocznych reszt histydyny.				+

3. a) wiązania peptydowe; b) wiązania wodorowe; c) mostki disiarczkowe, mostki solne, wiązania wodorowe, oddziaływania hydrofobowe
4. Reszty aminokwasów polarnych są na powierzchni cząsteczki, a niepolarnych – we wnętrzu cząsteczki.
5. a) cysteina – dwie reszty mogą utworzyć mostek disiarczkowy; b) lizyna i kwas asparaginowy – mogą tworzyć między sobą mostek solny, mogą się łączyć również wiązaniami wodorowymi; c) fenyloalanina i leucyna – mogą łączyć się ze sobą na skutek oddziaływań hydrofobowych; d) seryna i treonina – mogą łączyć się ze sobą wiązaniami wodorowymi tworzonymi przez grupy hydroksylowe
6. Etanol w wyższym stężeniu może powodować denaturację białkowych cząsteczek enzymu i w konsekwencji ich dezaktywację.

7. Powstający kwas mlekowy powoduje denaturację białek, które wydzielają się z roztworu w postaci białej, nierozpuszczalnej masy.

8. tyrozyna, fenyloalanina, tryptofan. Przykładowe równanie reakcji:

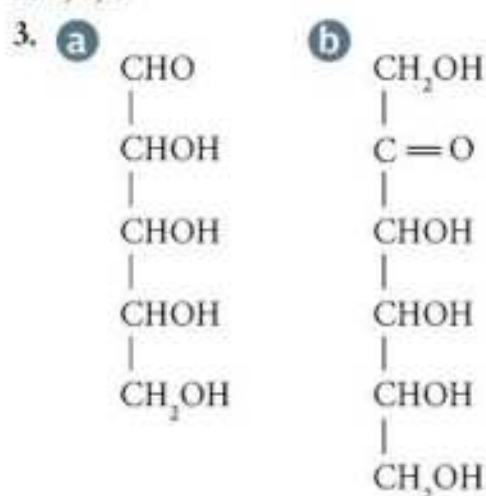


9. b, c, f

II Cukry

1. Cukry proste

2. b, c, d



6. a) F, b) F, c) F, d) P, e) F, f) F, g) F

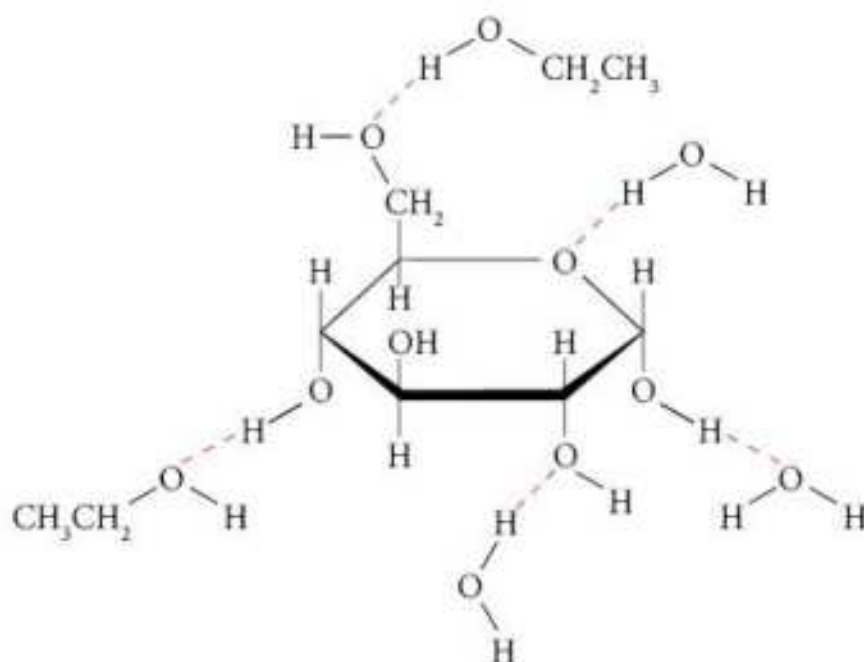
7. łańcuchowa, α -furanaza, β -furanaza, α -piranoza, β -piranoza

8. 6 g

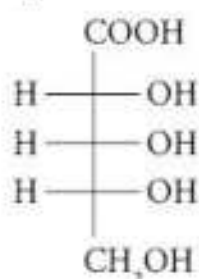
2. Właściwości i znaczenie cukrów prostych

2. 40%, w karmelu procent wagowy węgla będzie wyższy

3.



4.



5. Ketozy reagują z odczynnikiem Tollensa, ponieważ w środowisku zasadowym, w którym zachodzi próba Tollensa, ketozy ulegają izomeryzacji do aldoz.

7. 15,6 kJ; 3,7 kcal · g⁻¹

8. 4,26 g

9. a) wzrośnie 1,4 razy, b) zmaleje 1,7 razy

10. 6,5%, 30 dm³

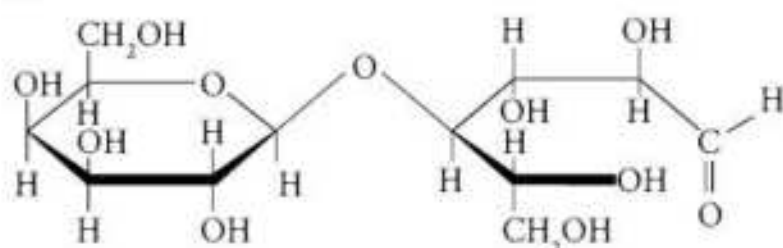
3. Disacharydy

1. C_nH_{2n-2}O_{n-1}

3. a) α-D-glukopiranoza + β-D-glukopiranoza → β-maltoza + woda;

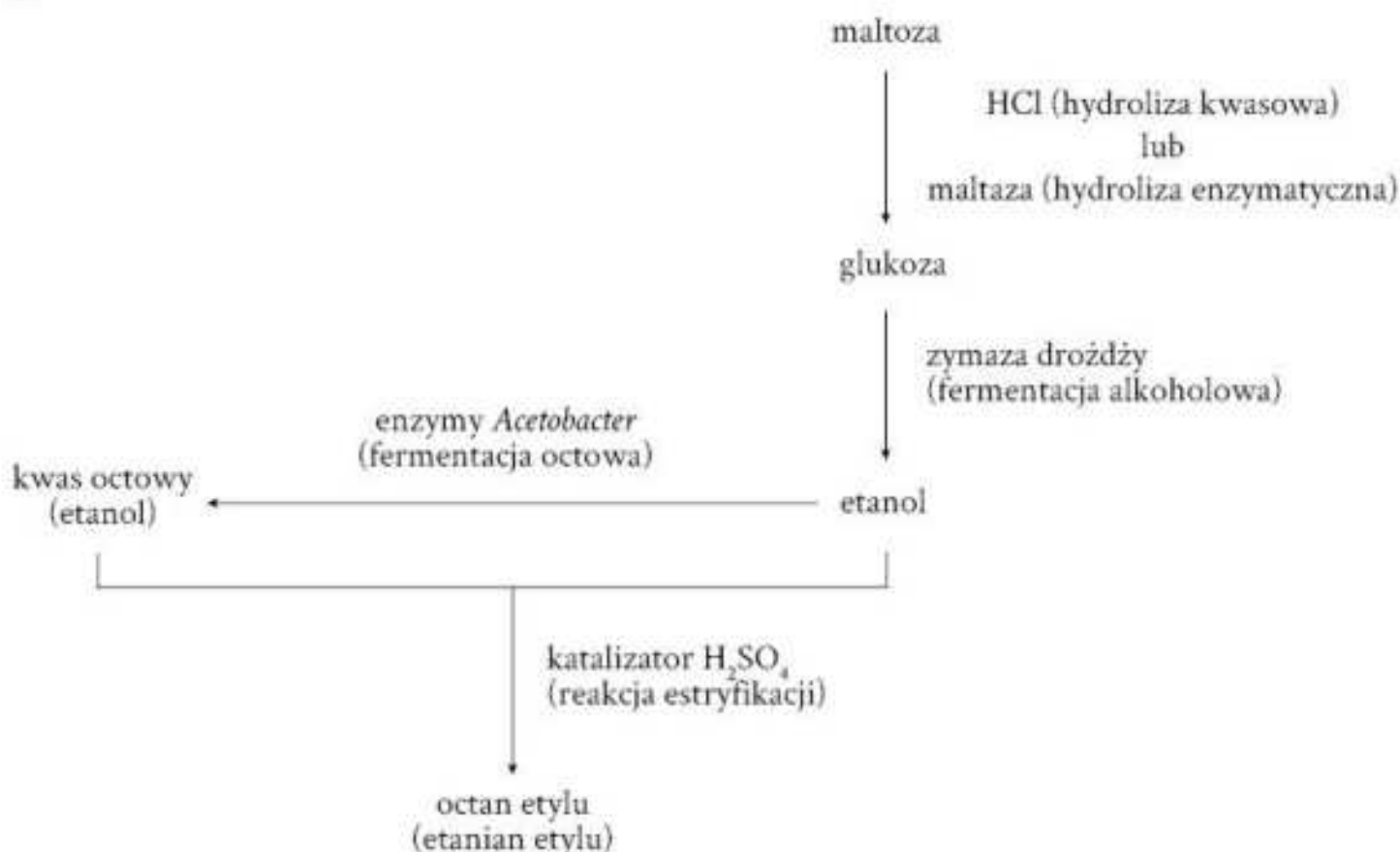
b) α-D-glukopiranoza + β-D-fruktofuranoza → sacharoza + woda

6.



7. a) glukoza, b) glukoza i fruktoza

8.

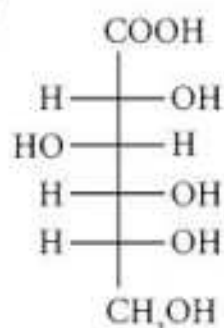


4. Polisacharydy

1. Przy założeniu, że amyloza składa się z n reszt glukozy, wzór przyjmie postać $C_{6n}H_{10+2}O_{5n+1}$, w przybliżeniu $(C_6H_{10}O_5)_n$.
3. 3,7%
4. a) powstawanie białej, nieprzeźroczystej zawiesiny; b) pęcznienie skrobi, gęstnienie roztworu, powstawanie zolu; c) zestalanie się roztworu, powstawanie żelu; d) pojawienie się ciemnognatowego zabarwienia związku addycyjnego skrobi z jodem
5. Należy dodać kroplę roztworu jodu w jodku potasu.
6. W celulozie występują wiązania β -1,4-glikozydowe, reszty glukozy są w formie β -glukopiranozydu. W amylozie natomiast wiązania między resztami glukozy są wiązaniami α -1,4-glikozydowymi, a same reszty glukozy występują w formie α -glukopiranozydu.
7. 453618, w przybliżeniu 453600
8. podobieństwa: polimery złożone z reszt glukozy w formie β -glukopiranozydu połączonych wiązaniami β -1,4-glikozydowymi; liczne grupy hydroksylowe w każdej monomerycznej reszcie, silne oddziaływania między cząsteczkami w wyniku powstawania wielu wiązań wodorowych; różnice: w chitynie obecność grup *N*-acetyloaminowych

Sprawdź, czy umiesz!

1. a) kwas glukonowy

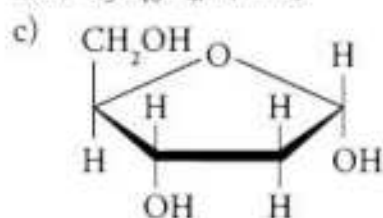


Wydziela się lustro srebrne wskutek redukcji jonów Ag^+ do metalicznego srebra Ag przez glukozę.

b) Powstaje karmel, skład zmienny, wzór chemiczny nieokreślony.

c) Produktami są etanol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ i tlenek węgla(IV) CO_2 , z roztworu glukozy wydzielają się pęcherzyki gazu.

2. a) $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4$; b) nie;



b) 14,7 g CO_2 ; 6,0 g H_2O ; c) 10,7 g O_2 ; d) 155,6 kJ

4. 538 g

5. proste: fruktoza, glukoza; disacharydy: maltoza; polisacharydy: amyloza, celuloza

6. 5,8 g

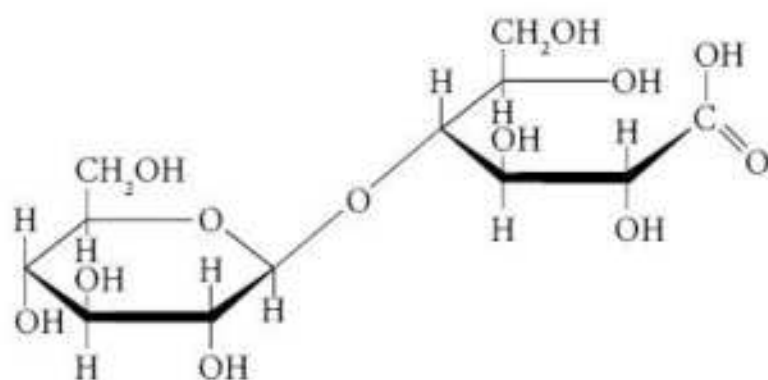
7. a) glukoza;

b) anomer β

Występowanie: glukoza i fruktoza: owoce, warzywa, miód; maltoza: produkt hydrolizy enzymatycznej skrobi; amyloza: nasiona, bulwy, owoce; celuloza: tkanki roślinne, drewno, bawełna;

c) Tak, jej struktura jest podobna do sacharozy, w stosunkowo niewielkiej cząsteczce znajduje się wiele grup hydroksylowych, które mogą tworzyć wiązania wodorowe z cząsteczkami wody.

d)



e) redukujących

8. podobieństwa: polimeryczne cząsteczki, w których reszty glukozy są powiązane wiązaniami glikozydowymi;

różnice: amyloza – reszty glukozy w formie anomerów α , wiązanie α -1,4-glikozydowe

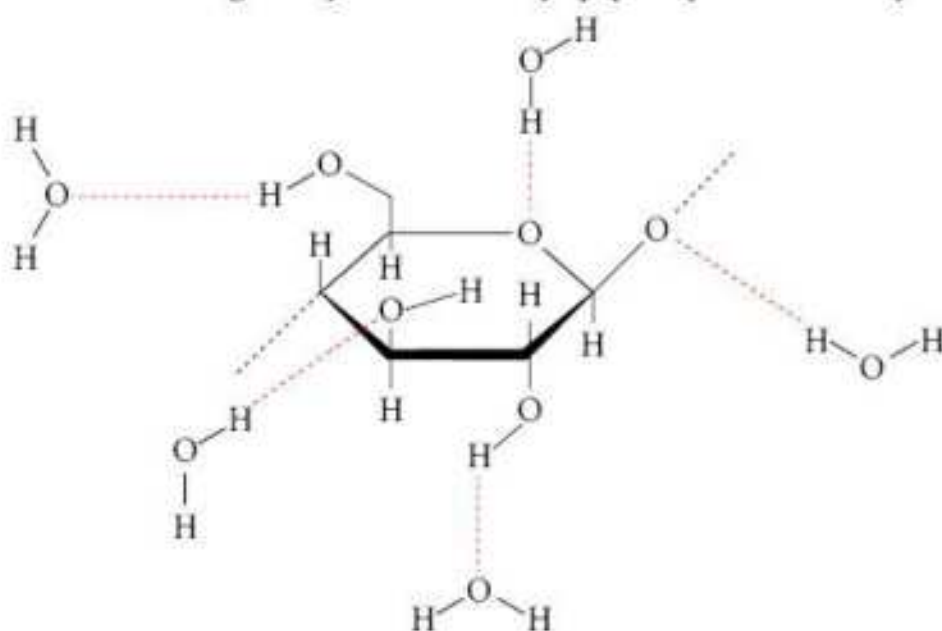
celuloza – reszty glukozy w formie anomerów β , wiązanie β -1,4-glikozydowe

9. b, f, g

III Chemia wokół nas

1. Włókna naturalne

1. Każda reszta glukozy może utworzyć pięć wiązań wodorowych.



2. 139 g wody

3. Jeśli papier jest suchy, cząsteczki celulozowe łączą się wzajemnie za pomocą wiązań wodorowych i w ten sposób tworzą się mocne włókna. Gdy papier namoknie, wiązania wodorowe celuloza–celuloza zostają zastąpione (przynajmniej częściowo) wiązaniami celuloza–woda, co skutkuje osłabieniem struktury włókien celulozowych.

5. Cząsteczki białek zawierają liczne wiązania peptydowe, które mogą hydrolizować pod wpływem kwasów i zasad. To skutkuje skróceniem cząsteczek polipeptydu i osłabieniem właściwości mechanicznych włókien białkowych.

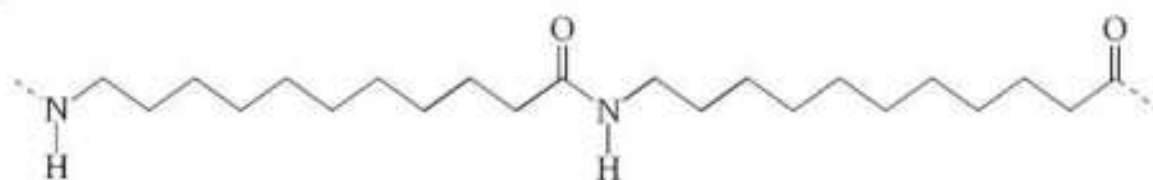
7. 45% C; 6% H; 28% O; 21% N

2. Włókna sztuczne i syntetyczne

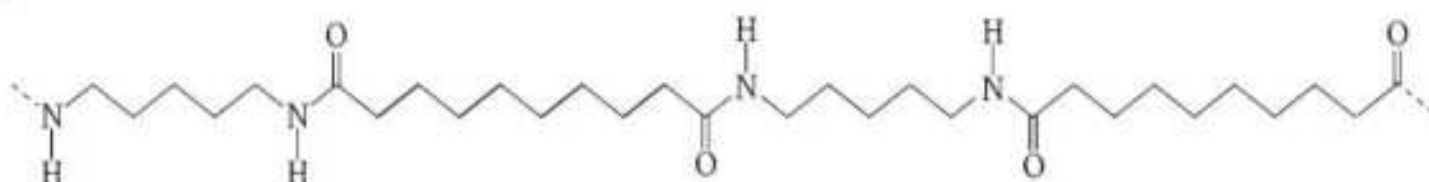
3. Włókno bawełniane jest splecione z wielu mikrowłókien rozpraszających światło, natomiast włókno wiskozowe ma gładką powierzchnię – odbijającą światło.

4. poliestry – nie (hydroliza wiązania estrowego), poliamidy – nie (hydroliza wiązania amidowego), akryle – tak (łańcuch cząsteczki złożony wyłącznie z atomów węgla)

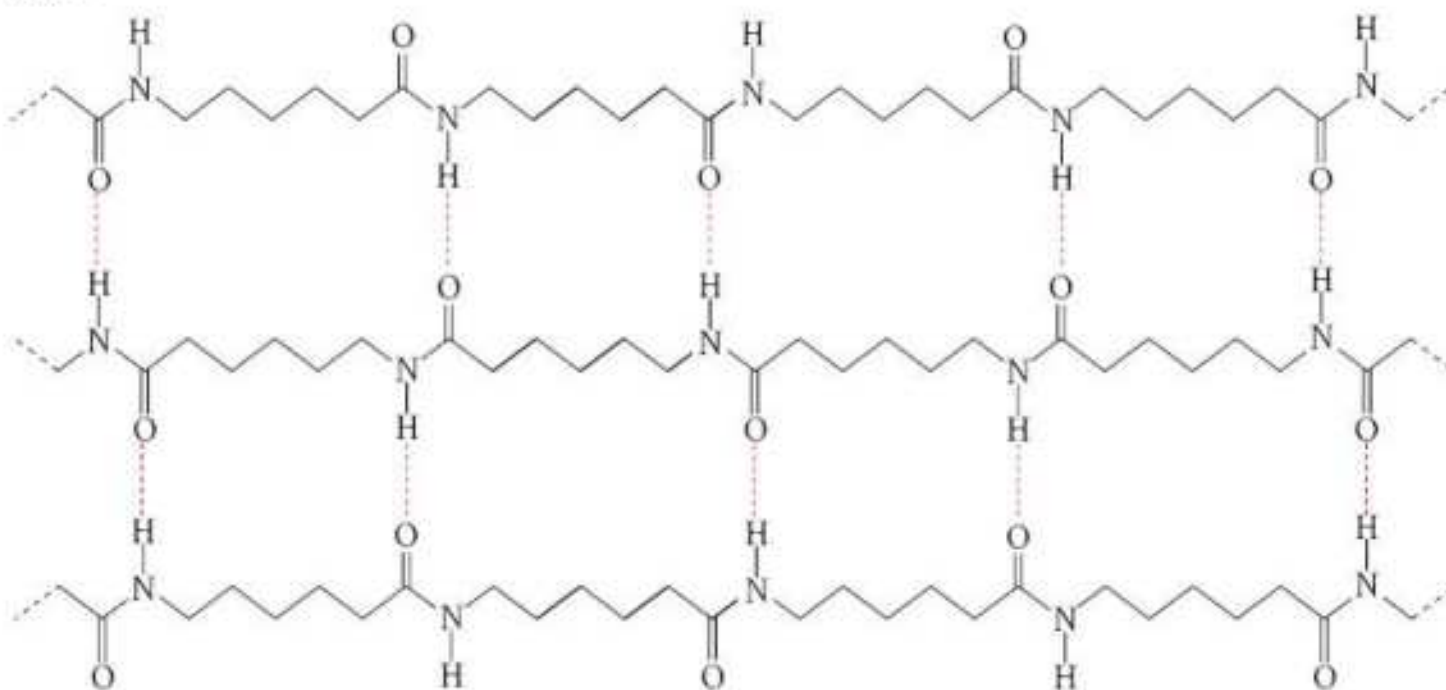
5. a)



b)



6. tak



8. c, a, b

Cząsteczki poliolefin (włókna akrylowe) nie mogą tworzyć wiązań wodorowych z cząsteczkami wody. Cząsteczki celulozy mogą, przy czym włókno lniane ma silnie rozwiniętą powierzchnię (wiele wiązań wodorowych), a wiskozowe ma gładką powierzchnię (mniej wiązań wodorowych).

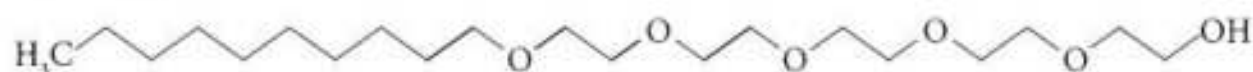
3. Środki czystości i kosmetyki

3. Roztwory mydel mają wysokie pH, co może doprowadzić do uszkodzenia białek włosów.

4. a i c

5. a) Dodeceth-4;

b)



6. Można go wykorzystać jako kationowy środek powierzchniowo czynny.

7.



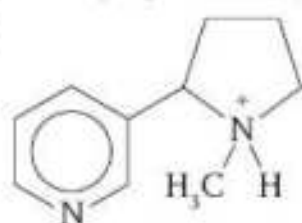
4. Substancje o działaniu leczniczym i toksycznym

2. Powstający w wyniku metabolizmu metanolu kwas mrówkowy nie jest dalej przekształcany w mniej toksyczne produkty.

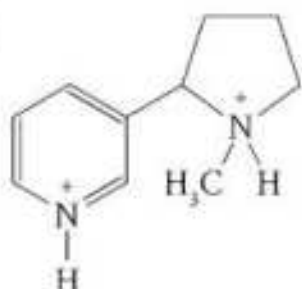
3. a) 0,512 g; b) 0,064 g; c) 0,00000008 g ($8 \cdot 10^{-8}$ g)

4. a) Jest to grupa zawierająca atom azotu wbudowany w pierścień pięcioczłonowy.

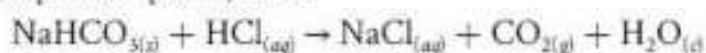
b)



c)



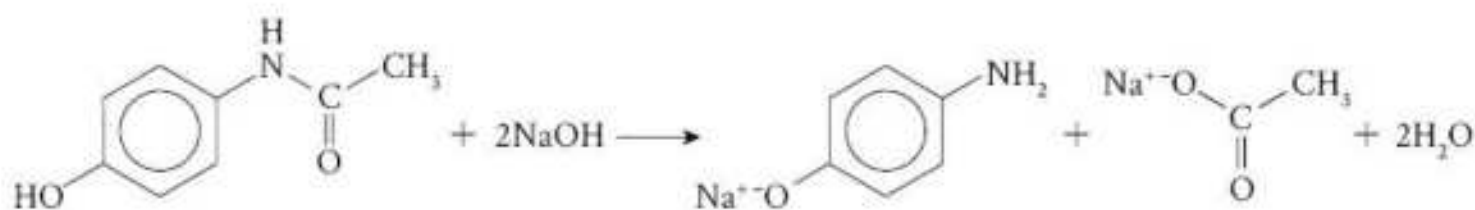
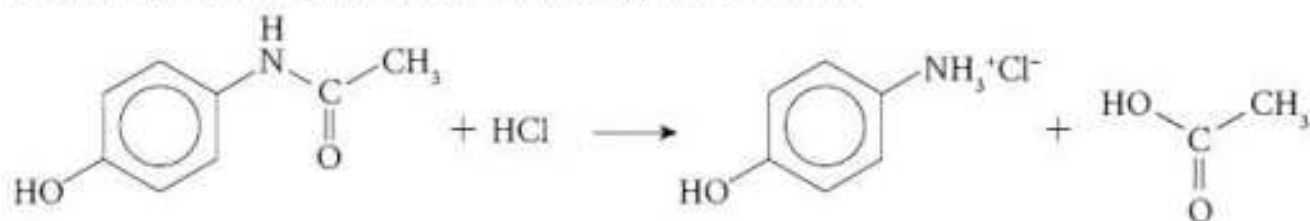
5. Są to związki b, c i e.



6. a) Uszkodzenie śluzówki żołądka. b) Wykształcenie odporności na antybiotyki. c) Wysoka toksyczność tych związków. d) Podczas gdy jeden z enancjomerów ma działanie lecznicze, drugi może mieć działanie szkodliwe.

7. propanolol, penicylina G, ibuprofen, chloramfenikol, metotreksat

8. Paracetamol należy zarówno do amidów, jak i do fenoli.



W żołądku, w środowisku kwasowym, wiązanie amidowe może ulec hydrolizie i część związku ulegnie rozkładowi. W przypadku zastrzyku nie ma takiego niebezpieczeństwa, dlatego będzie bardziej efektywny.

9. amidy: penicylina G, chloramfenikol, metotreksat, diazepam;

fenole: żaden

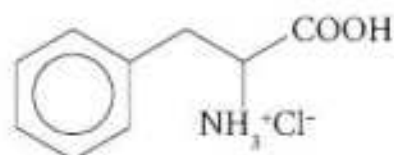
5. Chemia napojów i żywności

1. a) $\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+} + \text{OH}^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$; b) 720 mg/dm³

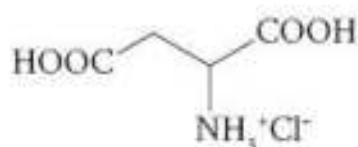
2. 0,3 g

3. W cząsteczce występuje wiązanie peptydowe ulegające hydrolizie w środowisku zarówno kwasowym, jak i zasadowym. Hydrolizie ulegnie również wiązanie estrowe.

a) produkty hydrolizy kwasowej:



chlorek fenylalaninium

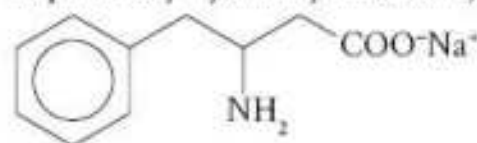


chlorek asparaginium

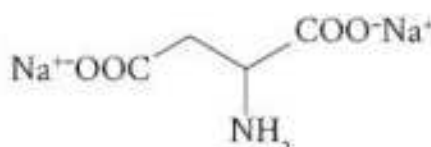


metanol

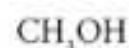
b) produkty hydrolizy zasadowej:



fenylalaninian sodu



asparaginian disodu



metanol

4. a) 121,6 kcal; b) 73,0 kcal

5. 10,2%

6. Białka mleka ulegają denaturacji pod wpływem kwasu mlekowego.

6. Odpady stałe i ich utylizacja

2. a) 7357 kJ; b) 264 kg

3. a) 20,4 g; b) 129,1 g; c) Słoik szklany jest 6,3 razy cięższy niż puszka stalowa o tej samej pojemności.

5. 144 kg azotanu potasu

6. $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n + 6n\text{O}_{2(g)} \rightarrow 6n\text{CO}_{2(g)} + 5n\text{H}_2\text{O}_{(l)}$

7. ok. 1,4 tony CO_2

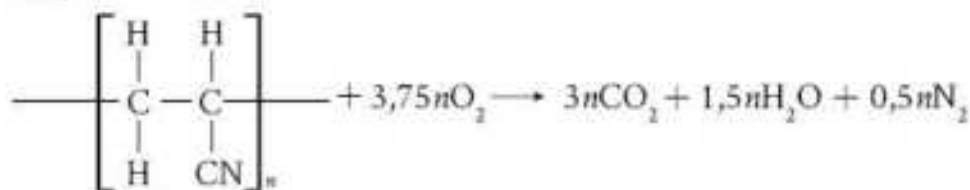
Sprawdź, czy umiesz!

1. – raczej szybko: c, f

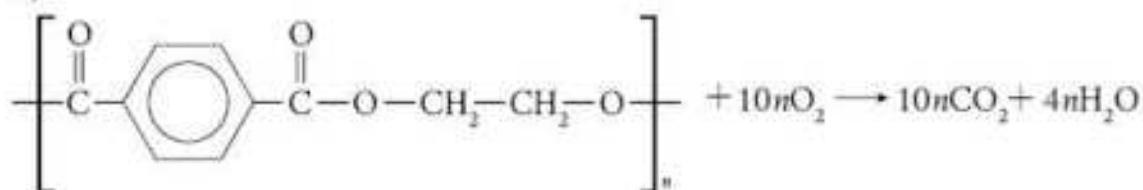
– wolniej: a, b, e, g

– brak oznak: d

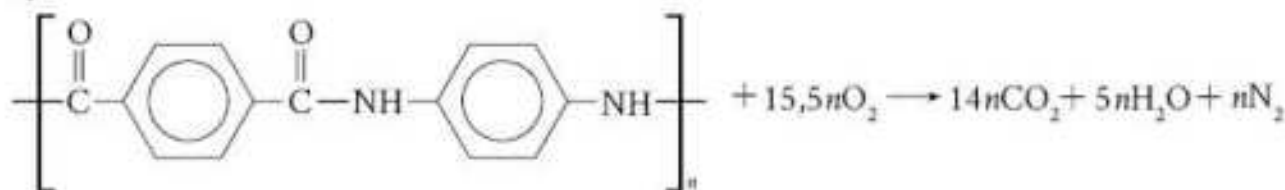
2. a)



b)



c)



3. a) środek powierzchniowo czynny; b) baza tłuszczowa; c) środek powierzchniowo czynny, emulgator; d) przeciwutleniacz, farmaceutyk; e) środek nawilżający; f) baza tłuszczowa

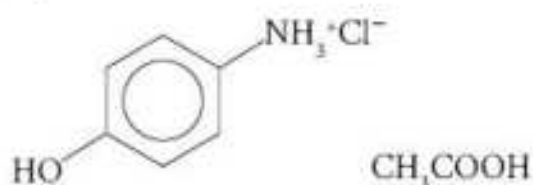
4. hydroksyapatyt: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_{2(s)} \rightleftharpoons 10\text{Ca}^{2+}_{(aq)} + 6\text{PO}_4^{3-}_{(aq)} + 2\text{OH}^{-}_{(aq)}$

fluoroapatyt: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_{2(s)} \rightleftharpoons 10\text{Ca}^{2+}_{(aq)} + 6\text{PO}_4^{3-}_{(aq)} + 2\text{F}^{-}_{(aq)}$

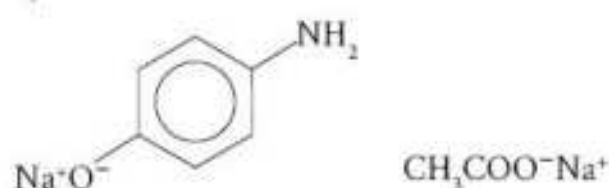
Jony wodorotlenkowe zostają zastąpione przez jony fluorkowe, a hydroksyapatyt zostaje przekształcony we fluoroapatyt. Dysocjacja fluoroapatytu nie prowadzi do powstania jonów, których stężenie zależy od obecności kwasów. Zatem szkliwo chronione na powierzchni fluoroapatytem nie będzie uszkodzone przez kwasy.

5. a) nie, w takim przypadku człowiek spożyje 7,5 mg fluorku sodu; b) 3,6 g; c) 1440 g

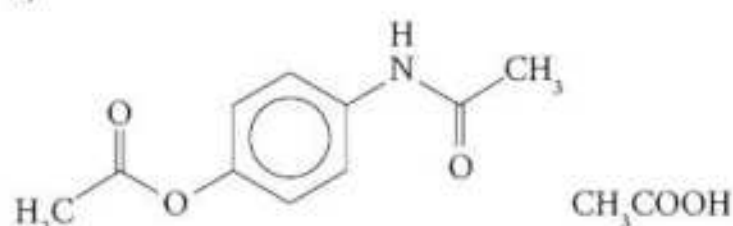
6. a)



b)



c)



7. Nie, ponieważ jest wodą bardzo twardą ze względu na obecność jonów Mg²⁺ i Ca²⁺.

8. etanol, kwas octowy, kwas mlekowy, kwas cytrynowy, kwas propionowy

9. Cząsteczki barwników organicznych, podobnie jak cząsteczki tłuszczów, zawierają wiele podwójnych wiązań C=C, które mogą reagować z tlenem. W rezultacie tych reakcji barwniki zmieniają barwę. Przeciwwutleniacze zapobiegają ich zachodzeniu.

10. Nie tracą właściwości: metale, szkło. Pogarszają właściwości: papier, tworzywa sztuczne.

IV Elementy ochrony środowiska

1. Ochrona atmosfery

1. a) 9,35 mol; b) 299 g

3. a) 62 700 kJ; b) 1,91 m³; c) 1260 kg

4. a) $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_{3(s)} + 4\text{H}^+_{(aq)} \rightarrow 2\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + \text{CO}_{2(g)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(l)}$

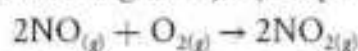
b) $2\text{Al}_{(s)} + 6\text{H}^+_{(aq)} \rightarrow 2\text{Al}^{3+}_{(aq)} + 3\text{H}_{2(g)}$

c) $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + 4\text{H}^+_{(aq)} \rightarrow \text{Ca}^{2+}_{(aq)} + \text{Mg}^{2+}_{(aq)} + 2\text{CO}_{2(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$

d) $\text{CaCO}_3 + \text{H}^+_{(aq)} \rightarrow \text{Ca}^{2+}_{(aq)} + \text{CO}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$

e) $\text{PbO}_{(s)} + 2\text{H}^+_{(aq)} \rightarrow \text{Pb}^{2+}_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$

6. W smogu znajduje się tlenek azotu(IV) NO₂ o barwie brunatnej, który powstaje w reakcji:



7. a) Wiązania C-H i C-F są na tyle mocne, że nie ulegają rozerwaniu pod wpływem promieniowania UV, więc nie powstają rodniki zapoczątkowujące reakcję rozkładu ozonu.

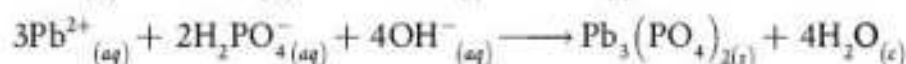
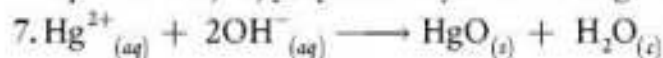
b) Halony będą jeszcze silniej niszczyć ozon, gdyż wiązania C-Br są słabe i z łatwością ulegną rozerwaniu pod wpływem promieniowania UV.

2. Ochrona wód naturalnych

2. Morze Weddella: sływ wody z topniejących lodów Antarktydy oraz niskie parowanie – zasolenie poniżej średniej.

Zatoka Perska: brak ujść większych rzek, wysokie parowanie – zasolenie powyżej średniej

3. $BZT_5 = 0,8 \text{ mg/dm}^3$, woda bardzo czysta, ryby mogą swobodnie oddychać.
5. a (w niższej temperaturze rozpuszczalność tlenu w wodzie rośnie), c (podczas burzliwego przepływu następuje szybkie nasycenie wody rozpuszczonymi gazami wskutek rozwinięcia powierzchni kontaktu między fazą ciekłą i gazową), d (nastąpi spadek stężenia tlenu w wyniku eutrofizacji), e (w ściekach z pralni znajdują się zanieczyszczenia organiczne powodujące obniżenie stężenia rozpuszczonego tlenu)

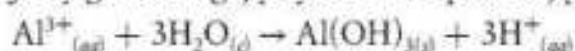


3. Ochrona środowiska lądowego

1. a) gliniasta; b) czarnoziem; c) piaszczysta; d) piaszczysta

2. a) 426 cm^3 ; b) 1946 g

3. Jony glinu ulegają hydrolizie i powstają jony wodorowe:



4. Azotany są znacznie lepiej rozpuszczalne w wodzie niż fosforany, słabiej się również adsorbują w glebie.

5. 98,4%

4. Chemia a środowisko

4. a) 5, również 3, 4, 7 i 12; b) 2, również 1 i 6; c) 10, również 1; d) 4, również 7

5. a) 90,7%; b) 82,6%

6. przede wszystkim 3, 5 i 10

Sprawdź, czy umiesz!

1. a) 487 kg; b) 1429 kg; c) 974 kg

2. 22,4 kg

3. $d < e < c = a < b$; najbogatszy w tlen typ wody – woda: b

4. ok. 38%

5. 4 tygodnie

6. a) stara technologia: 31,1%, nowa technologia 28,8%; b) Odpady nie są uciążliwe, nie występuje bezpośrednie zagrożenie dla zdrowia. c) Ekonomia atomów jest nieco niższa, technologia zużywa nieodnawialny surowiec – węgiel, występuje emisja gazu cieplarnianego CO_2 do atmosfery, reakcja jest wieloetapowa, można się więc spodziewać niższej wydajności.

Indeks

A

α -D-fruktofuranoza 33
 α -D-glukopiranoza 32
 α -D-glukopiranozyd 43, 49
adsorpcja 153
aldoza 28, 30, 34, 39, 41
alkohol 84
amfifilowy charakter 81, 86, 128
amoniak 84
amylaza 111
amylopektyna 48, 49, 57
amyloza 48, 49, 57
anomer 32, 34, 57
anomeryczny atom węgla 42
antybiotyk 97, 100, 103
aspartam 106, 116
aspiryna 98, 99, 103
atmosfera 132, 133, 136, 137, 140, 143, 172

B

β -bloker 97
 β -D-fruktofuranoza 33, 54
 β -D-fruktofuranozyd 43
 β -D-glukopiranoza 32
 β -glukopiranozyd 52
benzoesan sodu 115
białko 8, 17, 81, 107
 globularne 14
 harmonijka beta 10
 helisa alfa 10
 struktura
 czwartorzędowa 8, 15, 17, 25
 drugorzędowa 8, 10, 17, 25
 pierwszorzędowa 8, 17, 25
 trzeciorzędowa 8, 11, 17, 25
biodegradacja 121
biodegradowalność 166
biodiesel 168
botulina 96, 112
broń chemiczna 94

C

celobioza 53
celuloza 52, 53, 56, 57, 61, 62, 69, 70, 79
centrum chiralności (stereogeniczne) 29, 34, 57
chinon 107
chityna 54, 55
chloramfenikol 98
chloran(I) sodu 81
cisplatyna 98
CoolMax® 77
cukier 27, 34, 57
 prosty 28, 41
 redukujący 45
cyklon 136

czarnoziem 153, 154

D

dawka śmiertelna 95, 103, 128
dekstryna 51
denaturacja 19, 24, 25, 112
detergent 81, 84, 87, 91, 128
 anionowy 82, 83, 91
 kationowy 82, 83, 91
 niejonowy 82, 83, 91
D-fruktopiranoza 33
D-fruktoza 32
D-galaktoza 33
D-glukoza 32, 33
diazepam 98
disacharyd 42, 44, 45, 47, 51, 57
dodatki do żywności 115
drożdże 109, 110
dziura ozonowa 140, 143

E

efekt
 cieplarniany 132, 133, 134, 143, 162, 172
 toksyczny 93, 103
emulsja 88
enancjomer 29, 101, 103
energia cieplna 162
ester etylowy 109
etanol 96, 109, 110, 111
eutrofizacja 149, 156, 172

F

fermentacja 128
 alkoholowa 40, 109, 111
 mlekowa 109, 112
 octowa 109, 111
 propionowa 112
fibroina 66, 67, 69
fotosynteza 39, 41, 133
freony 140, 142, 143, 172
fruktoza 40
furanoza 31, 34, 57

G

galaktoza 108
gleba 152, 154, 155, 172
 ciężka 152
 gliniasta 153
 kwaśna 156
 lekka 152
 obojętna 156
 piaszczysta 153
glikogen 54
globalne ocieplenie 134, 143, 162
glukoza 38, 39, 40, 41, 43, 47, 51, 57, 108, 110
glutaminian sodu 116

gluten 111
 grupa
 aldehydowa 37, 41, 45
 hydroksylowa 70
 guma arabska 101

H
 harmonijka beta 67, 69
 heksoza 30, 34
 helisa alfa 66
 hemiacetal 31
 herbata 106, 107
 humus 154
 hydroliza 21, 24, 25, 91, 108
 zasadowa 80, 81

I
 ibuprofen 98, 100
 infekcja oportunistyczna 100
 insektycyd 157, 158
 inulina 54

J
 jedwab 66, 68
 jętczenie tłuszczów 113
 jony
 azotanowe(V) 149
 fosforanowe(V) 149

K
 karmelizacja 41, 44
 katalizator 166
 samochodowy 139
 katechina 107
 kawa 106
 kazeina 107
 keratyna 9, 65, 66, 69
 ketoza 28, 34, 39
 kevlar 75
 koagulacja 18, 19, 21, 24
 kofeina 106, 107
 kolagen 9
 kompostowanie 122
 konserwant 113, 115, 128
 korozja 137
 kreda 83
 kwas
 askorbinowy 40, 114, 116
 benzoesowy 115
 cytrynowy 40, 84, 106, 111, 116
 fosforowy(V) 106
 jabłkowy 109
 mlekowy 40, 84, 112
 octowy 40, 112
 propionowy 112
 solny 84
 sorbowy 115
 winowy 109
 kwaśne deszcze 135, 136, 137, 143, 162, 172

L
 laktaza 108
 laktoza 43, 46, 101, 107, 108
 lanolina 88, 89
 leki 97
 przeciwnowotworowe 100
 lignina 64

M
 maltaza 110
 maltoza 43, 45, 46, 47, 51, 57, 110
 maślan butylu 116
 metale 120, 127
 metan 135
 metanol 96
 metotreksat 98
 metyloceluloza 101
 micela 82, 88
 mleko 107, 108
 monostearynian sorbitanu 117
 mostek
 disiarczkowy 11
 solny 13
 mydło 82, 86

N
 nadkwaśność 107
 nadtlenek sodu 81
 nawozy
 azotowe 156
 fosforowe 157
 sztuczne 156, 172
 neurotoksyna 94, 96
 niesteroidowe leki przeciwzapalne 99, 103
 nikotyna 96
 nylon 77
 nylon-6 75
 nylon-6,6 74

O
 ocet
 spirytusowy 111
 winny 111
 oczyszczanie
 biologiczne 147
 chemiczne 150
 oddziaływanie hydrofobowe 14
 odnawialne źródła energii 163
 odpady
 organiczne 122, 127, 128
 stałe 119
 zmieszane 123, 127
 ozon 140, 141, 142, 143, 172

P
 paliwo
 alternatywne 168
 kopalne 134, 143, 162, 172
 papier 64, 65, 69, 119, 127
 z recyklingu 65

paracetamol 98, 100
 parametr BZT₅ 147
 pasteryzacja 113
 penicylina 97, 100
 pentoza 30, 34
 pepsyna 112
 pestycyd 157
 piranoza 31, 34, 57
 piwo 110
 płyn do kąpieli 86
 podpuszczka 112
 polar 77
 poliamid 74
 polieten 78
 polietylen, PE 121
 polilaktyd 166
 polipropen 78
 polipropylen, PP 121
 polisacharyd 48, 56, 57, 81
 polistyren, PS 121
 poli(tereftalan etylenu) (PET) 73, 120
 powietrze 132
 projekcja Hawortha 32, 33
 promieniowanie
 jonizacyjne 113
 UV 140
 propanolol 97
 próba
 Tollensa 37, 47
 Trommera 38, 45, 47
 próchnica 88
 przeciwutleniacz 107, 113, 115, 128

R

reakcja
 biuretowa 22, 23, 24, 25
 ksantoproteinowa 23, 24, 25, 68
 recykling 119, 127, 128
 równowaga elektrolitów 105
 ryboza 40, 41

S

sacharoza 42, 43, 44, 45, 46, 47, 57
 składowiska odpadów 124
 skrobia 43, 48, 49, 50, 51, 56, 57, 101, 111
 słodzik 106
 słodzone napoje 106
 sól 110
 smog 135, 138, 143, 172
 fotochemiczny 138, 139
 londyński 139
 typu londyńskiego 138
 solenie 113
 sorbinian sodu 115
 substancje organiczne 172
 suszenie 113
 szampon 86
 szkło 119, 127

Ś

środki powierzchniowo czynne 85, 86, 87, 88, 91, 128

T

tartrazyna 116
 tetroza 30, 34
 Thinsulate™ 77
 tlen 146
 tlenek
 azotu(II) 136, 139
 siarki(IV) 136
 węglu(IV) 133, 134, 135, 143, 144, 162, 172
 tłuszcz 80, 82, 90, 107
 toksyna 99
 torf 154
 trioza 28, 34
 trucizna 93, 95

U

utylizacja 166, 168
 odpadów 125

W

warstwa ozonowa 140, 141, 142
 wętna 65, 68
 węgiel 99
 węglan wapnia 137
 wiązanie
 α -1,4-glikozydowe 49, 54
 α -1,6-glikozydowe 49, 54
 α -glikozydowe 53, 56
 amidowe 74, 79
 β -1,4-glikozydowe 52
 β -2,1-glikozydowe 54
 β -glikozydowe 53, 56
 disiarczkowe 69
 estrowe 79
 glikozydowe 45, 47
 hydrofobowe 69
 O-glikozydowe 42
 peptydowe 8, 10, 25
 wodorowe 13, 75, 79, 154
 wietrzenie skał 152
 wino 109
 białe 109
 czerwone 109
 wiskoza 71, 79
 włókno
 agawy 63
 akrylowe 76, 78
 bawełniane 60, 69
 białkowe 65, 68, 69
 celulozowe 62, 64
 juty 63
 konopi 63
 konopne 69
 lniane 69
 lnu 63

- naturalne 128
- poliestrowe 73, 76
- poliolefinowe 78
- syntetyczne 76, 79, 128
- sztuczne 70, 77, 79, 128
- wełniane 68
- woda 104, 153
 - deszczowa 144
 - morska 145
 - słodka 145
- wodorotlenek sodu 81
- wosk 84, 90
- wysalanie 20, 24, 25
- wzór
 - Fischera 29
 - taflowy 31, 33

Z

- zasoby nieodnawialne 162
- zgaga 99
- zielona chemia 163, 167, 168
- zrównoważony rozwój 161, 162, 172
- związek chiralny 100
- związki organiczne 146
- zymaza 109, 110

Ż

- żelatyna 101, 116
- żel krzemionkowy 83

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I A	II A	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A	IB	II B	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B	IX B	X B
1 H wodor 1,008 1 ⁰	2 He hel 4,003 1 ⁰	3 Li lit 6,94 [He]2s ¹	4 Be berył 9,012 [He]2s ²	5 B bor 10,81 [He]2s ² 2p ¹	6 C węgiel 12,011 [He]2s ² 2p ²	7 N azot 14,007 [He]2s ² 2p ³	8 O tlen 15,999 [He]2s ² 2p ⁴	9 F fluor 18,998 [He]2s ² 2p ⁵	10 Ne neon 20,18 [He]2s ² 2p ⁶	11 Na sód 22,99 [Ne]3s ¹	12 Mg magnez 24,305 [Ne]3s ²	13 Al glin 26,98 [Ne]3s ² 3p ¹	14 Si krzem 28,085 [Ne]3s ² 3p ²	15 P fosfor 30,974 [Ne]3s ² 3p ³	16 S siarka 32,06 [Ne]3s ² 3p ⁴	17 Cl chlor 35,45 [Ne]3s ² 3p ⁵	18 Ar argon 39,95 [Ne]3s ² 3p ⁶
19 K potas 39,098 [Ar]4s ¹	20 Ca wapń 40,078 [Ar]4s ²	21 Sc skand 44,956 [Ar]3d ¹ 4s ²	22 Ti tytan 47,867 [Ar]3d ² 4s ²	23 V wanad 50,942 [Ar]3d ³ 4s ²	24 Cr chrom 51,996 [Ar]3d ⁵ 4s ¹	25 Mn mangan 54,938 [Ar]3d ⁵ 4s ²	26 Fe żelazo 55,845 [Ar]3d ⁶ 4s ²	27 Co kobalt 58,933 [Ar]3d ⁷ 4s ²	28 Ni nikiel 58,693 [Ar]3d ⁸ 4s ²	29 Cu miedź 63,546 [Ar]3d ¹⁰ 4s ¹	30 Zn cynk 65,382 [Ar]3d ¹⁰ 4s ²	31 Ga gal 69,723 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ¹	32 Ge german 72,630 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ²	33 As arsen 74,922 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ³	34 Se selen 78,971 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁴	35 Br brom 79,904 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁵	36 Kr krypton 83,798 [Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶
37 Rb rubid 85,468 [Kr]5s ¹	38 Sr stront 87,62 [Kr]5s ²	39 Y itry 88,906 [Kr]4d ¹ 5s ²	40 Zr cyrkon 91,224 [Kr]4d ² 5s ²	41 Nb niob 92,906 [Kr]4d ⁴ 5s ¹	42 Mo molibden 95,94 [Kr]4d ⁵ 5s ¹	43 Tc technet 98,906 [Kr]4d ⁵ 5s ²	44 Ru ruten 101,07 [Kr]4d ⁷ 5s ¹	45 Rh rod 102,91 [Kr]4d ⁸ 5s ¹	46 Pd pallad 106,42 [Kr]4d ¹⁰	47 Ag srebro 107,87 [Kr]4d ¹⁰ 5s ¹	48 Cd kadm 112,41 [Kr]4d ¹⁰ 5s ²	49 In ind 114,82 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ¹	50 Sn cyna 118,71 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ²	51 Sb antymon 121,76 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ³	52 Te tellur 127,6 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁴	53 I jod 126,9 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁵	54 Xe ksenon 131,29 [Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ⁶
55 Cs cez 132,91 [Xe]6s ¹	56 Ba bar 137,327 [Xe]6s ²	57-71 La-Lu lantanowce	72 Hf hafn 178,49 [Xe]4f ¹⁴ 5d ² 6s ²	73 Ta tantal 180,95 [Xe]4f ¹⁴ 5d ³ 6s ²	74 W wolfram 183,84 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ²	75 Re ren 186,201 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ²	76 Os osm 190,23 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ²	77 Ir iryd 192,22 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ²	78 Pt platyna 195,08 [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹	79 Au złoto 196,97 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹	80 Hg rtęć 200,59 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	81 Tl tal 204,38 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹	82 Pb ołow 207,2 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	83 Bi bismut 208,98 [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³	84 Po polon [209] [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁴	85 At astat [209] [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁵	86 Rn radon [222] [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ⁶
87 Fr franc [223] [Rn]7s ¹	88 Ra rad [226] [Rn]7s ²	89-103 Ac-Lr aktynowce	104 Rf rutherford [261] [Rn]5f ¹⁴ 6d ² 7s ²	105 Db dubn [262] [Rn]5f ¹⁴ 6d ³ 7s ²	106 Sg seaborg [266] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁴ 7s ²	107 Bh bohler [267] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁵ 7s ²	108 Hs has [277] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁶ 7s ²	109 Mt meitner [276] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ²	110 Ds darmstadt [281] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁸ 7s ²	111 Rg roentgen [289] [Rn]5f ¹⁴ 6d ⁹ 7s ²	112 Cn copernicjum [285] [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	113 Nh nihonium [286] [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ¹	114 Fl flerowium [289] [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ²	115 Mc moscovium [288] [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ³	116 Lv livermorium [293] [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁴	117 Ts tennessin [294] [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁵	118 Og oganeson [294] [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² 7p ⁶

Elektryczność (wg Paulinga)

Wartościowość (typowa, - rzadziej spójnikowa)

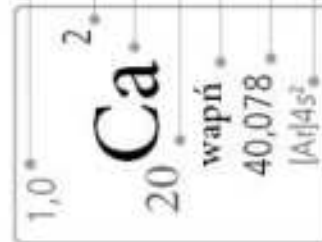
Symbol chemiczny (ciężka stała, lekka, gaz)

Liczba atomowa

Nazwa pierwiastka

Masa atomowa

Konfiguracja elektronowa



1,1 57 La lantan 138,91 [Xe]5d ¹ 6s ²	1,1 58 Ce ce 140,12 [Xe]4f ¹ 5d ¹ 6s ²	1,1 59 Pr praseodym 140,91 [Xe]4f ³ 6s ²	1,2 60 Nd neodym 144,24 [Xe]4f ⁴ 6s ²	1,2 61 Pm promet [144,913] [Xe]4f ⁵ 6s ²	1,2 62 Sm samaryt 150,36 [Xe]4f ⁶ 6s ²	1,2 63 Eu europ 151,96 [Xe]4f ⁷ 6s ²	1,2 64 Gd gadolin 157,25 [Xe]4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	1,2 65 Tb terb 158,93 [Xe]4f ⁹ 6s ²	1,2 66 Dy dyzproz 162,5 [Xe]4f ¹⁰ 6s ²	1,2 67 Ho holm 164,93 [Xe]4f ¹¹ 6s ²	1,2 68 Er erb 167,26 [Xe]4f ¹² 6s ²	1,2 69 Tm tul 168,93 [Xe]4f ¹³ 6s ²	1,2 70 Yb ytterb 173,05 [Xe]4f ¹⁴ 6s ²	1,2 71 Lu lutet 174,97 [Xe]4f ¹⁴ 6s ²
1,1 89 Ac aktyn [227,028] [Rn]6d ¹ 7s ²	1,1 90 Th tor 232,04 [Rn]6d ² 7s ²	1,1 91 Pa protaktyn 231,04 [Rn]5f ² 6d ¹ 7s ²	1,1 92 U uran 238,03 [Rn]5f ³ 6d ¹ 7s ²	1,1 93 Np neptun [237,048] [Rn]5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	1,1 94 Pu pluton [244,064] [Rn]5f ⁶ 6d ¹ 7s ²	1,1 95 Am ameryk [243,061] [Rn]5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	1,1 96 Cm kury [247,07] [Rn]5f ⁷ 6d ² 7s ²	1,1 97 Bk berkel [247,07] [Rn]5f ⁷ 6d ³ 7s ²	1,1 98 Cf kaliforn [251,08] [Rn]5f ¹⁰ 6d ¹ 7s ²	1,1 99 Es einstein [252,083] [Rn]5f ¹¹ 6d ¹ 7s ²	1,1 100 Fm ferm [257,09] [Rn]5f ¹² 6d ¹ 7s ²	1,1 101 Md mendelw [258,10] [Rn]5f ¹³ 6d ¹ 7s ²	1,1 102 No nobel [259,10] [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	1,1 103 Lr lawrenc [262,11] [Rn]5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²