



Zachodniopomorski
Uniwersytet Technologiczny

BIOCHEMIA

Kierunek: **Technologia Żywności
i Żywnienie Człowieka**
semestr III

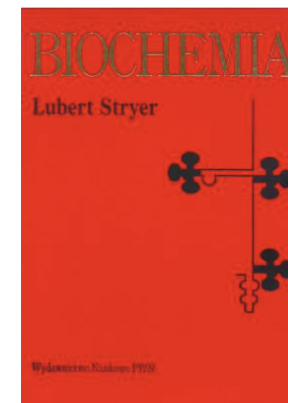
Wykład 7 Metabolizm II



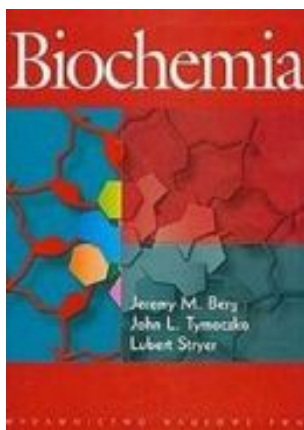
Zakres materiału METABOLIZM

Uzyskiwanie energii w procesach metabolicznych i jej magazynowanie

- 21. Fosforylacja oksydacyjna
- 22. Szlak pentozofosforanowy i glukoneogeneza
- 26. Fotosynteza



Biochemia, Autor: Lubert Stryer,
PWN Warszawa 1999

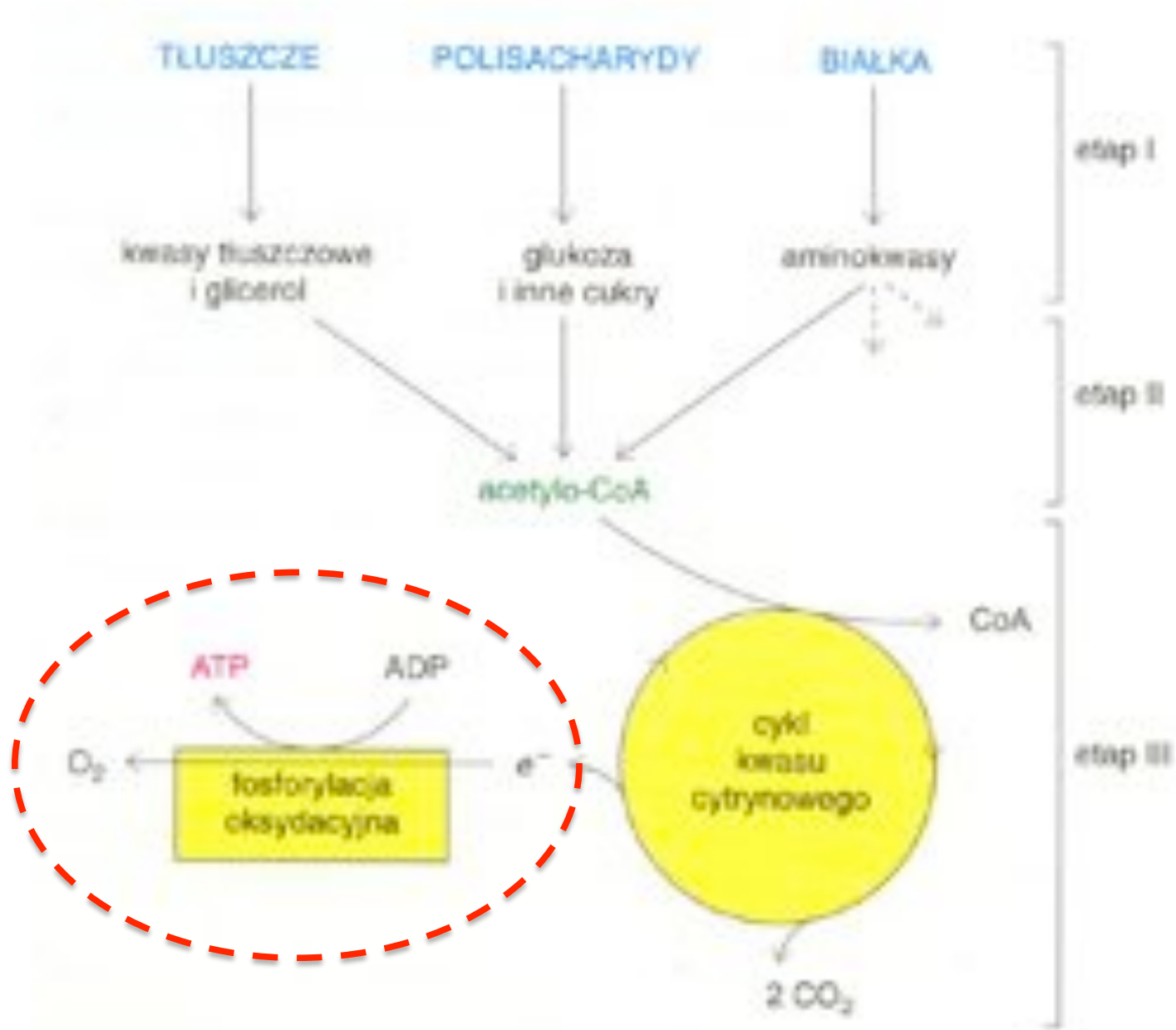


Biochemia, Autor: Jeremy Berg, Lubert Stryer,
John L. Tymoczko, PWN Warszawa 2005

PRZEKAZYWANIE I MAGAZYNOWANIE ENERGII

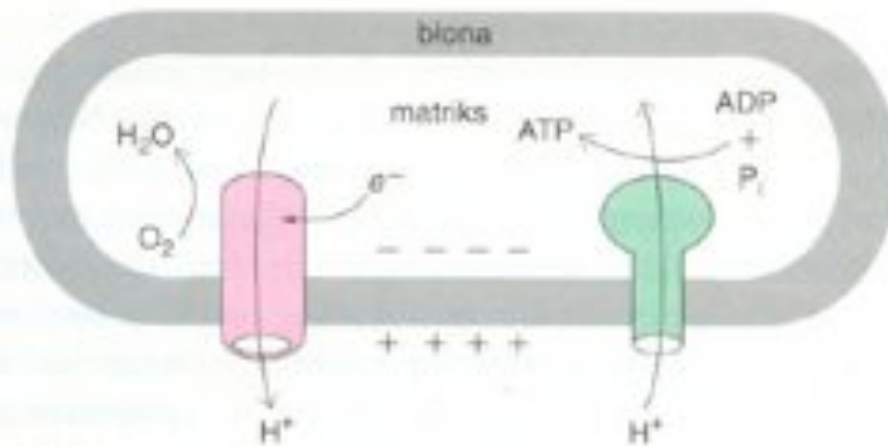
- 18. Fosforylacja oksydacyjna
- 19. Reakcje świetlne fotosyntezy
- 20. Cykl Calvina i szlak pentozofosforanowy

Metabolizm - etapy



Proces fosforylacji oksydacyjnej

1. W procesie **fosforylacji oksydacyjnej** synteza **ATP** jest sprzężona z **przepływem elektronów od NADH lub FADH₂ do tlenu**, poprzez gradient protonowy wytworzony w poprzek wewnętrznej błony mitochondrialnej.

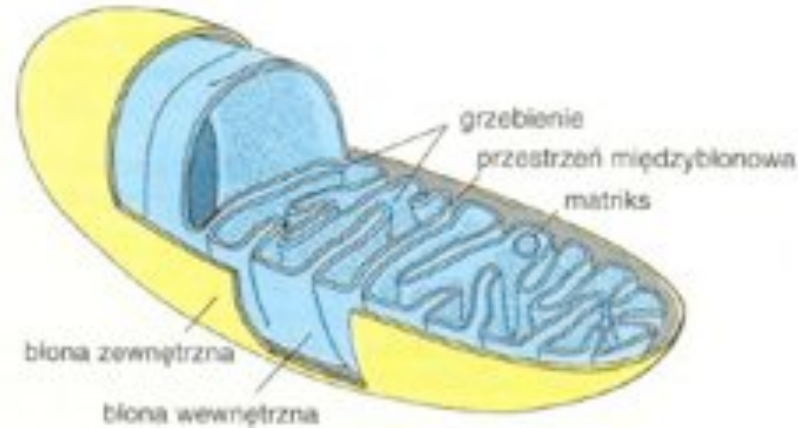


Oddychanie - Proces tworzenia ATP, w którym ostatecznym **akceptorem elektronów** jest związek nieorganiczny (np. O₂). Donorami elektronów mogą być **związki organiczne i nieorganiczne**.

2. **Przepływ elektronów** przez trzy asymetrycznie zorientowane kompleksy transbłonowe powoduje **wypompowywanie protonów** z matriks mitochondrialnej i prowadzi do tworzenia się **potencjału błonowego**.
3. Synteza ATP zachodzi wtedy, gdy **protony** przepływają z powrotem do matriks przez kanał w kompleksie syntetyzującym ATP, nazywanym **syntazą ATP** (lub **ATPaza F₀F₁** albo **ATPazą H⁺**).
4. **Fosforylacja oksydacyjna** ilustruje pierwszoplanowy temat bioenergetyki, jakim jest rola gradientu protonowego przy przenoszeniu energii swobodnej.

Mitochondria

1. W komórkach eukariotycznych **fosforylacja oksydacyjna** zachodzi w **mitochondriach**



2. **Mitochondria** są owalnymi organelami o typowej długości około 2 μm (średnicy 0,5 μm). **Mitochondria** zawierają **zespoły oddechowe**, **enzymy cyklu kwasu cytrynowego** i **enzymy warunkujące utlenianie kwasów tłuszczowych**.
3. **Mitochondria** mają **dwa systemy błon**: **błonę zewnętrzną** i zajmującą znacznie większą powierzchnie, silnie pofałdowaną - **błonę wewnętrzną**.
4. Fałdy **błony wewnętrznej** tworzą szereg skierowanych do matriks **grzebieni mitochondrialnych** (ang. cristae). W mitochondriach istnieją zatem **dwa przedziały**: **przestrzeń międzybłonowa**, zawarta między błoną wewnętrzną i zewnętrzną, oraz **matriks mitochondrialna**, otoczona błoną wewnętrzną.
5. **Fosforylacja oksydacyjna** umiejscowiona jest w wewnętrznej **błonie mitochondrialnej**, natomiast większość reakcji **cyklu kwasu cytrynowego** i **utleniania kwasów tłuszczowych** zachodzi w **matriks**.

Reakcje biochemiczne – potencjał oksydoredukcyjny

Tabela 21-1. Standardowy potencjał oksydoredukcyjny niektórych reakcji

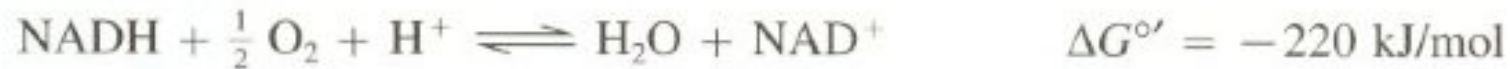
Utleniacz	Reduktor	n	E_0' (V)
Bursztynian + CO ₂	α-ketoglutaran	2	-0,67
Octan	aldehid octowy	2	-0,60
Feredoksyna (utleniona)	feredoksyna (zredukowana)	1	-0,43
2 H ⁺	H ₂	2	-0,42
NAD ⁺	NADH + H ⁺	2	-0,32
NADP ⁺	NADPH + H ⁺	2	-0,32
Liponian (utleniony)	liponian (zredukowany)	2	-0,29
Glutation (utleniony)	glutation (zredukowany)	2	-0,23
Aldehyd octowy	etanol	2	-0,20
Pirogronian	mleczan	2	-0,19
Fumaran	bursztynian	2	0,03
Cytochrom b (+3)	cytochrom b (+2)	1	0,07
Dehydroaskorbinian	askorbinian	2	0,08
Ubichinon (utleniony)	ubichinon (zredukowany)	2	0,10
Cytochrom c (+3)	cytochrom c (+2)	1	0,22
Fe (+3)	Fe (+2)	1	0,77
$\frac{1}{2}$ O ₂ + 2 H ⁺	H ₂ O	2	0,82

Uwaga: E_0' oznacza standardowy potencjał oksydoredukcyjny (pH 7, temp. 25°C), n oznacza liczbę przenoszonych elektronów, E_0' odnosi się do reakcji cząstkowej



Utlenianie a fosforylacja - siła protonomotoryczna

1. Utlenianie jest sprzężone z fosforylacją przez **siłę protonomotoryczną**.
2. **Przepływ elektronów z NADH do O₂** w egzotermicznym procesie:

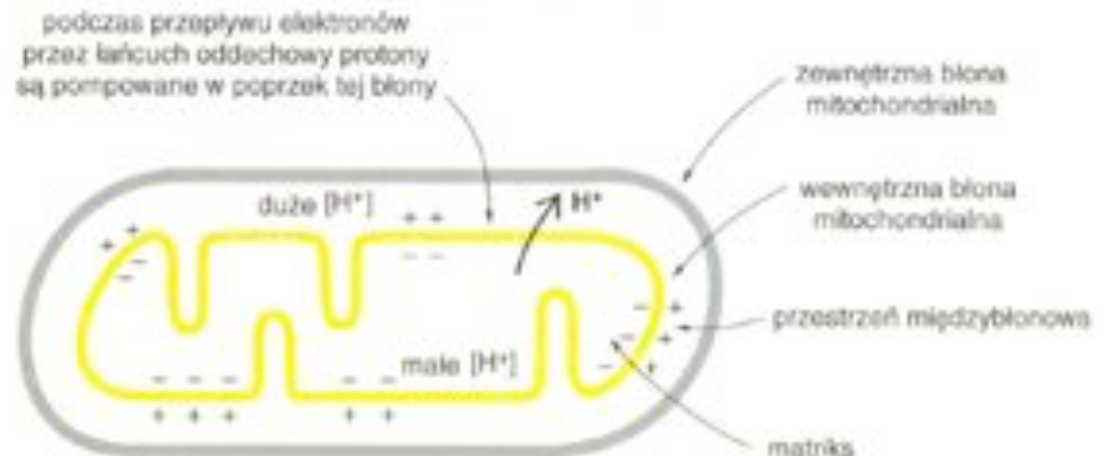


3. **Energia swobodna utleniania** jest wykorzystywana do **procesu endoergicznego**, jakim jest synteza ATP:



4. Mitchell w 1961 roku zaproponował, że ta **siłą protonomotoryczną** jest **czynnikiem napędzającym syntezę ATP** przez kompleks ATPazy. Istotę jego koncepcji można tak przedstawić w skrócie: pierwszym stadium procesu zachowania energii jest wytworzenie siły protonomotorycznej w poprzek wewnętrznej błony mitochondrialnej, indukowane przez transport elektronów.

Transport elektronów przez **łańcuch oddechowy** powoduje wypompowywanie protonów z matriks poza cytoplazmatyczną powierzchnię wewnętrznej błony mitochondrialnej. Gradient pH i potencjał błonowy tworzą siłę protonomotoryczną wykorzystywaną do napędzania syntezy ATP

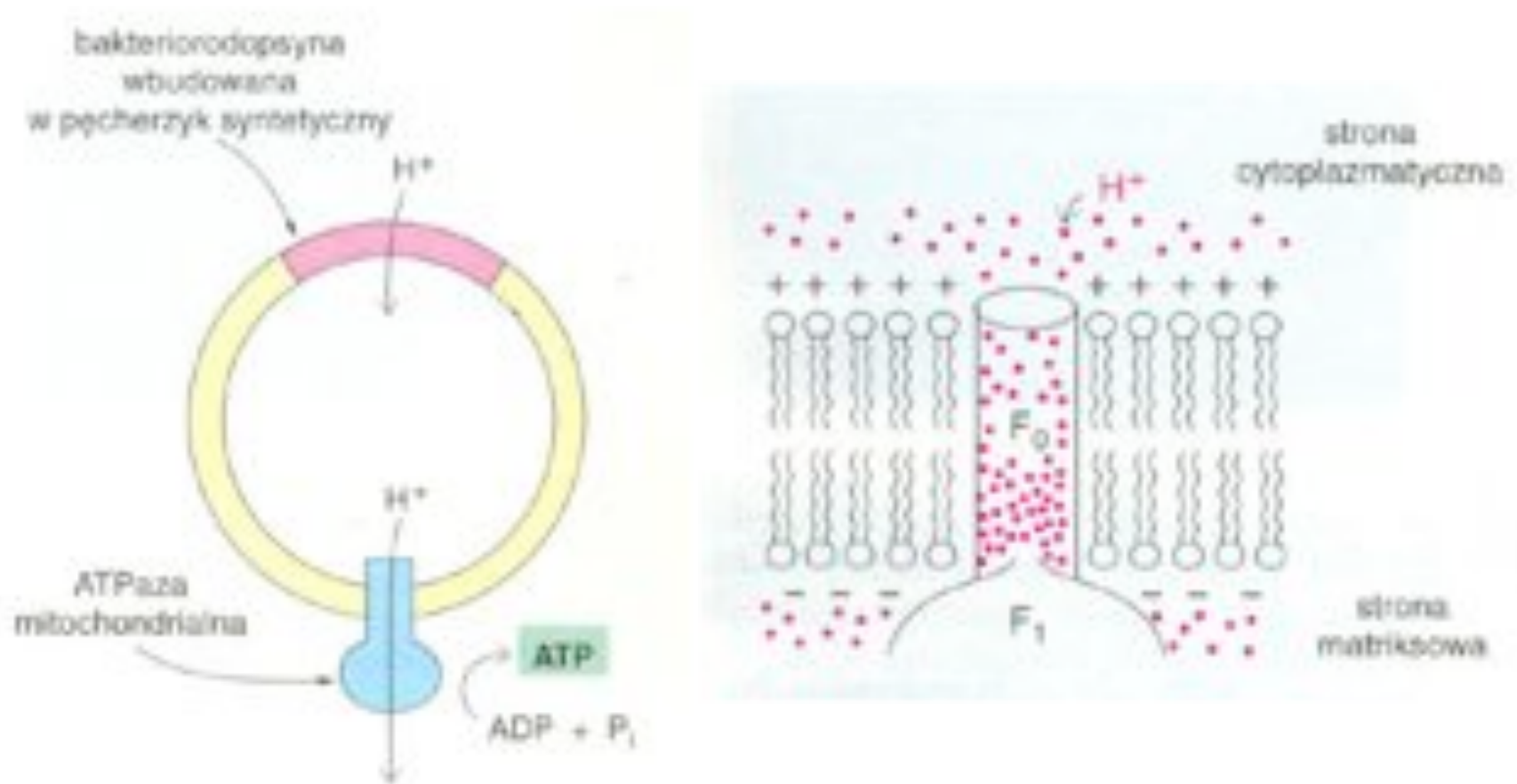


Przenośniki energii - elektronów

1. **Przenośnikami energii** w wewnętrznej błonie mitochondrialnej są **flawiny, centra żelazo-siarkowe, chinony, grupy hemowe** cytochromów i **jony miedzi**.
2. **Przekazywanie elektronów** odbywa się przez: **reduktazę NADH-Q, reduktazę cytochromowa i oksydazę cytochromową**.
3. **Elektrony** są przekazywane z **NADH** na **FMN**, grupę prostetyczną **reduktazy NADH-Q** (pierwszy kompleks). Reduktaza ta zawiera również centra Fe-S. Następnie elektrony te pojawiają się w **QH₂**, zredukowanej formie **ubichinonu (Q)**.
4. Ten bardzo ruchliwy hydrofobowy przenośnik oddaje swoje elektrony na **reduktazę cytochromową** (drugi kompleks), kompleks, w którego skład wchodzi **cytochromy b i c₁** oraz **centrum Fe-S**. **Ten drugi kompleks** redukuje cytochrom C, peryferyczne białko błonowe rozpuszczalne w wodzie. Cytochrom C, podobnie jak Q, jest ruchliwym przenośnikiem elektronów, przenoszącym elektrony na **oksydazę cytochromową**.
5. **Oksydaza cytochromowa** (trzeci kompleks) zawiera cytochromy a i a₃ oraz dwa jony miedzi. Znajdujące się w oksydazie żelazo niehemowe i jon miedzi, przekazują elektrony na końcowy akceptor, którym jest O₂, i tworzy się H₂O.
6. Przepływ elektronów przez każdy z trzech kompleksów prowadzi **do pompowania protonów** ze strony matriksowej na cytoplazmatyczną stronę wewnętrznej błony mitochondrialnej. W wyniku tego tworzy się **siła protonomotoryczną** złożoną z gradientu pH (strona cytoplazmatyczna jest kwaśna) i potencjału błonowego (strona cytoplazmatyczna ma ładunek dodatni).

Syntaza ATP

1. Powrotny przepływ protonów przez syntazę ATP do matriks jest siłą napędową syntezy ATP.

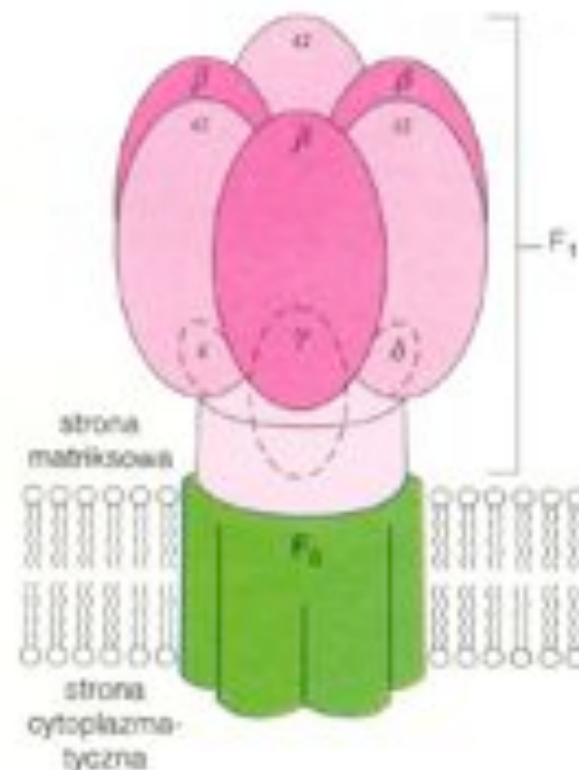


Syntaza ATP

1. **Kompleks enzymatyczny** syntazy ATP składa się z **hydrofobowej podjednostki F_0** , katalizującej syntezę ATP przewodzącej protony przez błonę i **hydrofilowej podjednostki F_1** kolejno w trzech miejscach. Protony przepływające przez **syntazę ATP** uwalniają ściśle z nią związaną **cząsteczkę ATP**.

Tabela 21-3. Składniki mitochondrialnego kompleksu syntetyzującego ATP

Podjednostki	Masa (kilodaltony)	Funkcja	Umiejscowienie
F_1	378	zawiera miejsce katalityczne syntazy ATP	główka po stronie matriksowej
α	56		
β	52		
γ	34		
δ	14		
ϵ	6		
F_0	25	zawiera kanał protonowy	w poprzek błony
	21		
	12		
	8		
Inhibitor F_1	10	reguluje przepływ protonów i syntezę ATP	po między F_0 i F_1
Białko warunkujące wrażliwość na oligomycynę (OSCP)	23		
F_0 (F_s)	8		



Rys. Schemat syntazy ATP

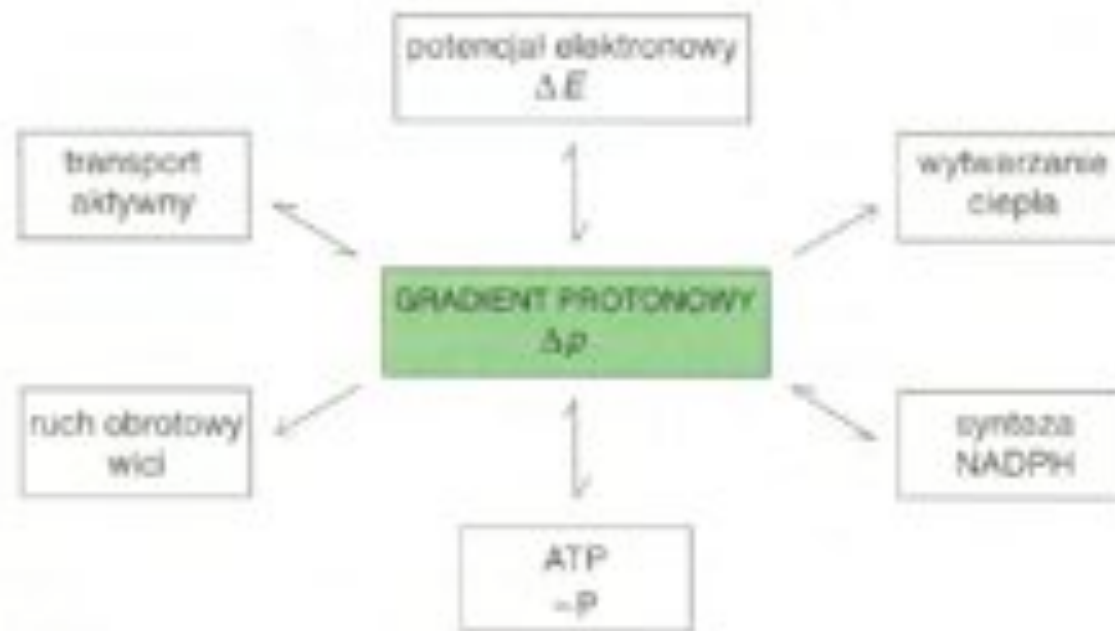
Synteza ATP w cyklu oddechowym

1. Przepływ **dwóch elektronów** przez **reduktazę NADH-Q, reduktazę cytochromowa i oksydazę cytochromową** generuje gradient wystarczający do syntezy - odpowiednio - **1;0,5 i 1** cząsteczki **ATP**.
2. Proces utleniania:
 - **1** cząsteczka **NADH** w matriks mitochondrialnej, tworzy się **2,5** cząsteczki **ATP**,
 - **1** cząsteczka **FADH₂** w matriks mitochondrialnej, tworzy się **1,5** cząsteczki **ATP**,
3. Wejście ADP do matriks mitochondrialnej i wyjście z niej ATP są ze sobą sprzężone przez translokazę ATP-ADP, nośnik napędzany potencjałem błonowym.
4. **Transport elektronów** jest prawidłowo ściśle **sprzężony z fosforylacją**.
5. **NADH i FADH₂ są utleniane** tylko wtedy, jeśli równocześnie zachodzi **fosforylacja ADP do ATP**. Sprzężenie to, nazywane **kontrolą oddechową**, może zostać przerwane przez **związki rozprzegające**, takie jak **DNP**, które przenosząc protony w poprzek wewnętrznej błony mitochondrialnej, niszczą gradient protonowy.
6. Podczas **całkowitego utleniania cząsteczki glukozy** do CO₂ i H₂O tworzy się **30** cząsteczek **ATP**.

Kolejność reakcji	Wydajność ATP na cząsteczkę glukozy
Glikoliza: od glukozy do pirogronianu (w cytoplazmie)	
Fosforylacja glukozy	-1
Fosforylacja fruktozo-6-fosforanu	-1
Defosforylacja 2 cząsteczek 1,3-BPG	+2
Defosforylacja 2 cząsteczek fosfoenolpirogronianu	+2
Przy utlenianiu 2 cząsteczek aldehydu 3-fosfoglicerynowego powstają 2 cząsteczki NADH	
Przekształcenie pirogronianu w acetylo-CoA (w mitochondriach)	
Powstają 2 cząsteczki NADH	
Cykli kwasu cytrynowego (w mitochondriach)	
Powstanie 2 cząsteczek guanozynotrifosforanu (GTP) z 2 cząsteczek bursztynilo-CoA	+2
Przy utlenianiu 2 cząsteczek izocytrynianu, α -ketoglutaranu i jabłczanu powstaje 6 cząsteczek NADH	
Przy utlenianiu 2 cząsteczek bursztynianu powstają 2 cząsteczki $FADH_2$	
Fosforylacja oksydacyjna (w mitochondriach)	
Każda z 2 cząsteczek NADH utworzonych podczas glikolizy daje 1,5 cząsteczki ATP (z uwzględnieniem transportu NADH przez członko glicerolo-fosforanowe)	+3
Każda z 2 cząsteczek NADH utworzonych przy oksydacyjnej dekarboksylacji pirogronianu daje 2,5 ATP	+5
2 cząsteczki $FADH_2$ utworzone w cyklu kwasu cytrynowego dają po 1,5 ATP	+3
6 cząsteczek NADH utworzonych w cyklu kwasu cytrynowego daje po 2,5 ATP	+15
Sumaryczna wydajność na cząsteczkę glukozy	+30

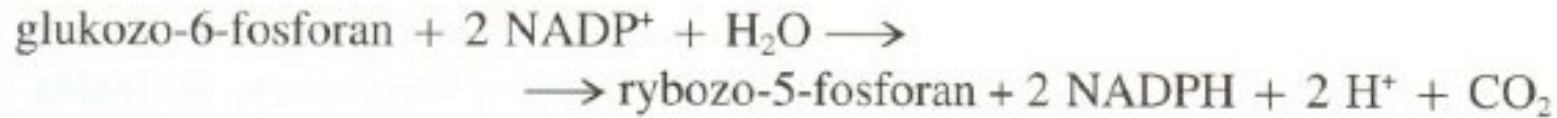
Gradienty protonowe - podstawowa zasada bioenergetyki

1. **Mitochondrialny transport elektronów** związany jest z **syntezą ATP** poprzez **transbłonowy gradient protonowy**.
2. Synteza ATP w **bakteriach** i **chloroplastach** jest również zasilana przez **gradient protonowy**. Faktycznie gradient protonowy zasila różne procesy wymagające energii, jak na przykład aktywny transport Ca^{2+} do mitochondriów, pobieranie niektórych aminokwasów i cukrów przez bakterie, ruch obrotowy wici bakterii oraz przenoszenie elektronów z NADH do NADPH.
3. **Gradient protonowy** wykorzystywany jest również do **generowania ciepła**, jak w przypadku hibernacji. W układach biologicznych **gradienty protonowe** są głównym czynnikiem odpowiedzialnym za **odwracalny obieg energii swobodnej**.

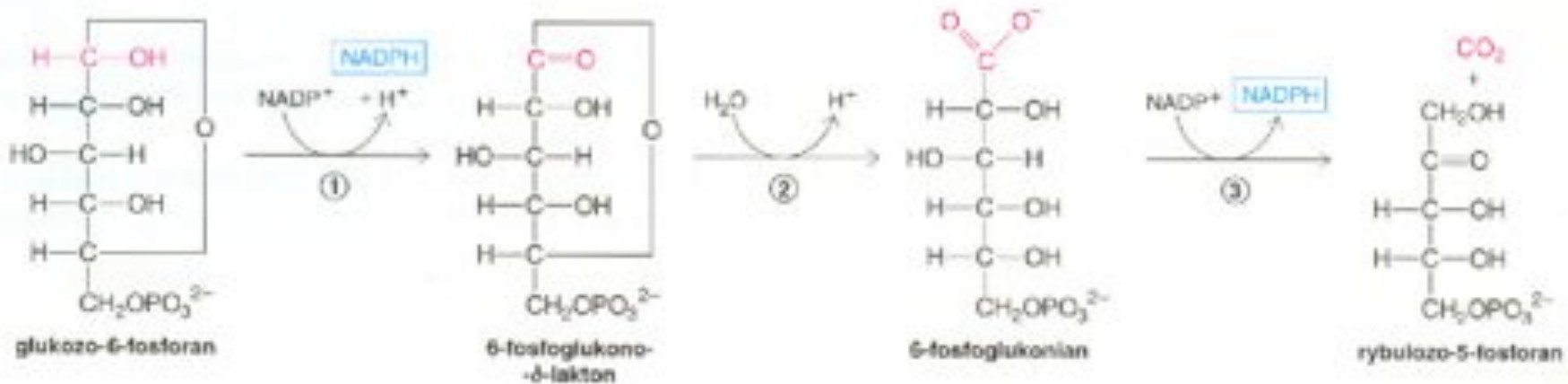


Szlak pentozofosforanowy

1. Szlak pentozofosforanowy wytwarza w cytozolu NADPH i rybozo-5-fosforan.



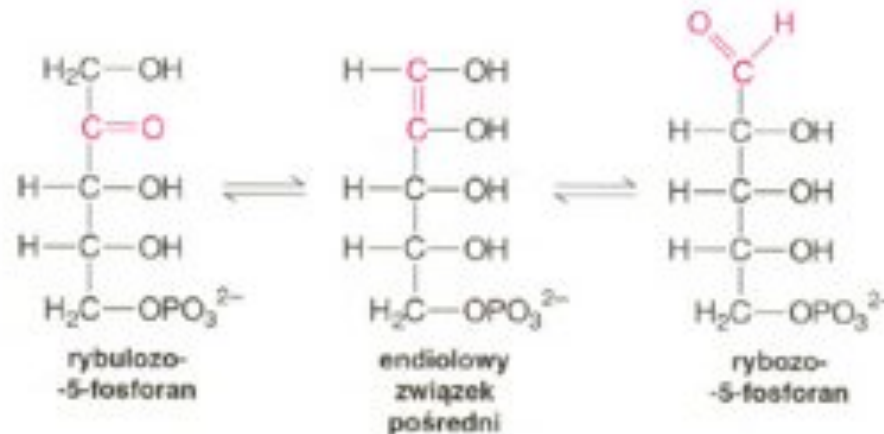
2. W szlaku tym zachodzą też w serii reakcji nieutleniających wzajemne przekształcenia cukrów trój-, cztero-, pięcio-, sześćo- i siedmio- węglowych.
3. NADPH jest zużywany w **biosyntezach redukcyjnych**, natomiast **rybozy-5-fosforan** jest konieczny do syntezy **DNA, RNA** i **koenzymów nukleotydowych**.
4. Szlak pentozofosforanowy zaczyna się od dehydrogenacji glukozy-6-fosforanu, w wyniku której powstaje **lakton**, hydrolizowany następnie do **6-fosfoglukonianu**; oksydacyjna dekarboksylacja tego związku prowadzi do utworzenia **rybulozy-5-fosforanu**.



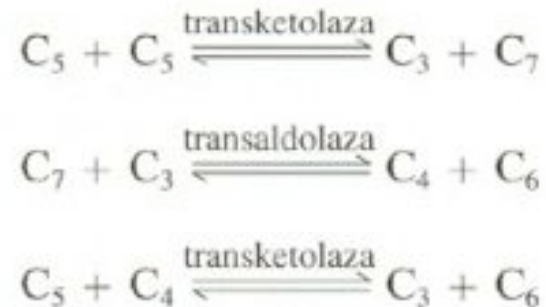
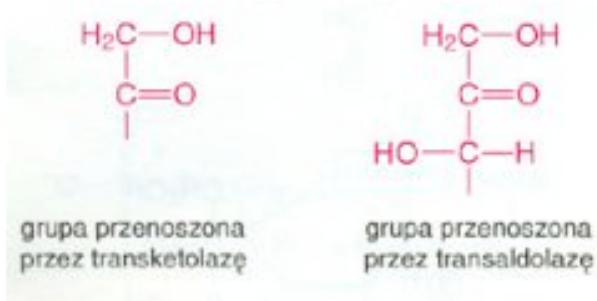
5. W trakcie obydwóch tych reakcji utleniania **akceptorem elektronów** jest **NADP⁺**.

Szlak pentozofosforanowy

- Ostatnim etapem szlaku jest izomeryzacja **rybulozo-5-fosforanu** (**ketozy**) do **rybozo-5-fosforanu** (**aldozy**).



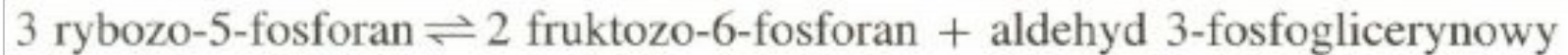
- Gdy organizm potrzebuje **znacznie więcej NADPH** niż rybozo-5-fosforanu, proces ten może zachodzić w inny sposób, a mianowicie **rybozo-5-fosforan** jest przekształcany w **aldehyd 3-fosfoglicerynowy** i **fruktozo-6-fosforan** w reakcjach katalizowanych przez transketolazę i transaldolazę.



- Te dwa enzymy stwarzają odwracalne przejście między **szlakiem pentozofosforanowym** i **glikolizą**. Intermediatami w tych przekształceniach są **ksylulozo-5-fosforan**, **sedoheptulozo-7-fosforan** i **erytrozo-4-fosforan**. W ten sposób kosztem każdej cząsteczki **glukozy-6-fosforanu**, całkowicie utlenionej do CO_2 , powstaje **12 cząsteczek NADPH**.

Szlak pentozofosforanowy

1. Nadmiar **rybozo-5-fosforanu**, wytworzonego w **szlaku pentozofosforanowym**, może być całkowicie przekształcany w **intermediaty glikolizy**.



2. **Szkielety węglowe cukrów** mogą ulec znacznemu **przekształceniu** w zależności od **zapotrzebowania fizjologicznego**.
3. Stężenie NADP^+ reguluje szybkość przemian szlaku pentozofosforanowego.

Reakcja	Enzym
Odgałęzienie utleniające	
glukoza-6-fosforan + $\text{NADP}^+ \rightarrow$ 6-fosfoglukono- β -lakton + $\text{NADPH} + \text{H}^+$	dehydrogenaza glukoza-6-fosforanowa
6-fosfoglukono- β -lakton + $\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ 6-fosfoglukonian + H^+	glukonolaktonaza
6-fosfoglukonian + $\text{NADP}^+ \rightarrow$ rybułozo-5-fosforan + CO_2 + NADPH	dehydrogenaza 6-fosfoglukonianowa (okartokrylująca)
Odgałęzienie nieutleniające	
rybułozo-5-fosforan \rightleftharpoons rybozo-5-fosforan	izomerasa pentozofosforanowa (rybozofosforanowa)
rybułozo-5-fosforan \rightleftharpoons ksylulozo-5-fosforan	epimeraza pentozofosforanowa (3-epimeraza rybułozofosforanowa)
ksylulozo-5-fosforan + rybozo-5-fosforan \rightleftharpoons sedoheptulozo-7-fosforan + + aldehyd 3-fosfoglicerynowy	transketolaza
sedoheptulozo-7-fosforan + aldehyd 3-fosfoglicerynowy \rightleftharpoons fruktozo-6-fosforan + + erytrozo-4-fosforan	transaldolaza
ksylulozo-5-fosforan + erytrozo-4-fosforan \rightleftharpoons fruktozo-6-fosforan + + aldehyd 3-fosfoglicerynowy	transketalaza

Szlak pentozofosforanowy - enzymy

1. Stężenie NADP⁺ reguluje szybkość przemian szlaku pentozofosforanowego.

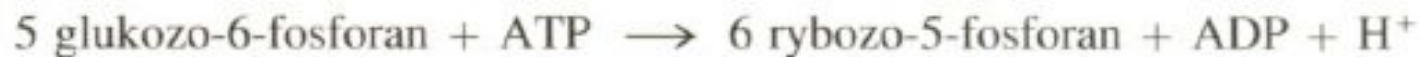
Reakcja	Enzym
Odgałęzienie utleniające	
glukoza-6-fosforan + NADP → 6-fosfoglukono-δ-lakton + NADPH + H ⁺	dehydrogenaza glukoza-6-fosforanowa
6-fosfoglukono-δ-lakton + H ₂ O → 6-fosfoglukonian + H ⁺	glukonolaktonaza
6-fosfoglukonian + NADP ⁺ → rybułozo-5-fosforan + CO ₂ + NADPH	dehydrogenaza-6-fosfoglukonianowa (dekarbonylująca)
Odgałęzienie nieutleniające	
rybułozo-5-fosforan ⇌ rybozo-5-fosforan	izomeraza pentozofosforanowa (rybozofosforanowa)
rybułozo-5-fosforan ⇌ ksylulozo-5-fosforan	epimeraza pentozofosforanowa (3-epimeraza rybułozofosforanowa)
ksylulozo-5-fosforan + rybozo-5-fosforan ⇌ sedoheptulozo-7-fosforan + + aldehyd 3-fosfoglicerynowy	transketolaza
sedoheptulozo-7-fosforan + aldehyd 3-fosfoglicerynowy ⇌ fruktozo-6-fosforan + + erytrozo-4-fosforan	transaldolaza
ksylulozo-5-fosforan + erytrozo-4-fosforan ⇌ fruktozo-6-fosforan + + aldehyd 3-fosfoglicerynowy	transketalaza

Kierunki reakcji zależą od zapotrzebowania

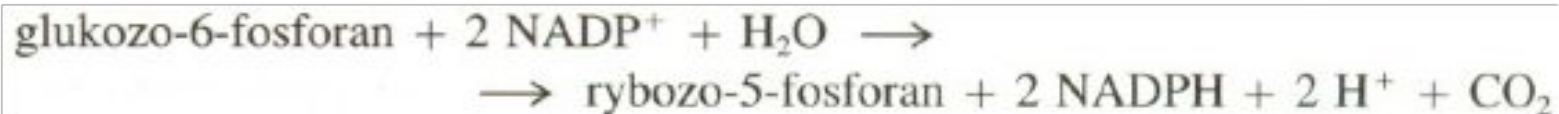
Szlaku przemian glukozy-6-fosforanu decyduje zapotrzebowanie na NADPH, rybozy-5-fosforan i ATP.

Cztery kierunki reakcji:

1. Potrzeba o wiele więcej rybozy-5-fosforanu niż NADPH. Na przykład - szybko dzielące się komórki potrzebują rybozy-5-fosforanów do syntez nukleotydowych prekursorów DNA. W procesach glikolitycznych większość glukozy-6-fosforanu przekształca się we fruktozy-6-fosforan i aldehyd-3-fosfoglicerynowy.



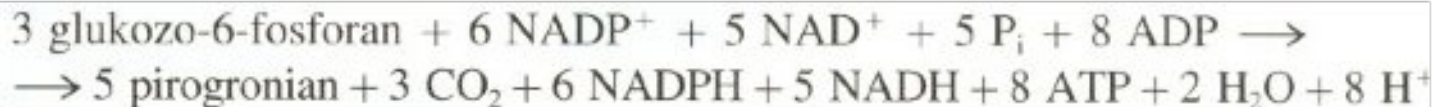
2. Zapotrzebowanie na NADPH i rybozy-5-fosforan jest zrównoważone. Dominuje w takim wypadku przemiana glukozy-6-fosforanu prowadząca do dwu NADPH i jednego rybozy-5-fosforanu w ramach utleniającego odgałęzienia szlaku pentozofosforanowego.



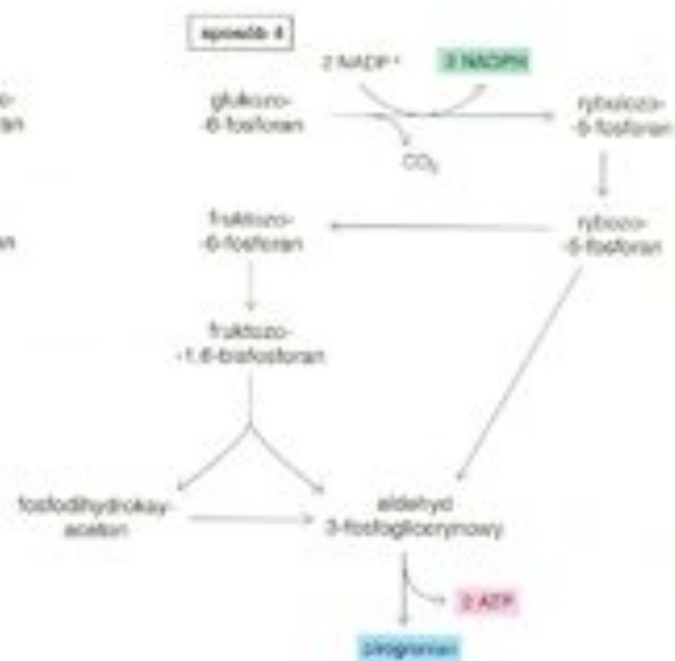
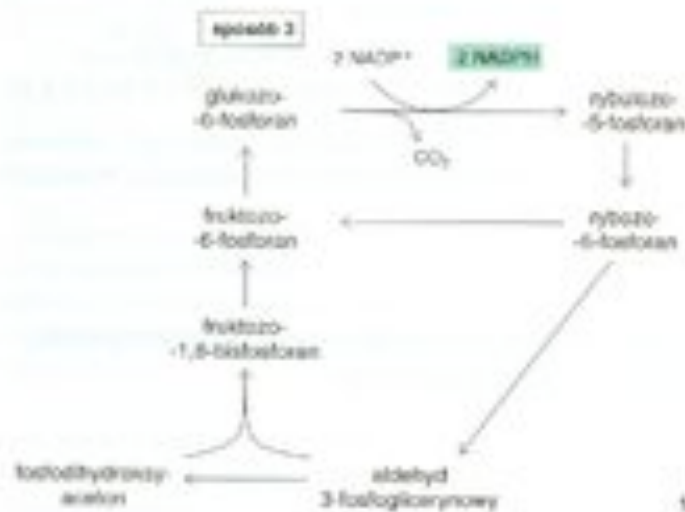
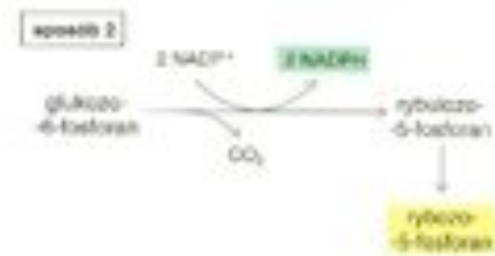
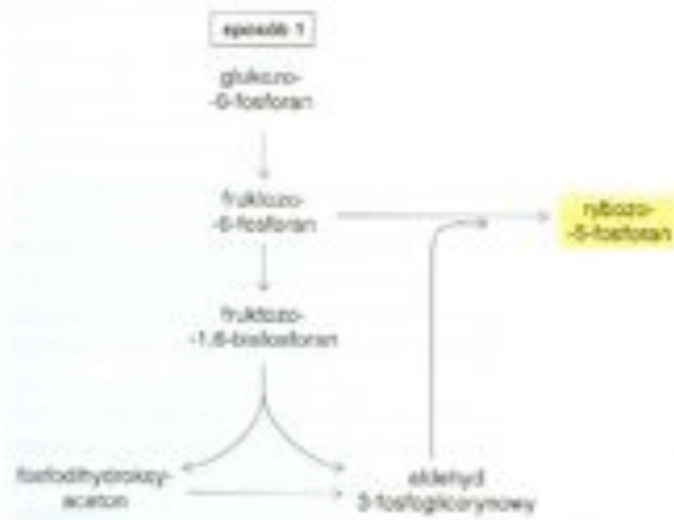
3. Potrzeba znacznie więcej NADPH niż rybozy-5-fosforanu; glukozy-6-fosforan jest całkowicie utleniany do CO₂. Na przykład - tkanka tłuszczowa potrzebuje do syntez kwasów tłuszczowych znacznego stężenia NADPH.



4. Potrzeba znacznie więcej NADPH niż rybozy-5-fosforanu; glukozy-6-fosforan jest przekształcany w pirogronian.



Kierunki reakcji zależą od zapotrzebowania

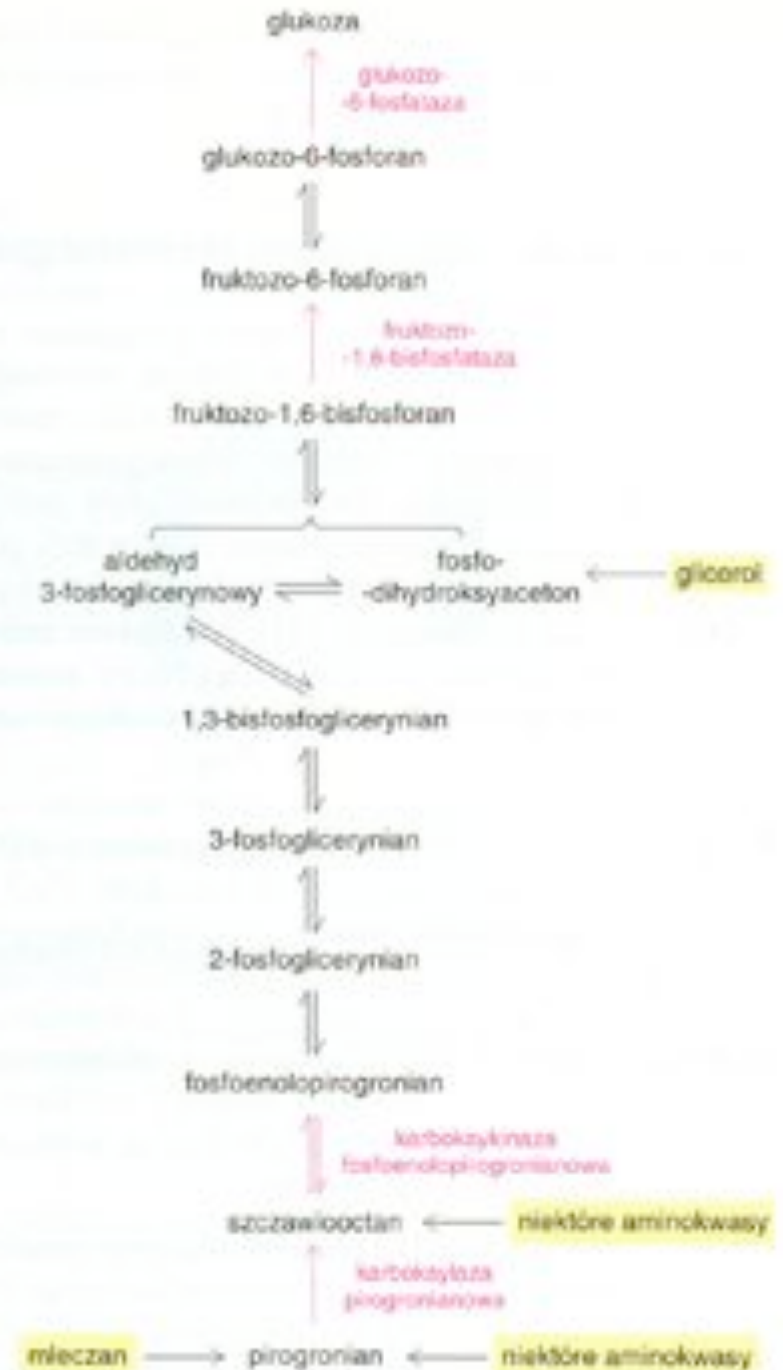


Szlak pentozofosforanowy - enzymy

1. **Wzajemne oddziaływania szlaków glikolitycznego i pentozofosforanowego** umożliwiają **dostosowanie stężenia NADPH, ATP** i związków budulcowych, takich jak **rybozo-5-fosforan** i **pirogronian**, do stale zmieniających się potrzeb komórki.
2. **Reakcje szlaku pentozofosforanowego** przebiegają znacznie mniej intensywnie w **mięśniu szkieletowym** niż w **tkance tłuszczowej**.
3. Jest to całkowicie zgodne z hipotezą zakładającą, że **główna rola szlaku pentozofosforanowego** polega na **dostarczaniu NADPH niezbędnego do biosyntezy redukcyjnych**.
4. Duże **ilości NADPH** są zużywane w **tkance tłuszczowej** podczas redukcyjnej syntezy kwasów tłuszczowych z acetylo-CoA oraz w gruczole mlekowym w czasie laktacji.

Glukoneogeneza

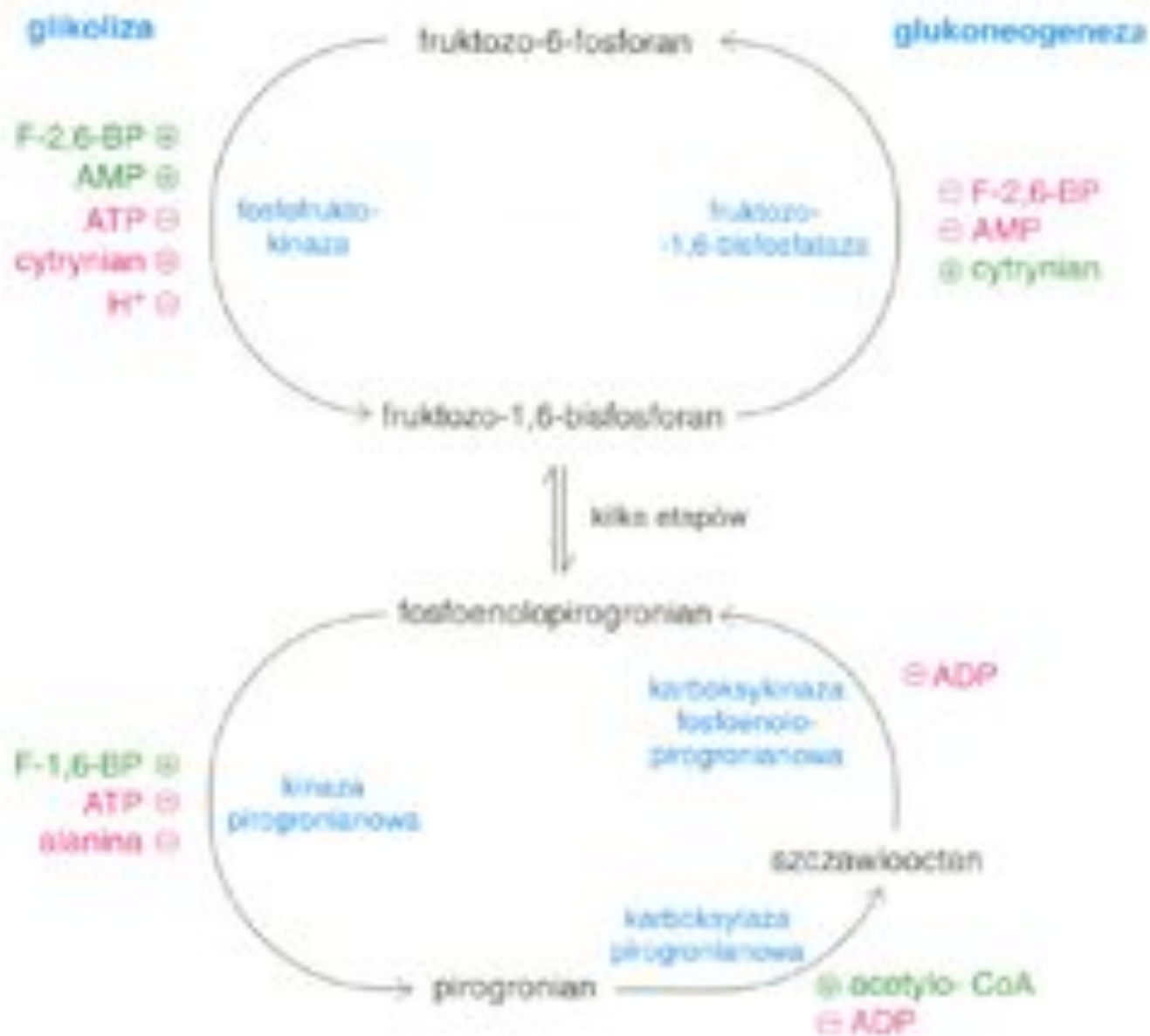
1. Proces **syntezy glukozy z prekursorów nie będących cukrowcami** - mleczanu, aminokwasów i glicerolu - **nazywamy glukoneogenezą**.
2. Niektóre spośród **reakcji przekształcających pirogronian** w glukozę są takie same jak podczas **glikolizy**, jednak **w procesie glukoneogenezy muszą zajść cztery nowe reakcje**, aby ominać w pełni nieodwracalne reakcje glikolizy.
3. **Pirogronian** jest dlatego karboksylowany w mitochondriach do szczawiooctanu, który następnie jest dekarboksylowany i fosforylowany w cytozolu do fosfoenolpirogronianu. Podczas tych reakcji, katalizowanych przez **karboksylazę pirogronianową** i **karboksykinazę fosfoenolpirogronianową**, zużywane są dwa wysokoenergetyczne wiązania fosforanowe.



Glukoneogeneza

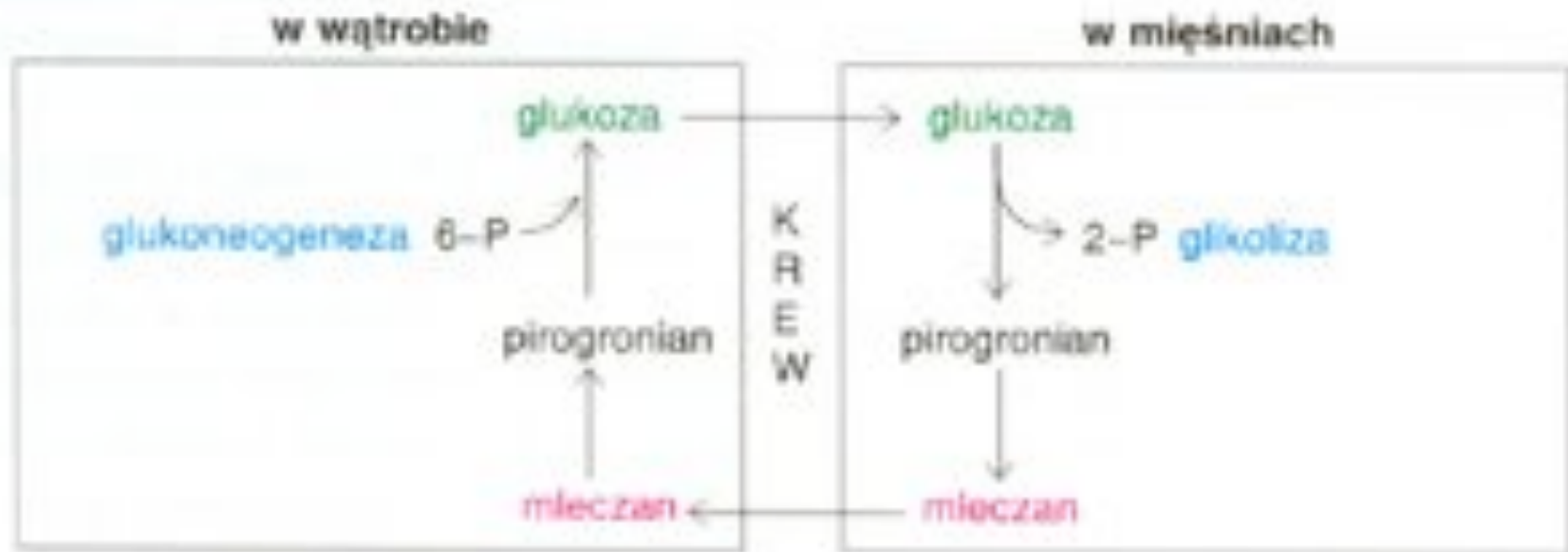
1. **Karboksylaza pirogronianowa** zawiera **biotynę** jako grupę prostetyczną.
2. Reakcjami odróżniającymi **glukoneogenezę od glikolizy** są: hydroliza fruktozo-1,6-bisfosforanu i hydroliza glukozy-6-fosforanu przez specyficzne **fosfatazy**.
3. Podstawowymi **substratami glukoneogenezy w wątrobie** są **kwask mlekowy** i **alanina**, wytwarzane z pirogronianu w mięśniach szkieletowych. Powstawanie **mleczanu** podczas intensywnej pracy mięśni pozwala zyskać na czasie, a także **przekazać część obciążenia metabolicznego mięśni wątrobie**.
4. **Glukoneogeneza i glikoliza** są przeciwnie regulowane w ten sposób, że jeśli jeden szlak jest stosunkowo nieaktywny, to w tym samym czasie drugi ma bardzo dużą aktywność.
5. Kluczowymi punktami kontrolnymi są **fosfofruktokinaza** i **fruktozo-1,6-bisfosfataza**. Aktywność tych enzymów jest regulowana przez **fruktozo-2,6-bisfosforan**, wewnątrzkomórkową cząsteczkę sygnałową, której stężenie jest duże w obfitości glukozy; aktywuje ona wtedy glikolizę, a hamuje glukoneogenezę.
6. **Kinaza pirogronianowa** i **karboksykinaza pirogronianowa** są regulowane przez inne efekторы, dlatego też obydwa enzymy nie są maksymalnie aktywne w tym samym czasie.
7. **Procesy szybkie** - regulacja allosteryczna i odwracalna fosforylacja uzupełnia kontrolę na poziomie transkrypcji, która przebiega w dłuższym czasie, mierzoną w godzinach lub dniach. Umiarkowana równoczesna aktywność przeciwnych enzymów, nazywana cyklem substratowym, może być wykorzystana do wzmacniania sygnałów metabolicznych.

Różnice pomiędzy glikolizą a glukoneogenezą

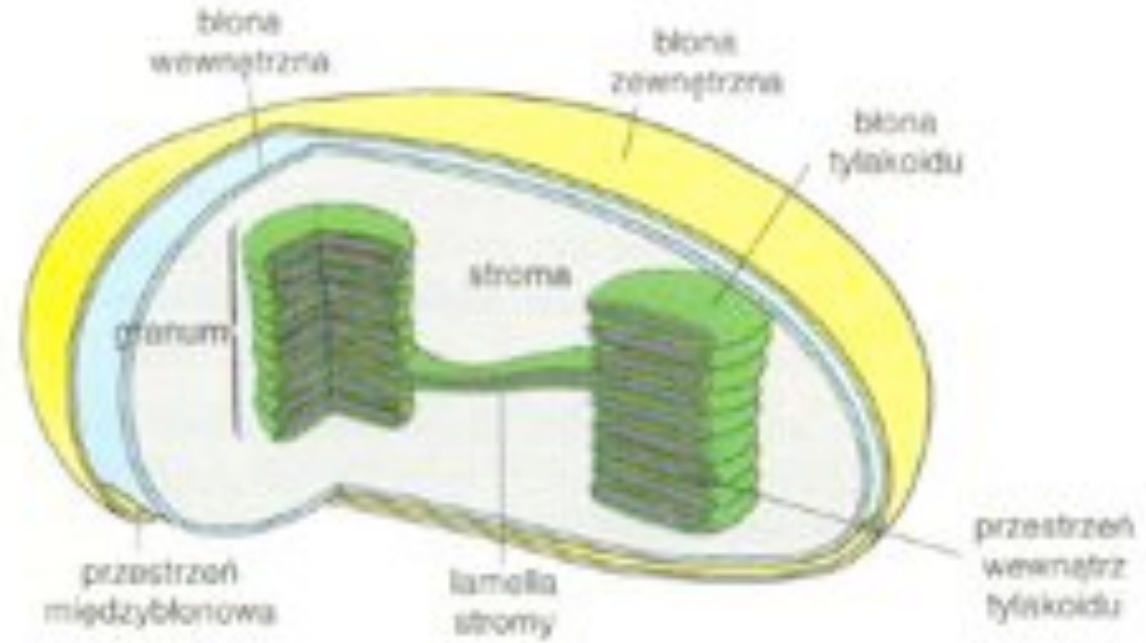
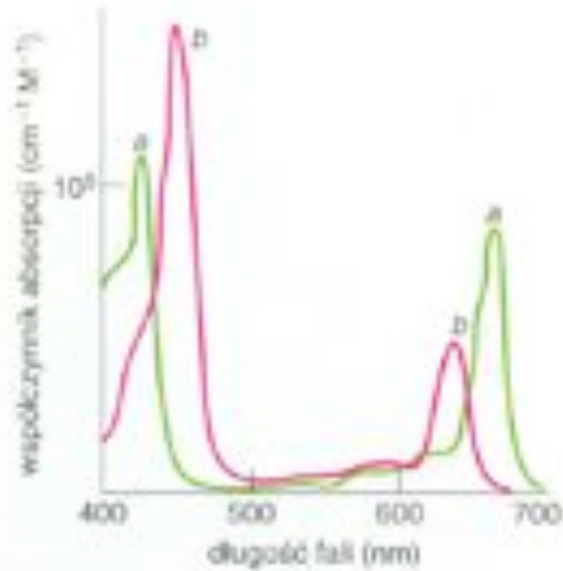


Cykl Corich

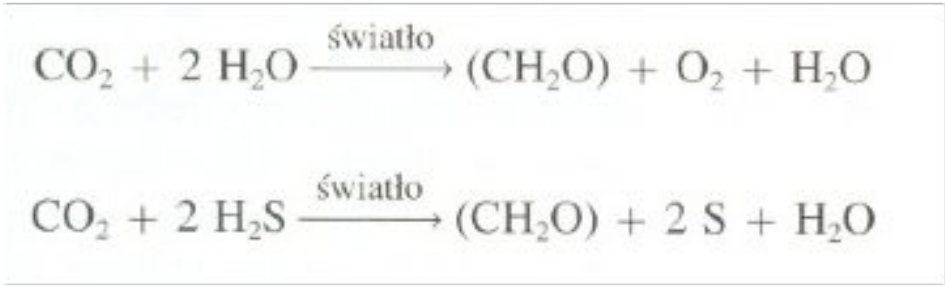
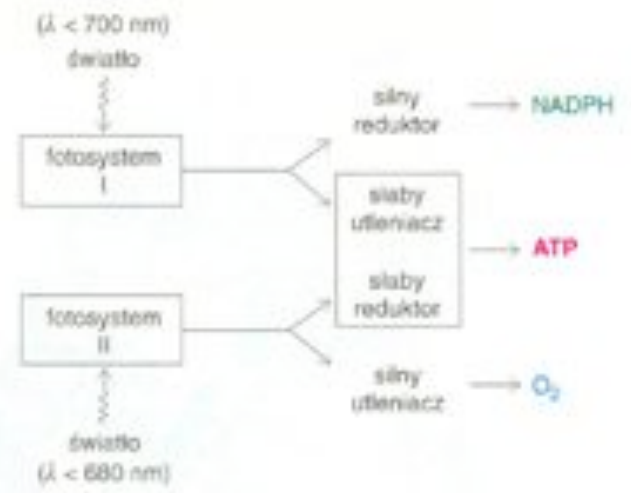
1. **Mleczan** powstający w **pracującym mięśni** ulega w wątrobie przekształceniu w glukozę.
2. Cykl ten przesuwa **część obciążenia metabolicznego** z pracujących mięśni do wątroby



Fotosynteza



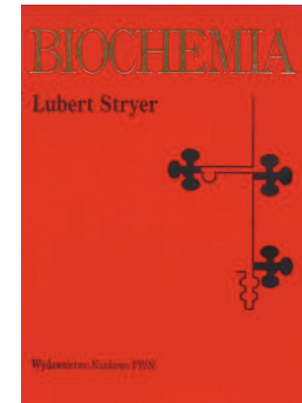
Struktura chloroplastu



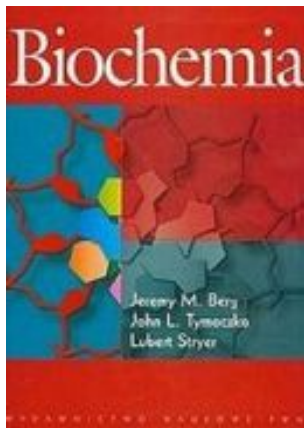
Zakres materiału METABOLIZM III

Uzyskiwanie energii w procesach metabolicznych I jej magazynowanie

- 23 Metabolizm glikogenu
- 24 Metabolizm kwasów tłuszczowych
- 25 Rozkład aminokwasów i cykl mocznikowy



Biochemia, Autor: Lubert Stryer,
PWN Warszawa 1999



Biochemia, Autor: Jeremy Berg, Lubert Stryer,
John L. Tymoczko, PWN Warszawa 2005

PRZEKAZYWANIE I MAGAZYNOWANIE ENERGII

- 21 Metabolizm glikogenu
- 22 Metabolizm kwasów tłuszczowych
- 23 Rozkład aminokwasów i cykl mocznikowy