

ELEMENTY CHEMII W LICEUM SPORTOWYM

MATERIAŁ EDUKACYJNY Z ĆWICZENIAMI

OPRACOWANIE MGR ANNA PIWOWAR

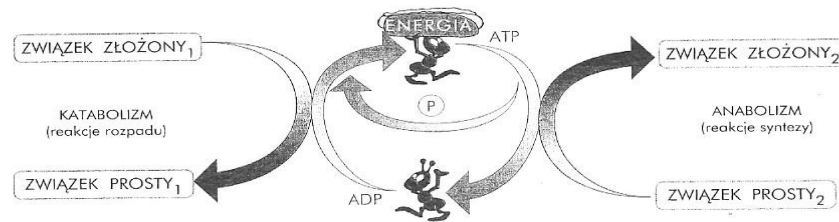
Rozdział IV – METABOLIZM

3.2. PODSTAWY METABOLIZMU

- **Metabolizm** – całokształt przemian materii i energii zachodzących w organizmach żywych, umożliwiających ich wzrost i funkcjonowanie. W zależności od typu przemian wyróżniamy dwa przeciwstawne procesy – **anabolizm** i **katabolizm**, które zachodzą w organizmie jednocześnie.
- **Szlak metaboliczny** – ciąg reakcji enzymatycznych prowadzących od określonego substratu do produktu ostatecznego, w których produkt jednej reakcji jest substratem kolejnej, zwykle katalizowanej przez inny enzym. Przykłady: glikoliza, reakcja pomostowa.
- **Cykl przemian metabolicznych** – szlak metaboliczny, w którym część produktów ostatniej reakcji jest zarazem substratami pierwszej reakcji w tym samym cyklu. Przykłady: cykl Krebsa, cykl Calvina, cykl mocznikowy.

Porównanie anabolizmu i katabolizmu

Katabolizm	Anabolizm
<ul style="list-style-type: none"> ● rozkład złożonych substancji organicznych do związków prostych ● uwalnianie energii (reakcje egzoergiczne) ● stanowi źródło energii dla przemian anabolicznych 	<ul style="list-style-type: none"> ● synteza złożonych substancji organicznych z prostych ● gromadzenie energii (reakcje endoergiczne) ● zgromadzona energia jest uwalniana w procesach katabolicznych



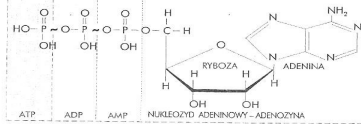
Podstawowe przenośniki energii i elektronów w komórce

- **Adenozynotrifosforan (ATP)** – uniwersalny przenośnik energii w komórce
 - zawiera wiązania wysokoenergetyczne pomiędzy resztami fosforanowymi
 - hydroliza wiązań prowadzi do powstania adenozynodifosforanu (ADP), reszty fosforanowej (Pi) oraz uwolnienia energii



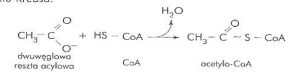
- możliwa dalsza hydroliza do adenozynomonofosforanu (AMP), również z wydzieleniem dużej ilości energii
- hydroliza ATP jest wykorzystywana w trakcie enzymatycznych reakcji endoergicznych jako źródło energii
- podobnie (choć na mniejszą skalę) wykorzystywane są guanozynotrifosforan (GTP) i fosfokreatyna
- powszechnie wykorzystywany w procesie fosforylacji białek, np. enzymatycznych
- nie jest gromadzony i musi być stale odnawiany
- produkowany głównie w trakcie oddychania komórkowego w mitochondrium

Podstawowe przenośniki energii i elektronów w komórce cd.

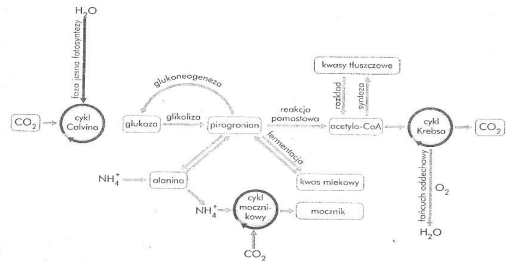


Budowa cząsteczki ATP: ATP, ADP, AMP, NUKLEOTYD ADENINOWY - ADENOZYNA

- **Dinukleotyd nikotynoamidoadeninowy (NAD⁺)** – podstawowy przenośnik elektronów i protonów wodorowych [H⁺] w komórce, jest też koenzymem wielu enzymów. Zwykle występuje w formie utlenionej, po przyłączeniu dwóch elektronów i protonu przechodzi w formę zredukowaną NADH. Podobną rolę, zwłaszcza w reakcjach fotosyntezy, pełni NADP⁺. Od NAD⁺ różni się on dołączoną resztą fosforanową, jego forma zredukowana to NADPH. Zbliżone właściwości ma też dinukleotyd flawinoadeninowy (FAD).
- **Acetylokoenzym A (acetylo-CoA)** – tzw. aktywny octan, reszta octanowa powiązana wiązaniem wysokoenergetycznym z koenzymem A. Zajmuje centralną pozycję w metabolizmie komórki: powstaje w wyniku przemian katabolicznych węglowodanów, kwasów tłuszczowych i niektórych aminokwasów, może być wykorzystany w syntezie kwasów tłuszczowych oraz jako substrat oddychowy w cyklu Krebsa.



Główne szlaki metaboliczne komórki roślinnej i zwierzęcej



Uproszczony schemat szlaków metabolicznych w komórkach roślinnych i zwierzęcych. Na szlaku zaznaczone etapy metaboliczne występujące tylko w komórkach roślinnych, na czarno – tylko u zwierząt.

3.3. ODDYCHANIE KOMÓRKOWE

Oddychanie komórkowe – procesy przeprowadzane w komórce służące wyzwoleniu ze związków organicznych energii użytecznej biologicznie, gromadzonej następnie w ATP. Oddychanie dzielimy na **tlenowe** i **beztlenowe** (do tego ostatniego typu należy fermentacja).

Główne związki wykorzystywane przez komórki jako źródło energii

- węglowodany – podstawowe, łatwo dostępne źródło energii w komórce
- tłuszcze – związki wysokoenergetyczne, główny materiał zapasowy w organizmach zwierzęcych
- białka – wykorzystywane w ostatniej kolejności, wymagają dezaminacji

Porównanie oddychania tlenowego i fermentacji

Oddychanie tlenowe	Fermentacja
● fosforylacja substratowa i oksydacyjna	● tylko fosforylacja substratowa
● wymaga dostępu tlenu	● może zachodzić w warunkach beztlenowych
● zachodzi w cytoplazmie, a następnie w mitochondriach	● tylko w cytoplazmie
● glikoliza, cykl Krebsa, utlenianie na łańcuchu oddechowym	● kolejno glikoliza i regeneracja NAD ⁺
● produktami końcowymi są niskoenergetyczne CO ₂ i H ₂ O	● produktami końcowymi są związki wysokoenergetyczne: mleczan (fermentacja mlekowa) lub alkohol etylowy (fermentacja alkoholowa)
● zysk energetyczny – 36 cząsteczek ATP*	● zysk energetyczny – 2 cząsteczki ATP

*W rzeczywistości zysk energetyczny jest nieco niższy – patrz objaśnienie do bilansu oddychania.

Oddychanie tlenowe cd.

Sumaryczne reakcje oddychania tlenowego można zapisać następująco:
 $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + 2867 \text{ KJ}$

Etapy oddychania tlenowego:

1 Glikoliza

- ciąg reakcji prowadzących do powstania z jednej cząsteczki glukozy dwóch cząsteczek pirogronianu
- dochodzi do redukcji NAD^+ do $NADH$, a także do fosforylacji substratowej, czyli utworzenia ATP przez przeniesienie reszty fosforanowej z ufosforylowanego substratu
- jest przeprowadzana w cytoplazmie
- równanie sumaryczne glikolizy:



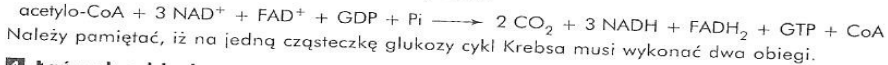
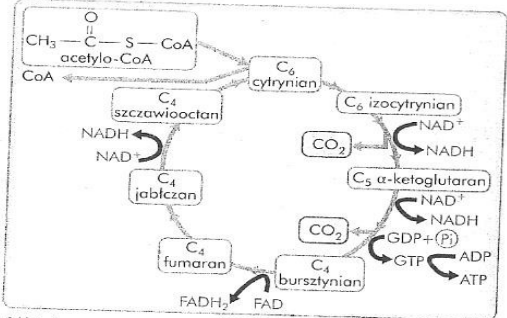
2 Oksydacyjna dekarboksylacja pirogronianu (reakcja pomostowa)

- przekształcenie pirogronianu do reszty acetylowej związanej z koenzymem A (acetylo-CoA)
- wydzielany jest dwutlenek węgla, powstają zredukowane formy $NADH$
- reakcja pomostowa przeprowadzana jest w macierzy mitochondrialnej
- równanie sumaryczne reakcji pomostowej:



3 Cykl Krebsa (cykl kwasów trójkarboksylowych, cykl kwasu cytrynowego)

- cykliczny ciąg reakcji, którego pierwszym etapem jest dołączenie acetylo-CoA do czterowęglowego szczawiooctanu
- utworzony sześciowęglowy cytrynian ulega następnie szeregowi przemian, w tym dekarboksylacji (odłączany jest CO_2) i dehydrogenacji (powstaje $NADH$ oraz $FADH_2$); podczas cyklu Krebsa zachodzi fosforylacja substratowa
- w efekcie następuje regeneracja szczawiooctanu
- cykl Krebsa jest przeprowadzany w macierzy mitochondrialnej
- równanie sumaryczne cyklu Krebsa:

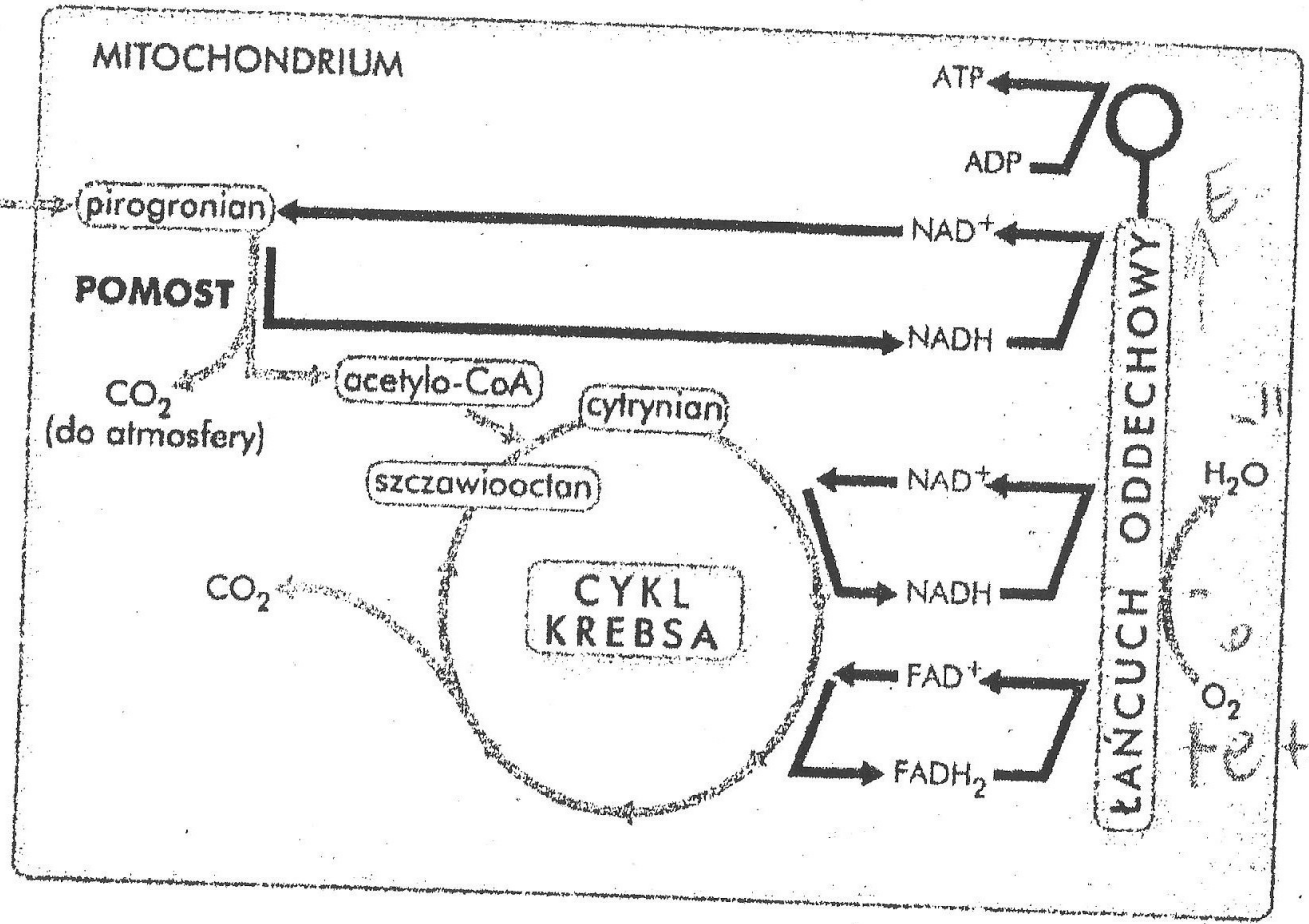
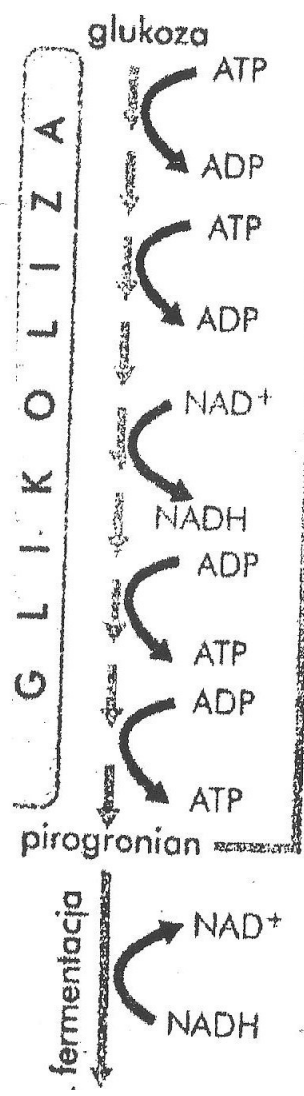


4 Łańcuch oddechowy

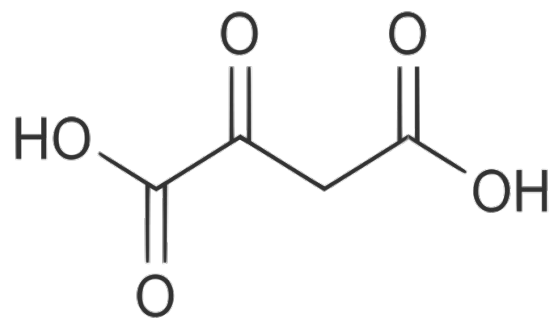
łańcuch oddechowy

- łańcuch oddechowy (a dokładniej: utlenianie końcowe na łańcuchu oddechowym)
- właściwy łańcuch oddechowy jest zbudowany z czterech dużych kompleksów białek (reduktazy i oksydazy) będących częścią błony wewnętrznej mitochondrium
- elektrony z $NADH$ i $FADH_2$ są stopniowo przekazywane między kompleksami łańcucha oddechowego, a wydzielana energia jest wykorzystywana do transportu protonów wodorowych H^+ przez wewnętrzną błonę mitochondrium do przestrzeni międzybłonowej (trzy z kompleksów łańcucha oddechowego to pompy protonowe zasilane przez zredukowane formy $NADH$ i $FADH_2$)
- elektrony z $FADH_2$ są przekazywane do łańcucha oddechowego na dalszym etapie niż z $NADH$, w związku z czym pozwalają na przepompowanie mniejszej liczby protonów, a więc dostarczają mniej energii
- wytworzony gradient protonów H^+ jest wykorzystywany przez syntazę ATP do wytworzenia ATP (teoria chemiosmotyczna Mitchella) – podczas syntezy protony przedostają się z powrotem do macierzy mitochondrialnej
- ostatecznym akceptorem elektronów i protonów wodorowych jest tlen (powstaje H_2O), w związku z czym produkcję ATP w łańcuchu oddechowym określamy jako **fosforylację oksydacyjną**

CYTOPLAZMA



Glukoza → 2 CH₃COCOO⁻ (2 H⁺ redukcja i gromadzenie E 2 ATP) - CO₂



Szcawiooctan

+ CH₃-CO ~S-CoA

+ H₂O

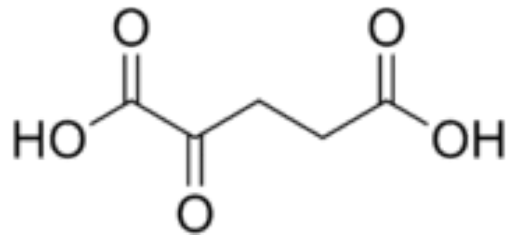
O COOH O

HO OH

OH

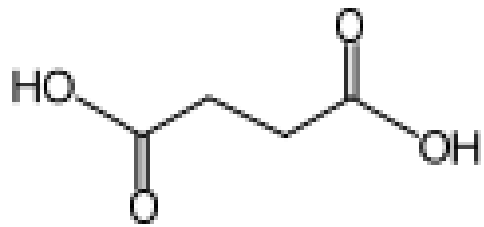
izocytrynian

- CO₂

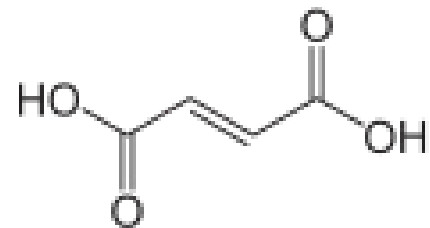


ketoglutaran

- CO₂

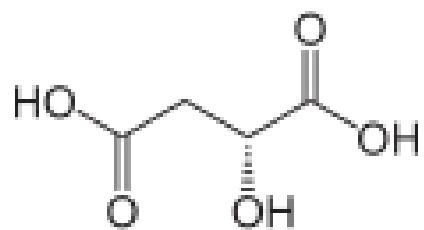


Kwas bursztynowy - 2 H⁺ /FAD⁺ → FADH₂/

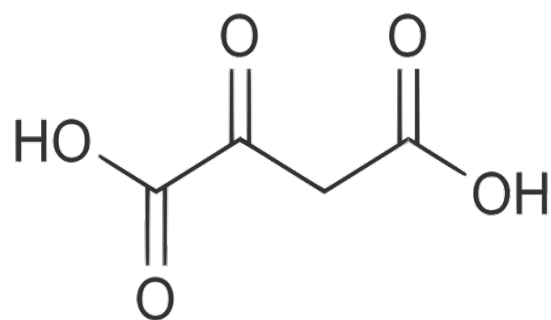


Kwas fumaranowy

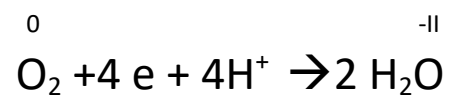
+ H₂O



kwask jabłkowy



szczawiooctan



redukcja



Bilans oddychania

	Lokalizacja	Główne substraty*	Główne produkty*	Zredukowane przenośniki wodoru i elektronów	Fosforylacja
Glikoliza	cytoplazma	1 x glukoza	2 x pirogronian	2 x NADH	4 x ATP (substratowa)
Reakcja pomostowa	matriks mitochondrium	2 x pirogronian	2 x acetylo-CoA, 2 x CO ₂	2 x NADH	-
Cykl Krebsa	matriks mitochondrium	2 x acetylo-CoA	4 CO ₂	6 x NADH, 2 x FADH ₂	2 x GTP (substratowa)
Łańcuch oddechowy	błona mitochondrium	10 x NADH, 2 x FADH ₂ , O ₂	10 x NAD ⁺ , 2 x FAD, H ₂ O	-	34 x ATP (oksydacyjna)

* Bilans faz oddychania tlenowego dla jednej cząsteczki glukozy. Pominięto m.in. dokładny bilans O₂ i H₂O w łańcuchu oddechowym.

- w czasie glikolizy zużywane są dwie cząsteczki ATP na aktywację glukozy, uzyskiwane są natomiast 4 ATP, po dwie na każdą z dwóch cząsteczek pirogronianu powstałego z glukozy – zysk netto to 2 ATP na cząsteczkę glukozy (jest to jedyny zysk energetyczny fermentacji)
- w cyklu Krebsa przemiany każdej z dwóch cząsteczek acetylo-CoA dostarczają jedną cząsteczkę GTP, równoważną ATP
- w łańcuchu oddechowym protony przepompowane dzięki elektronom pochodzącym z NADH pozwalają na syntezę trzech cząsteczek ATP; dla FADH₂ są to tylko dwie cząsteczki
- łącznie w cyklu oddychania tlenowego 10 cząsteczek NAD⁺ ulega redukcji do NADH: 1 na każdą z dwóch cząsteczek pirogronianu powstałego w glikolizie, 1 na każdą cząsteczkę pirogronianu przekształconą w acetylo-CoA w reakcji pomostowej oraz po 3 na każdą cząsteczkę acetylo-CoA w cyklu Krebsa; dodatkowo w cyklu Krebsa uzyskiwana jest 1 cząsteczka FADH₂ na każdą cząsteczkę acetylo-CoA
- dostarczenie dwóch cząsteczek NADH powstałych w glikolizie (w cytoplazmie) do łańcucha oddechowego (w mitochondrium) wymaga transportu przez błonę mitochondrium i powoduje stra-

- ty energii w wysokości 1 ATP na cząsteczkę.

Bilans łączny utleniania jednej cząsteczki glukozy :

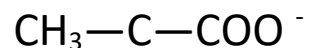
$$\begin{aligned} & - 2 \text{ ATP (aktywacja glikozy)} + 4 \text{ ATP (glikoliza)} + 2 \text{ ATP (cykl Krebsa)} + 2 \text{ ATP (transport NADH)} + \\ & + 10 \times 3 \text{ ATP (utlenianie NADH)} + 2 \times 2 \text{ ATP (utlenienie FADH}_2\text{)} = 36 \text{ ATP} \end{aligned}$$

ODDYCHANIE BEZTLENOWE

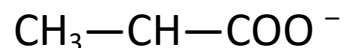
Oddychanie beztlenowe jest to proces utleniania związków organicznych odbywające się w warunkach beztlenowych. Najczęściej utlenianiu ulega glukoza, natomiast pierwszym etapem jest glikoliza (podobnie jak w oddychaniu tlenowym). Następnie ma miejsce utlenianie dinukleotydów zredukowanych podczas glikolizy. Jest ona jedynym źródłem energii w tym procesie. W warunkach braku dostępu tlenu nie odbywa się łańcuch oddechowy. Utlenianie dinukleotydów zachodzi przy udziale innych związków organicznych niż w oddychaniu tlenowym.

ODDYCHANIE BEZTLENOWE

pirogonian



O



OH

mleczan

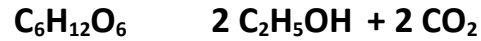
FERMENTACJA MLEKOWA :



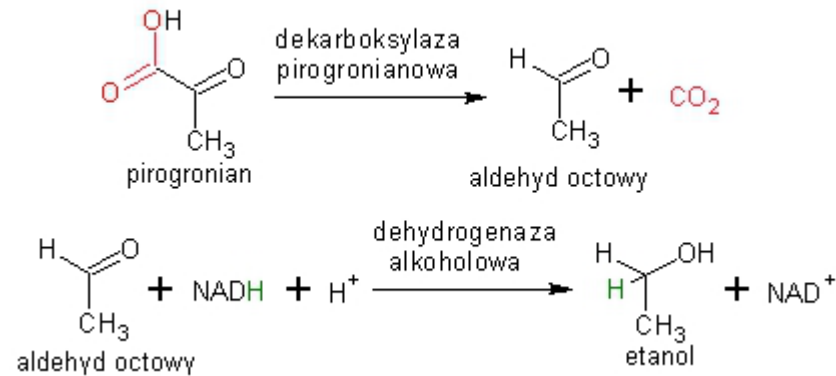
W fermentacji mlekowej akceptorem elektronów i protonów jest powstający kwas pirogronowy, który ulega redukcji do kwasu mlekowego. Jest to sposób oddychania wielu bakterii (bakterie fermentacji mlekowej). Ponadto komórki mięśni poprzecznie prążkowanych szkieletowym przeprowadzają fermentację mlekową podczas intensywnego wysiłku fizycznego, w warunkach deficytu tlenowego. Dojrzałe erytrocyty również oddychają w ten sposób. Proces fermentacji mlekowej jest szeroko stosowany w przemyśle i produkcji żywności. Stosuje się go w przemyśle mleczarskim (produkcja napojów mlecznych fermentowanych, ukwaszanie mleka, śmietanki, dojrzewanie serów), w przemyśle warzywnym (kwaszenie ogórków i kapusty), w przemyśle mięsnym (produkcja wędlin surowych, np. metka, salami) i w przemyśle piekarskim (wchodzi w skład zakwasów chlebowych, używanych przy produkcji pieczywa żytniego).



FERMENTACJA ALKOHOLOWA :



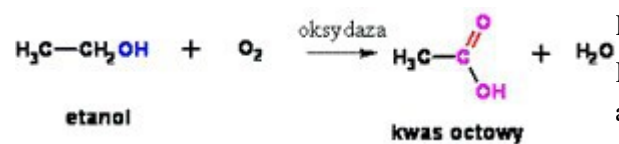
Innym przykładem fermentacji jest fermentacja alkoholowa. Kwas pirogronowy przekształca się, ulegając dekarboksylacji. Wydziela się dwutlenek węgla. Akceptorem protonów i elektronów jest aldehyd octowy, który następnie przekształca się w alkohol etylowy. W wyniku tego procesu powstaje również szereg produktów ubocznych, między innymi: gliceryna, kwas bursztynowy i kwas octowy. Ten typ fermentacji przeprowadzają drożdże i niektóre bakterie. Fermentacja alkoholowa jest wykorzystywana w piwowarstwie, winiarstwie, gorzelnictwie, kandyzowaniu owoców, produkcji drożdży oraz pieczywa.



W oddychaniu beztlenowym rolę akceptora elektronów i protonów pełnią również związki nieorganiczne. Przykładem jest denitryfikacja, inaczej zwana oddychaniem azotanowym. Prowadzą ją bakterie denitryfikacyjne. Wykorzystują one zawarte w podłożu azotany i azotyny i redukują je do amoniaku i azotu cząsteczkowego.

Kolejny przykład to oddychanie bakterii siarczanowych. Żyją one w osadach na dnie zbiorników wodnych i jako akceptor elektronów i protonów wykorzystują siarczany i siarczyny redukując je do siarkowodoru i siarki.

Bilans energetyczny tego typu oddychanie jest niewielki i zamyka się jedynie w ilości energii wytworzonej podczas glikolizy. Wynosi, więc 2 cząsteczki ATP. To aż 18 razy mniej niż zysk energii w przypadku oddychania tlenowego. Jest ono znacznie rzadziej występującym typem oddychania niż oddychanie w warunkach tlenowych.



Reakcja zachodząca podczas fermentacji octowej

Inne rodzaje fermentacji to fermentacja octowa, masłowa, propionowa. Fermentacja octowa to utlenianie alkoholu etylowego do kwasu octowego katalizowane przez enzymy bakterii octowych. Fermentacja octowa jest podstawowym procesem w przemysłowej produkcji octu. Fermentacja masłowa to beztlenowy

proces enzymatycznego rozkładu sacharydów na kwas masłowy, dwutlenek węgla i wodór. Prowadzą ją bakterie z rodzaju Clostridium. Fermentacja masłowa jest wykorzystywana w przemysłowej produkcji kwasu masłowego.

3.4. FOTOSYNTENZA

Fotosynteza to proces wiązania energii świetlnej w związkach organicznych przy wykorzystaniu dwutlenku węgla i wody jako substratów. Jest podstawowym mechanizmem powstawania materii organicznej, wykorzystywanej następnie przez prawie wszystkie organizmy na Ziemi. Na fotosyntezę składa się **faza jasna**, zależna od światła, oraz **faza ciemna**, mogąca zachodzić w ciemności, zależna jednak od produktów fazy jasnej.

Sumaryczny zapis reakcji fotosyntezy:

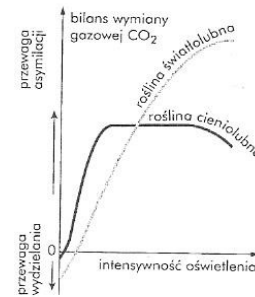
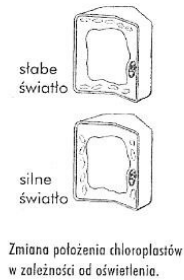


Uwaga: Zamiast tlenu mogą występować inne pierwiastki – patrz komentarz do fazy jasnej.

Czynniki wpływające na intensywność fotosyntezy

● intensywność oświetlenia

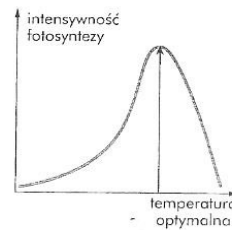
- lepsze oświetlenie poprawia intensywność fotosyntezy
- różne rośliny mają różne optymalne wartości natężenia światła
- przy zbyt intensywnym oświetleniu dochodzi do uszkodzenia fotosystemów chloroplastów; roślina chroni się, ustawiając chloroplasty tak, aby przyjmowały jak najmniej światła



Wpływ światła na intensywność fotosyntezy.

● temperatura

- ze wzrostem temperatury rośnie prędkość fotosyntezy, ale tylko do pewnych granic
- optimum dla różnych roślin zwykle przypada w pobliżu temperatur, w których zwykle występuje dana roślina
- fotosynteza jest procesem enzymatycznym – przy zbyt wysokiej temperaturze dochodzi do unieczynnienia aparatu fotosyntetycznego



Wpływ temperatury na intensywność fotosyntezy.

● dostępność wody

- woda jest konieczna m.in. do wytworzenia sily asymilacyjnej w fazie jasnej fotosyntezy
- mała ilość wody powoduje zamykanie szparek i ogranicza dostępność CO_2 , zwłaszcza u roślin z klimatów suchych (patrz niżej rośliny o fotosyntezie typu CAM)

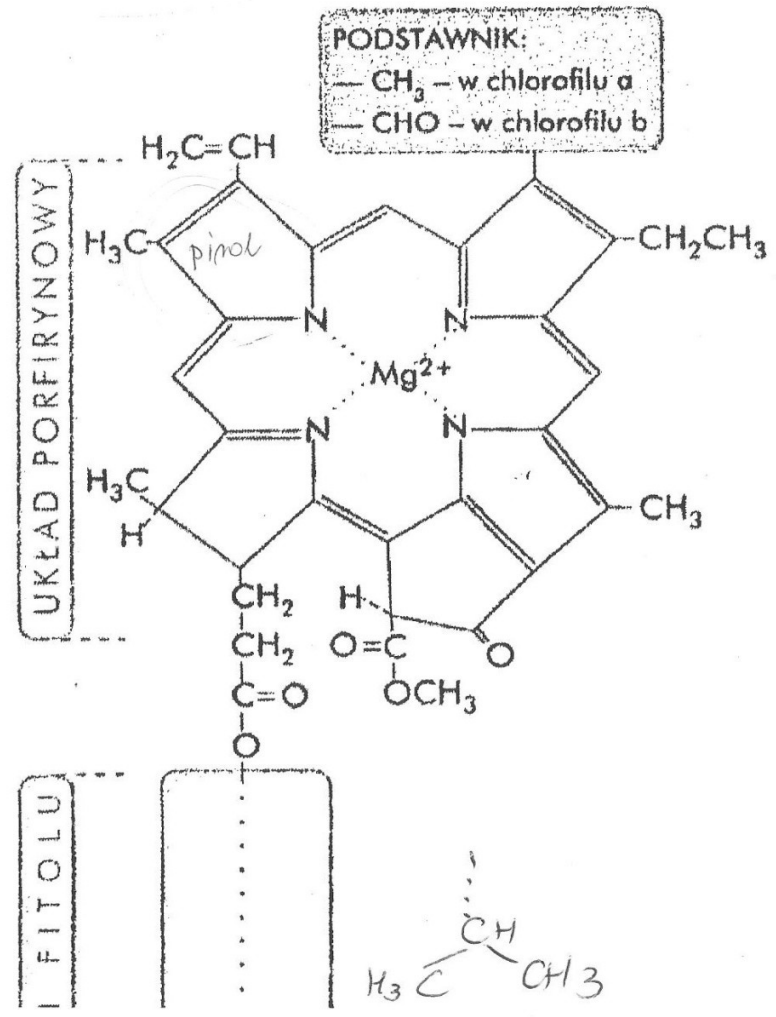
● dostępność CO_2 .

4 pierścienie pirolowe
 mostki metimowe = CH -
 aromatyczne, wysoko sprzężone
 wiązanie podwójne → barwa
 niwie absorbują światło

hem, ~~porf~~ furanona

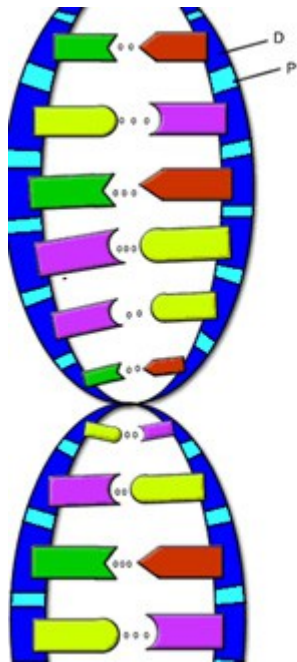
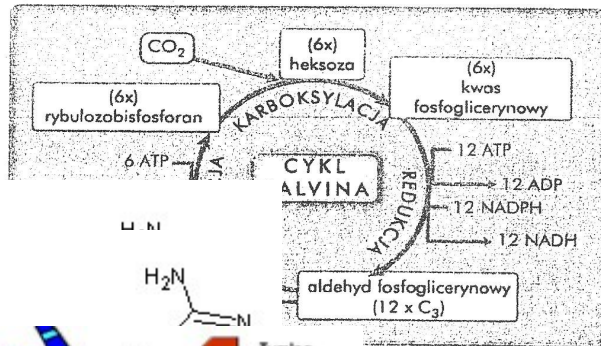
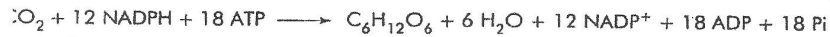
Oranżowa - zielona
 mieliszka - pomarańczowa

Budowa cząsteczki chlorofilu



Cykl Calvina (faza ciemna fotosyntezy)

Proces wiązania dwutlenku węgla przy wykorzystaniu produktów jasnej fazy fotosyntezy (siarczynowej), prowadzący do wytworzenia prostych węglowodanów. Jest niezależny od obecności światła, a jedynie od produktów fazy jasnej. Zachodzi w stromie chloroplastów.



- Tymina
 - Adenina
 - Guanina
 - Cytosyna
 - D - deoksryboza
 - P - reszta fosforanowa
 - ... wiązania wodorowe
- nie produkty fosyntezy
 C6 - inne cukry
 kwasy - aminokwasy
 kwasy tłuszczowe

zaję
 bisfosforanu, powstały sześciowęglowy związek z trzech części cząsteczek kwasu fosfoglicerynowego do aldehydu fosfoglicerynowego przy wykorzystaniu produktów jasnej fotosyntezy. Redukcja aldehydu fosfoglicerynowego jest wykorzystywana do regeneracji NADPH z NADP⁺. Regeneracja jest ATP

regeneracja

KWASY NUKLEINOWE

Podstawową jednostką budulcową jest **nukleotyd**. Nukleotyd tworzą jedna cząsteczka cukru i jedna cząsteczka kwasu fosforowego i jedna cząsteczka zasady azotowej.

Łańcuch polinukleotydowy, zawierający w swoim składzie atomy azotu. Wymienia się 5 zasad azotowych na 2 grupy.

Grupy zasad azotowych: zasady pirymidynowe (pochodne heterocyklicznego związku azotowego) i zasady purynowe (zawierające dwa pierścienie). W skład grup purynowych zalicza się cytozynę (C), tyminę (T) i uracyl (U).

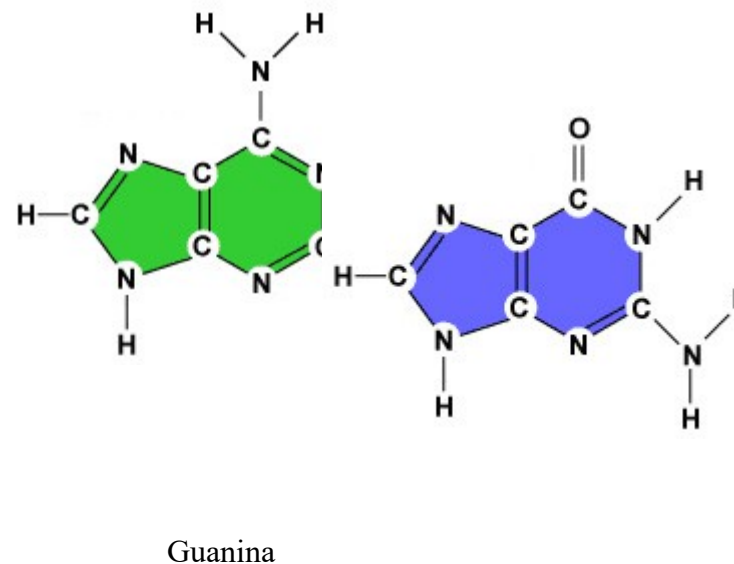
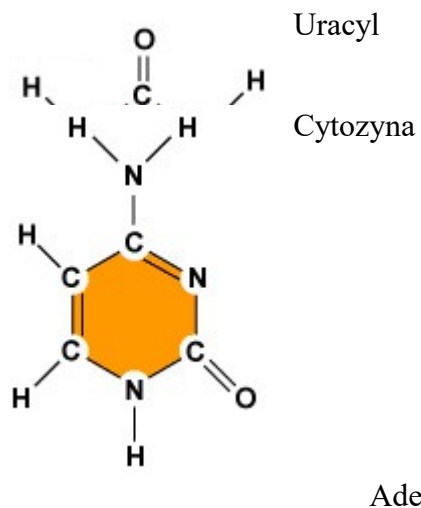
Grupy zasad azotowych: zasady purynowe (inaczej bazy). Są one połączone w odpowiednie łańcuchy polinukleotydowe. W każdej grupie znajduje się grupa alkoholowa (OH), która połączona jest z resztą cukru pentozowego. Stąd w łańcuchu nukleotydowym można wyróżnić koniec 5' (wolna grupa alkoholowa pentozowa).

Grupy zasad azotowych: **kwasy dezoksyrybonukleinowy (DNA) i kwasy rybonukleinowy**

Struktura DNA to podwójna helisa. Deoksynukleotydy zbudowane są z następujących zasad azotowych: adenina (A), cytozyna (C) i guanina (G). Cukier wchodzący w skład DNA to deoksyryboza, a więc jest dwuniciowy. Łańcuchy te są antyprzeciwstawne. Nici DNA są względem siebie przeciwstawne, czyli w jednej nici znajduje się na tej samej wysokości końca 5' drugiej nici i w drugiej nici znajduje się na tej samej wysokości końca 3' pierwszej nici. Łańcuchy te są względem siebie **komplementarne**, a to znaczy, że nukleotyd adeninowy jednej nici jest związany z nukleotydem tyminowym drugiej nici podwójnym wiązaniem wodorowym, a nukleotyd cytozynowy jednej nici jest związany z nukleotydem guaninowym drugiej nici potrójnym wiązaniem wodorowym. To jest komplementarność, czyli parowania zasad azotowych.

Kwas rybonukleinowy (RNA) składa się z jednego łańcucha polinukleotydowego, a więc w przeciwieństwie do DNA, jest jednoniciowy. Rybonukleotydy buduje cukier ryboza, a zamiast tyminy występuje uracyl.

Zasady azotowe w RNA



Funkcje kwasów nukleinowych

Rola kwasów nukleinowych związana jest z przechowywaniem i ekspresją informacji genetycznej komórki oraz z procesami dziedziczenia.