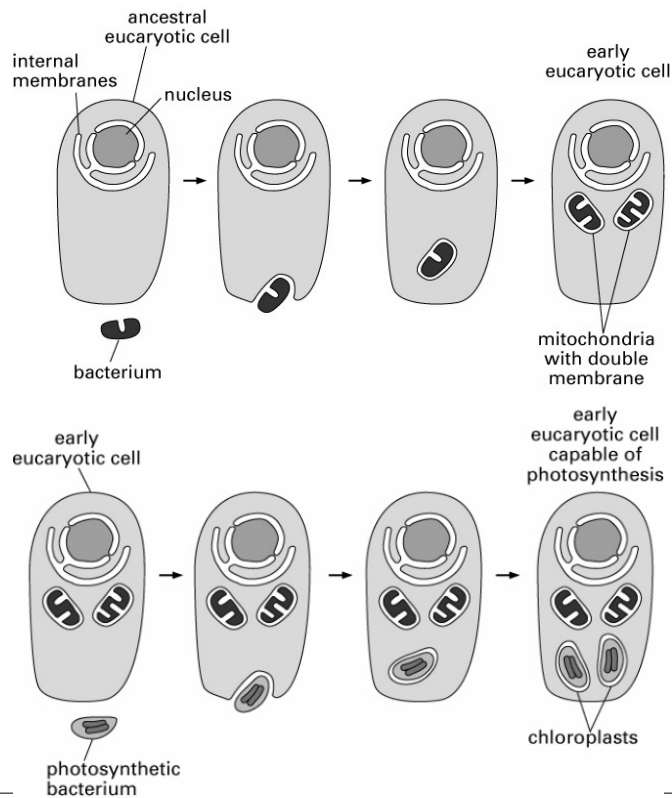


Transformatory energii (mitochondria i chloroplasty)



ewolucja eukariontów

endosymbioza prakomórki
eukariotycznej z prabakterią
purpurową

lub pracyjanobakterią

Pochodzenie mitochondriów i chloroplastów–

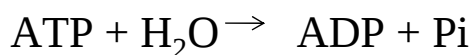
Mitochondria - siłownie komórki

życie → nakład energii

źródła energii: promienie świetlne
 utlenianie substratów

przenośnik energii: ATP

Energia uwolniona w wyniku hydroliza 1 mola ATP:



$$\Delta G^\circ = -29,288 \text{ kJ} \times \text{mol}^{-1} \quad (25^\circ \text{ C; 1 atm})$$

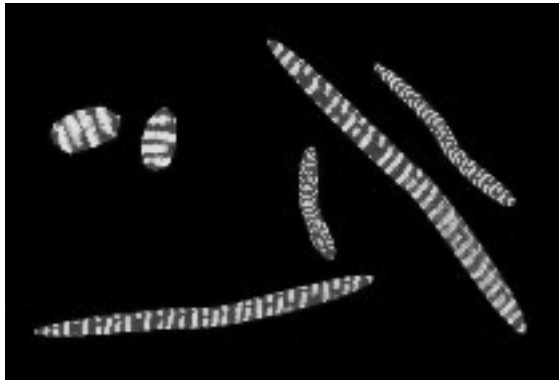
Otrzymywanie ATP - fosforylacja:

substratowa (beztlenowy rozkład węglowodanów)

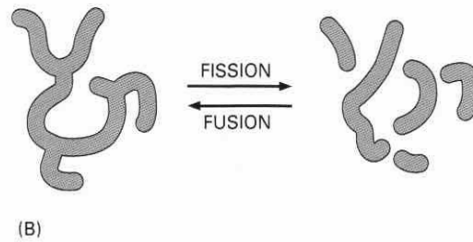
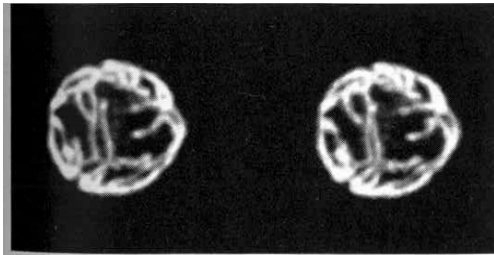
fotosyntetyczna (fotosynteza –faza świetlna)

oksydatywna (utlenianie substratów -mitochondria)

Mitochondria



- wielkość, kształt, typy
nitkowate i wydłużone
ziarniste
rozgałęzione
- nie są formą statyczną
(plastyczność)



film



Filmowanie poklatkowe (w mikroskopie fluorescencyjnym) sieci mitochondrialnej w komórkach drożdży (krok czasowy 3 min)

Mitochondria – liczebność, rozmieszczenie

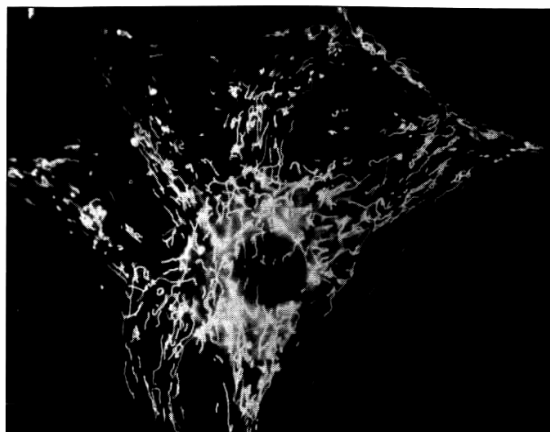
odzwierciedlenie zapotrzebowania energetycznego komórki

od kilkudziesięciu do ponad 200 tyś

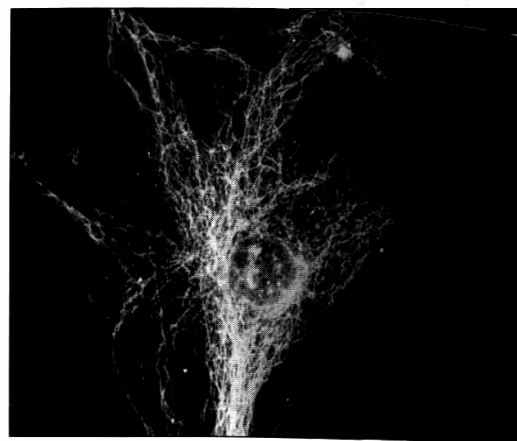
nieliczne - plemniki, komórki tkanki tłuszczowej

liczne - komórki serca, wątroby, ameby (*Chaos chaos*)

12% -25% objętości komórki



(A)
mitochondria

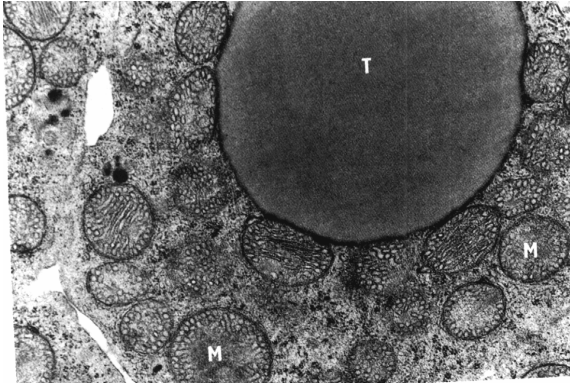


(B)
mikrotubule

10 μm

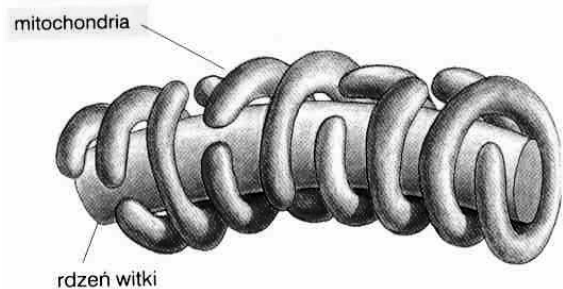
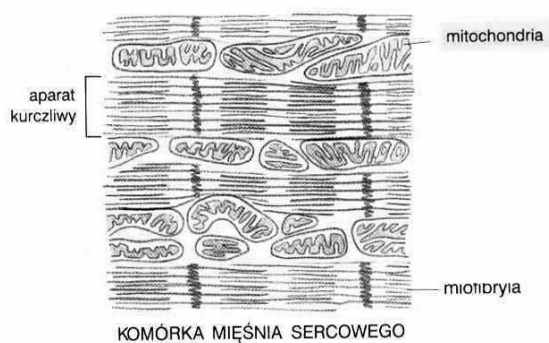
Rozmieszczenie - nie jest przypadkowe

➤ w sąsiedztwie substancji zapasowych



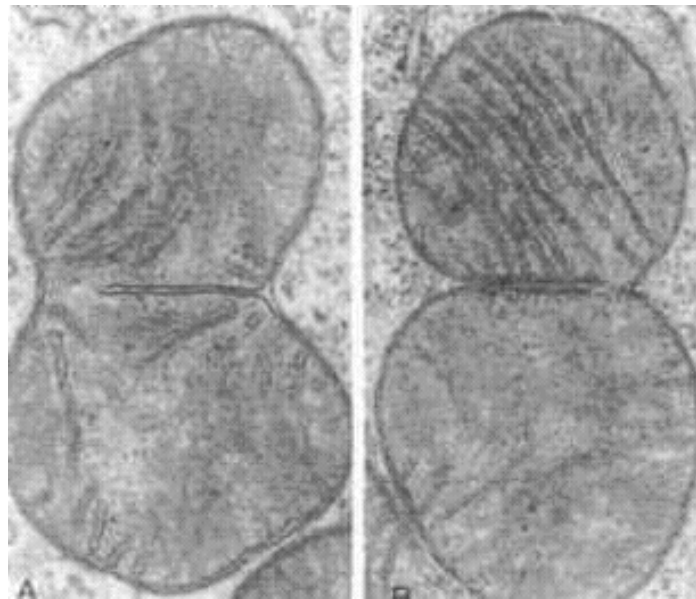
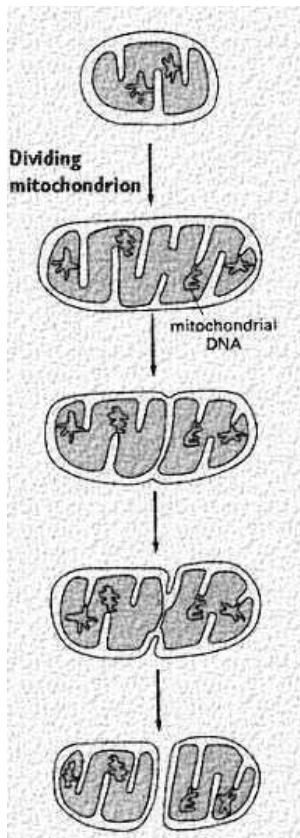
komórki kory
nadnerczy –obok
kropeł tłuszczu

➤ lokalne zapotrzebowanie na energię



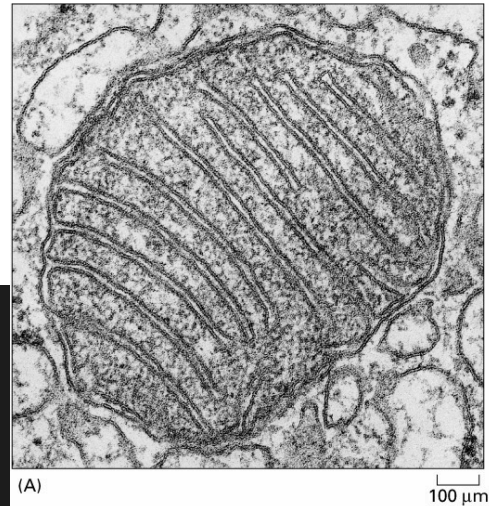
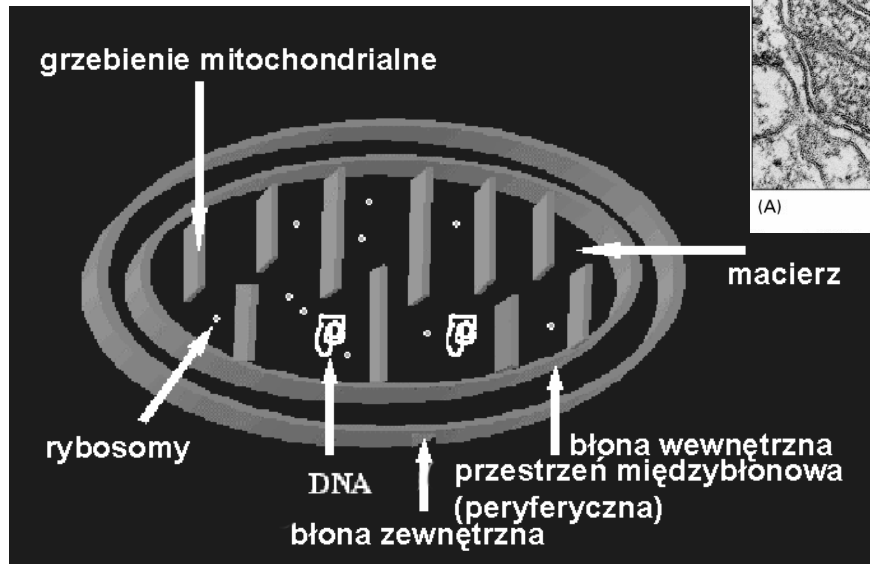
WITKA PLEMNIKA

podział mitochondrium



degradacja (autofagia)

budowa wewnętrzna



Film

błony mitochondrialne

zewnętrzna

6-7 nm

gładka

około 50% białek

lipidy: dużo cholesterolu i fosfatydyloiozytolu

przepuszczalność:

kanały wodne (poryna);
cząsteczki < 5 kD

białka:

białka kompleksów translokacyjnych
receptory dla białek importowanych

enzymy związane z syntezą lipidów mitochondrialnych

wewnętrzna

5-6nm

pofałdowana (grzebień)

75 -80% białek (wiele białek unikatowych)

lipidy: kardiolipina;

K:PC:PE = 2:3:4

wysoka selektywność

przepuszczalności

białka:

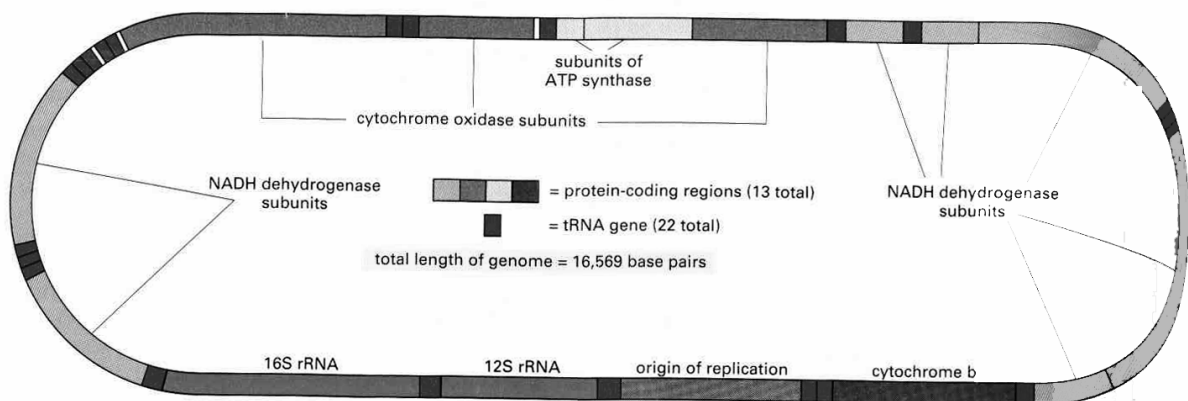
kompleksów translokacyjnych
łańcucha transportu elektronów
syntaza ATP

białka przenośnikowe (ATP, ADP, Pi, pirogronianu..)

macierz mitochondrialna (matriks)

- konsystencja żelu (woda < 50%)
- białka: (w hepatocytach- 67% białka)
 - kompleks dehydrogenazy pirogronianowej
 - enzymy cyklu kwasów trikarboksylowych
 - enzymy utleniania kwasów tłuszczowych
 - enzymy i czynniki do replikacji, transkrypcji i translacji
 - białka szoku cieplnego (hsp 70)
- DNA (mtDNA)
- t RNA
- wolne poliribosomy

ludzki genom mitochondrialny



kolista dwuniciowa cząsteczka DNA

Koduje: 2 mt rRNA

22 mt tRNA

**13 (z 67) polipeptydów łańcucha
oddechowego i syntazy ATP**

ponad 600 białek mitochondrialnych
syntetyzowanych jest w cytoplazmie

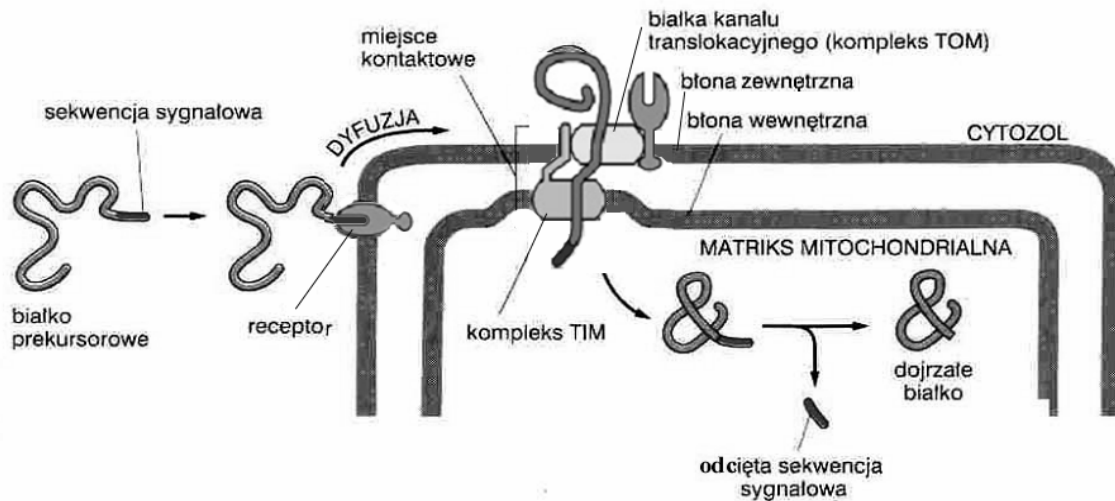
Transport (import) białek do mitochondriów

➤ Sekwencja wiodąca = sygnałowa (~70 aa):

- sekwencja kierująca (N-koniec –hydrofilowa)
- sekwencja sortująca (hydrofobowa) do błon i przestrzeni międzymbłonowej
- uniwersalność i konserwatyzm sekwencji mitochondrialnych

➤ receptory dla sekwencji kierujących

➤ białka kanałów translokacyjnych

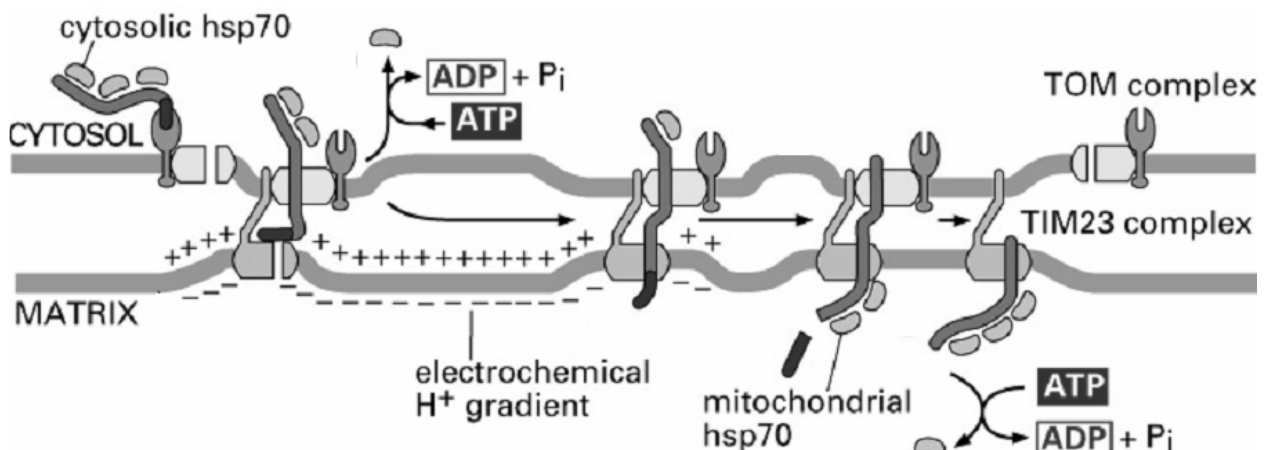


➤ rozfałdowanie białek (białka opiekuńcze= białka hsp)

➤ energia do transportu:

z ATP

z różnicy potencjału po obu stronach błony wewnętrznej



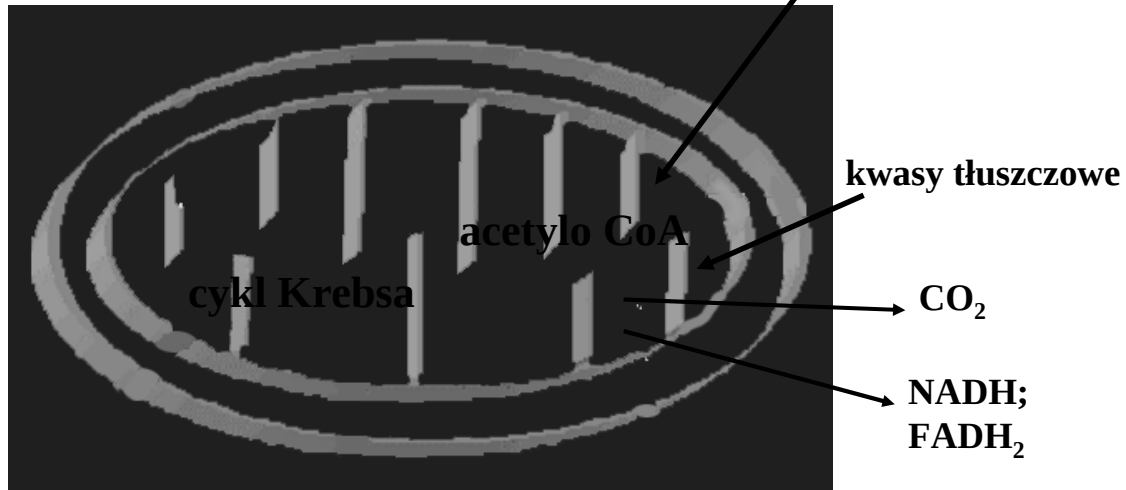
Mitochondria

główne procesy metaboliczne

metabolizm generujący energię –rozkład cząsteczek pokarmu (węglowodanów, lipidów, białek)- utlenianie substratów

I etap w cytozolu (glikoliza)

II etap w matriks mitochondrium



II etap - w matriks mitochondrium

pirogonian

↓
dekarboksylacja
kompleks
dehydrogenazy
pirogonianowej

acetylo CoA

kwasy tłuszczowe

↓
cykl utleniania
(β-oksydacja)
4 enzymy

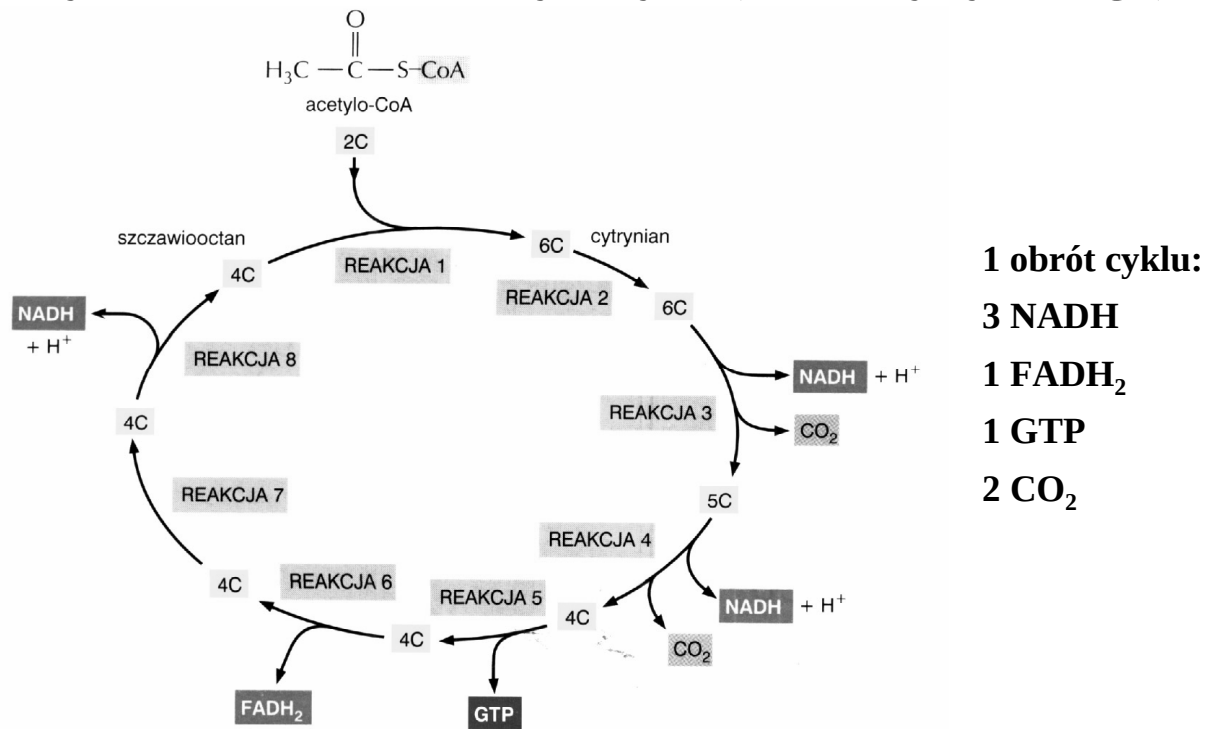
acetylo CoA

utlenianie acetylo CoA

redukcja NAD⁺
redukcja FAD

↘ ↙
- cykl kwasów trikarboksylowych
(cykl kwasu cytrynowego; cykl Krebsa)

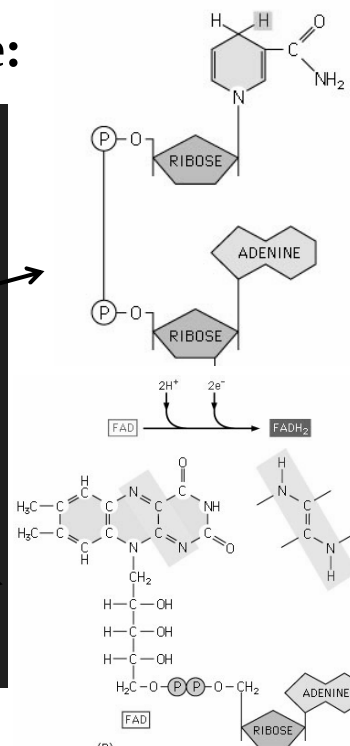
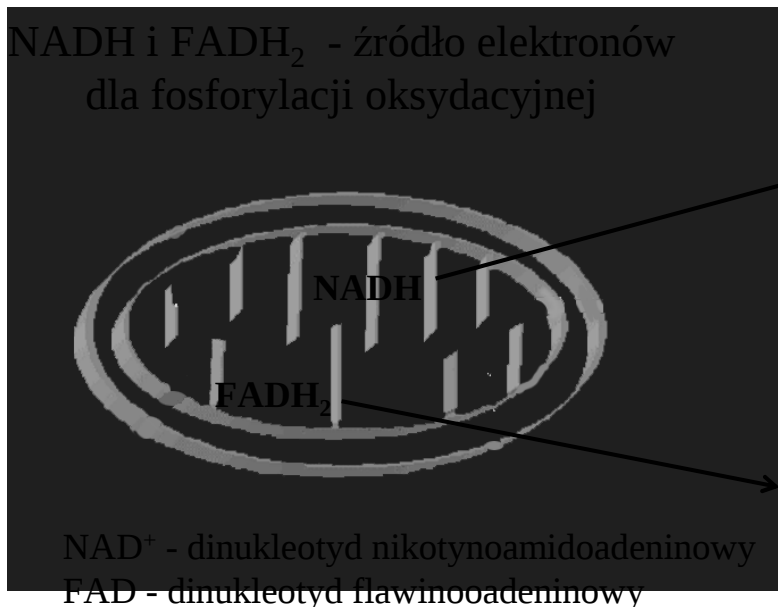
cykl kwasów trikarboksylowych (kwasu cytrynowego)



NAD⁺ (dinukleotyd nikotynoamidoadeninowy)
 FAD (dinukleotyd flawinoadeninowy)

III etap – łańcuch przenośników elektronów i synteza ATP – wewnętrzna błona mitochondrialna

Zaktywowane cząsteczki nośnikowe:



Łańcuch przenośników elektronów i synteza ATP

Etap 1

- transport elektronów wzdłuż przenośników (uwolnienie energii)
[błona wewnętrzna]
- pompowanie protonów (wykorzystanie energii)
[w poprzek błony wewnętrznej]

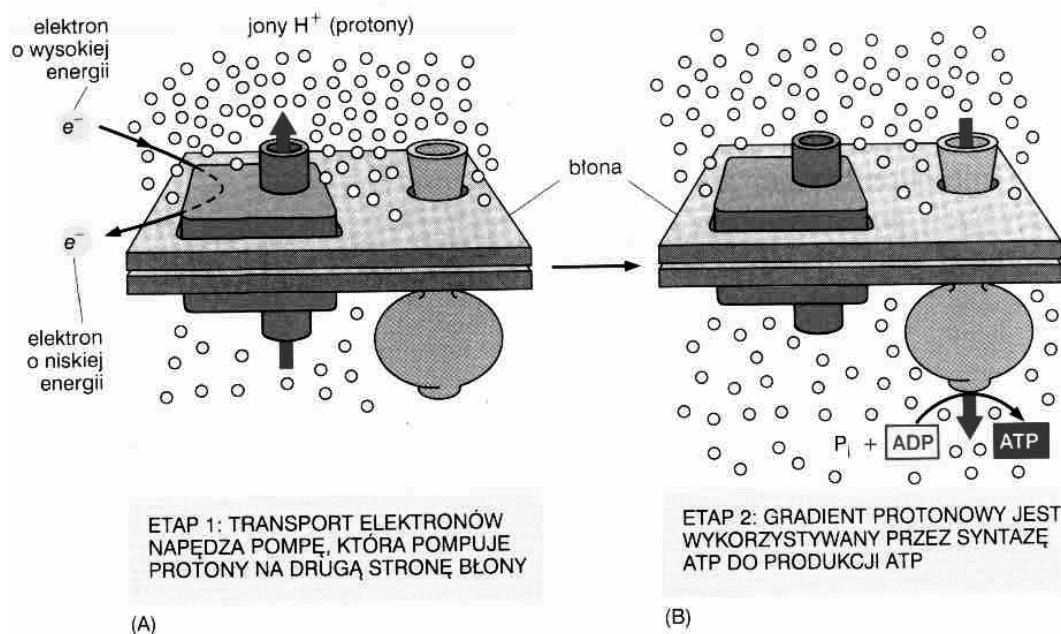
powstaje elektrochemiczny gradient protonowy

Etap 2

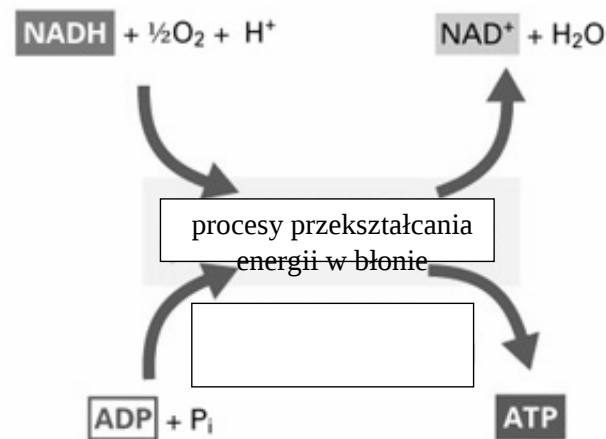
- przepływ protonów (zgodnie z gradientem elektrochemicznym)
[błona wewnętrzna -kompleks syntazy ATP]
- synteza ATP (wykorzystanie energii)

sprzężenie chemiosmotyczne

sprzężenie chemiosmotyczne



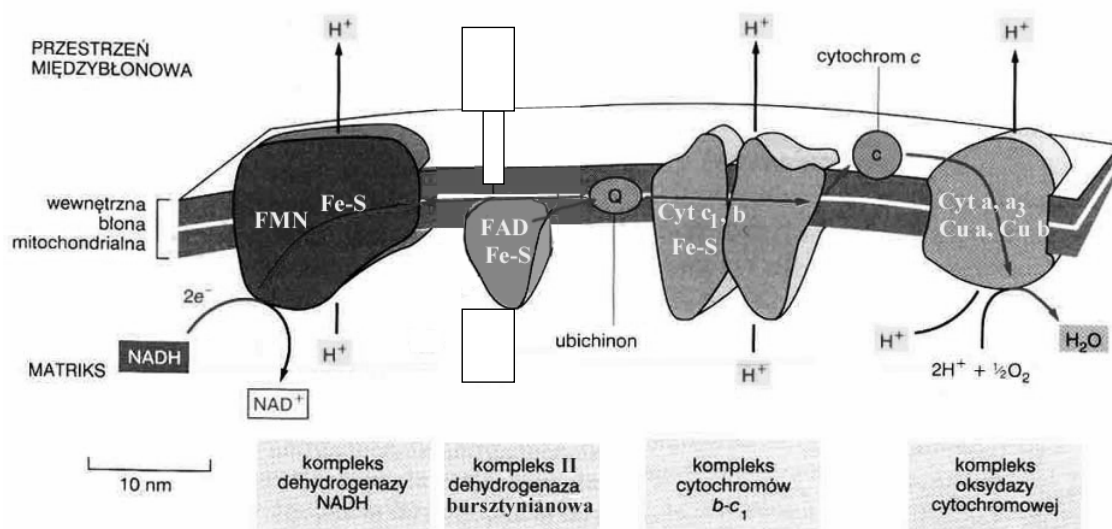
Fosforylacja oksydacyjna (oksydatywna)



Mitochondria

Łańcuch transportu elektronów (łańcuch oddechowy)

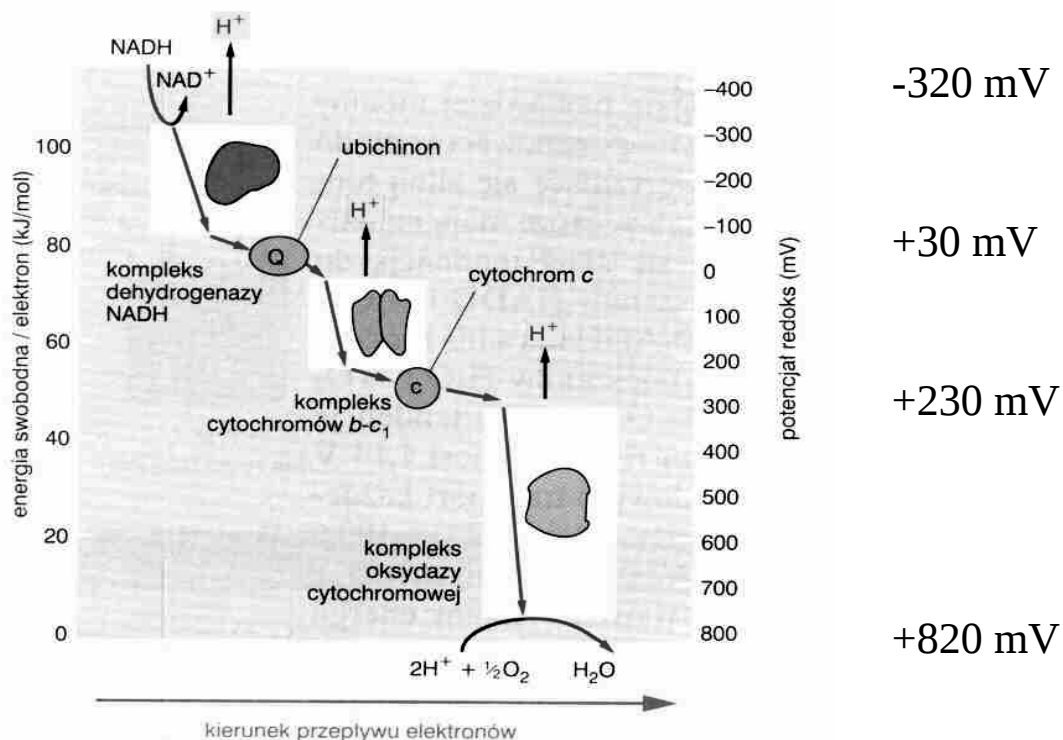
40 białek (15 –transport elektronów)



Droga dla elektronów: jony metali;

grupy chemiczne: FMN (mononukleotyd flawinowy); FAD (dinukleotyd flawinowy)
ubichinon

transport elektronów -potencjał redoks

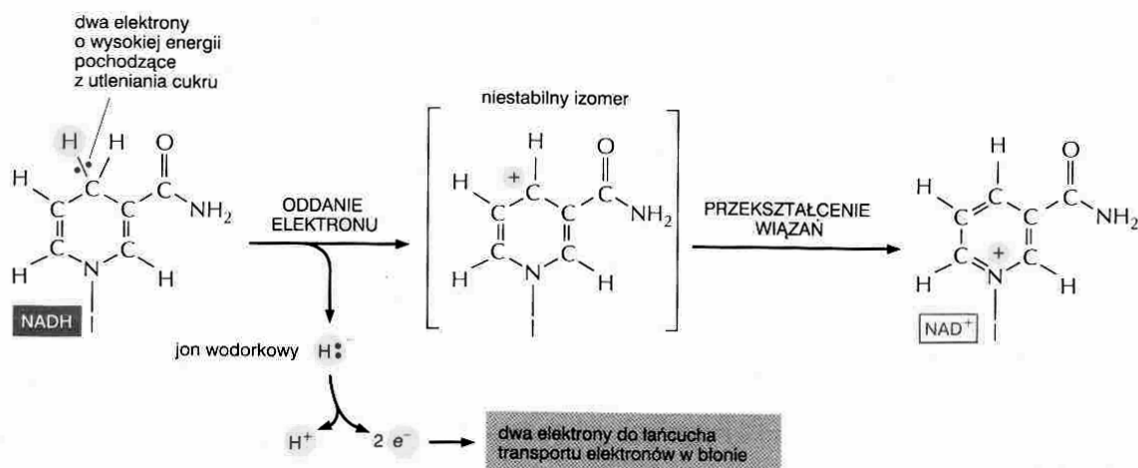


$$\Delta G^0 = -109,6 \text{ kJ/mol (1e)}$$

$$1140\text{mV}$$

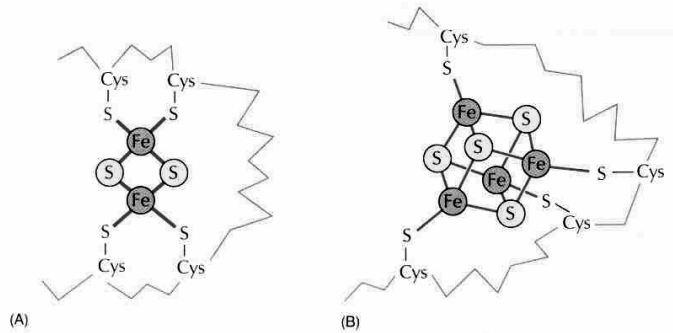
$$\text{ATP } \Delta G^0 = + 30,6 \text{ kJ/mol}$$

Transport elektronów

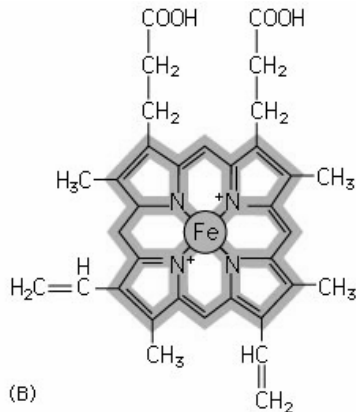


Rozpoczyna się od oddania elektronów przez NADH
(kompleks dehydrogenazy NADH)

transport elektronów w kompleksach

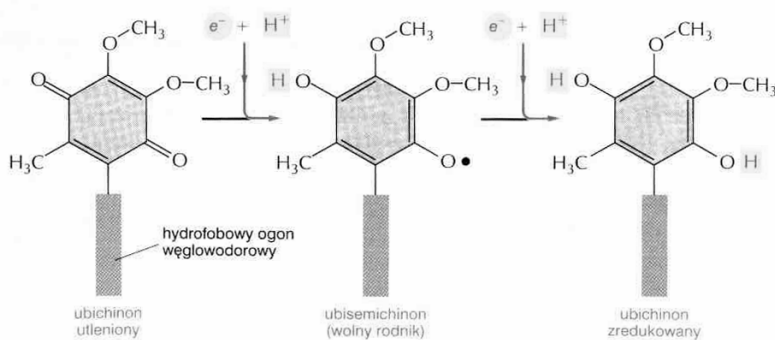


centra żelazo-siarkowe w
dehydrogenazie NADH
i dehydrogenazie
bursztynianowej

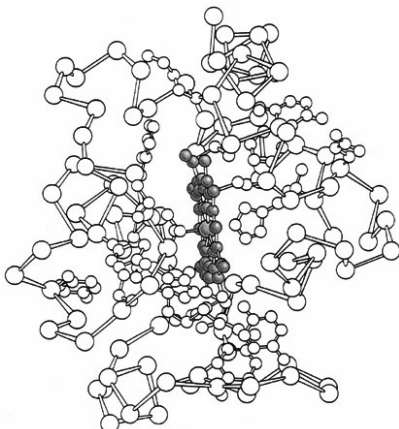


Przenośniki elektronów:
atomy Fe (FeII/FeIII)
w grupach hemowych

transport elektronów pomiędzy kompleksami



przenośnik chinonowy

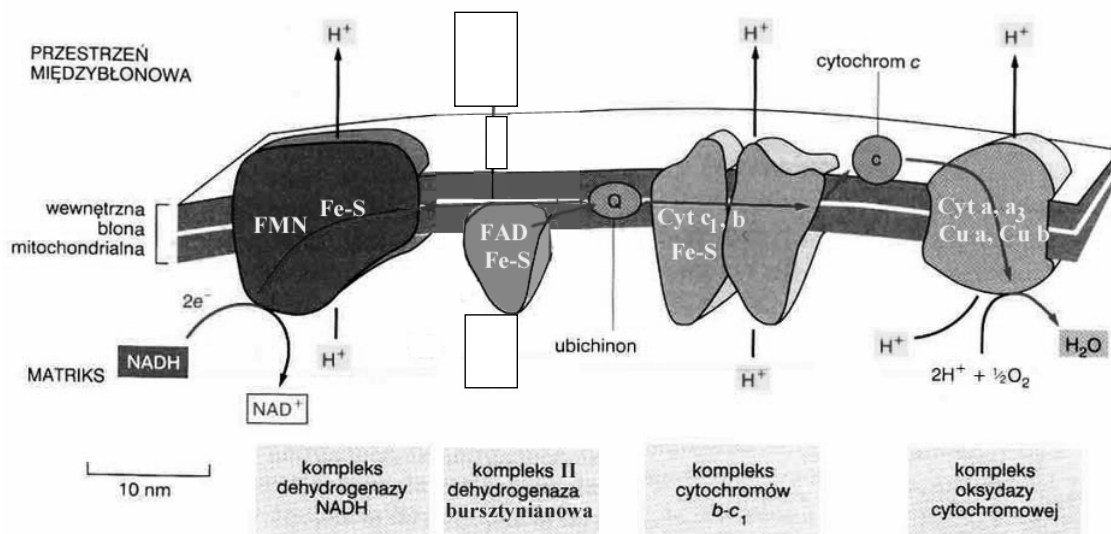


cytochrom c

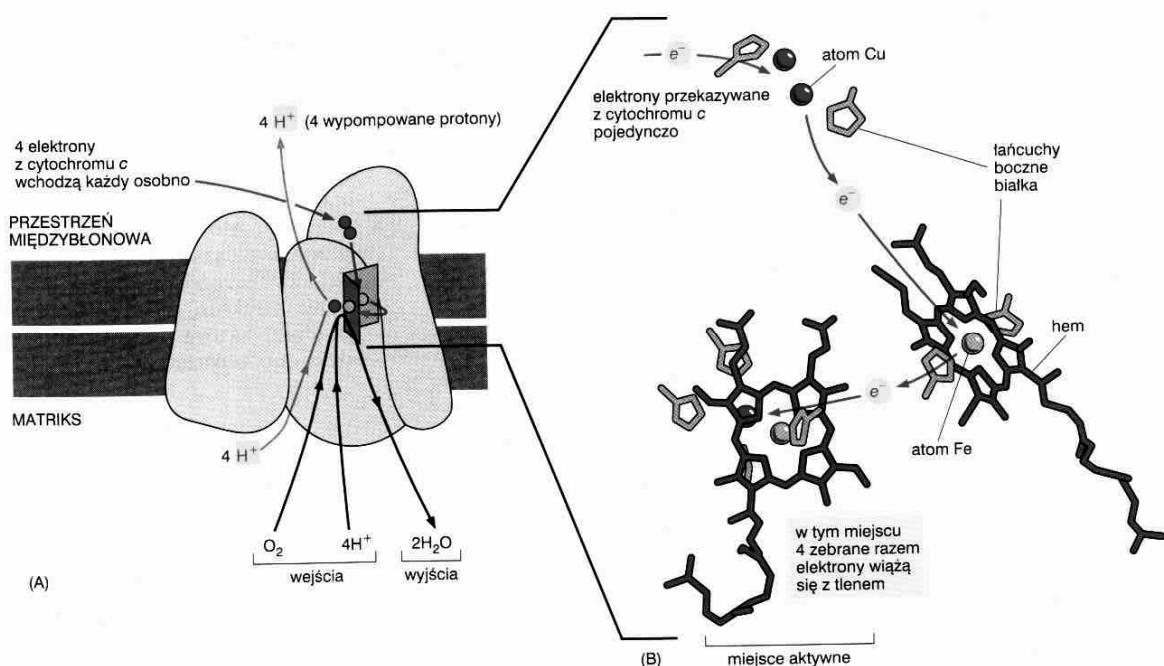
Przenośniki elektronów: atom Fe
(FeIII/FeII) w grupie hemowej

transport elektronów

film

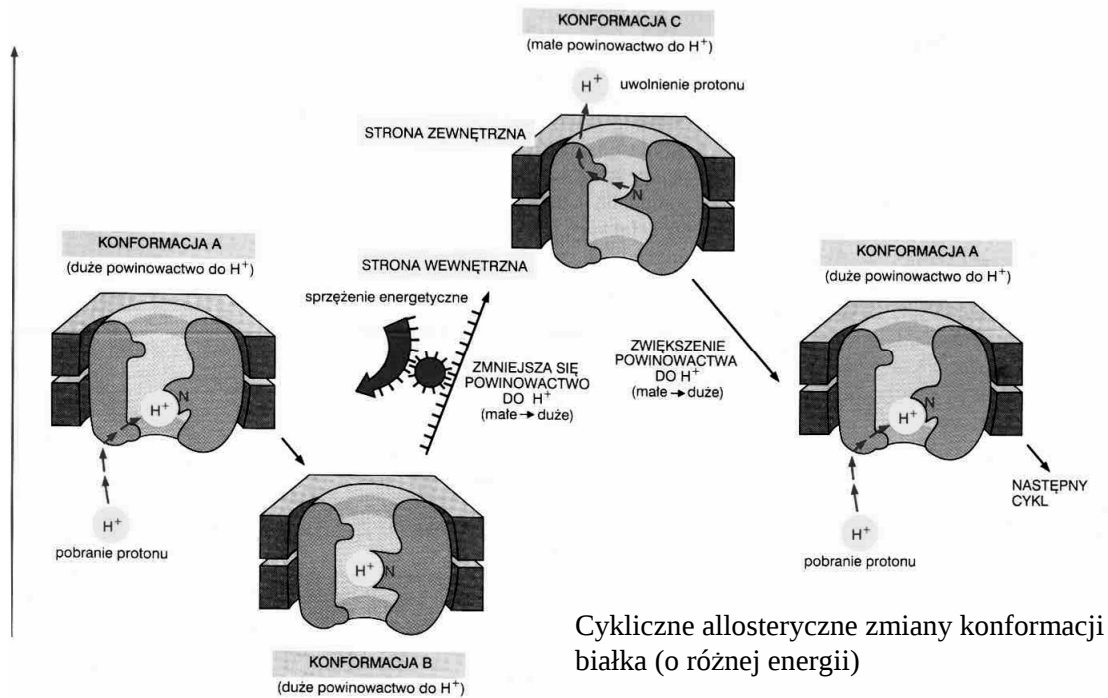


transport elektronów - kompleks oksydazy cytochromowej



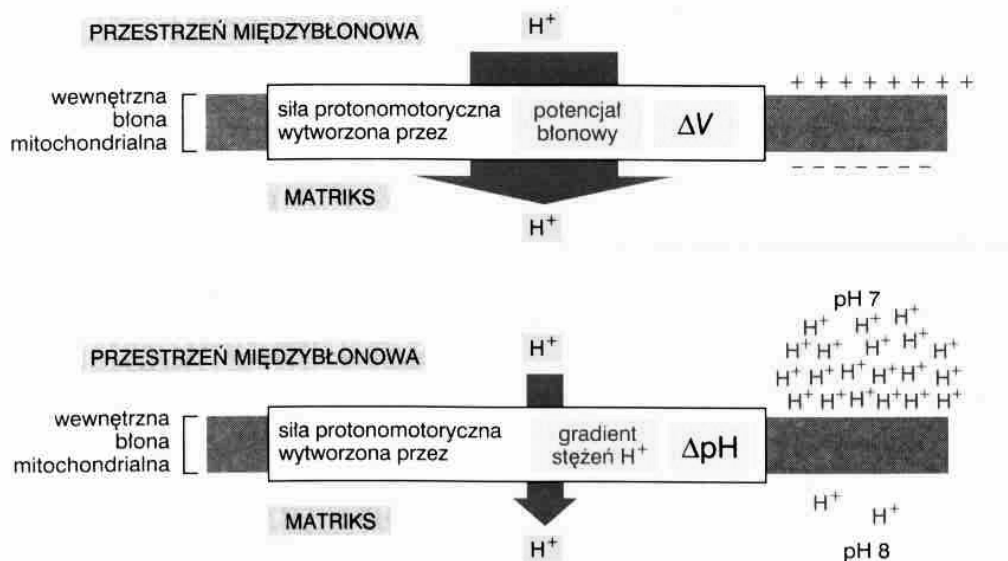
13 podjednostek białkowych; 3 w funkcjonalnym centrum kompleksu (genom mitochondrialny)

ogólny model pompowania protonów



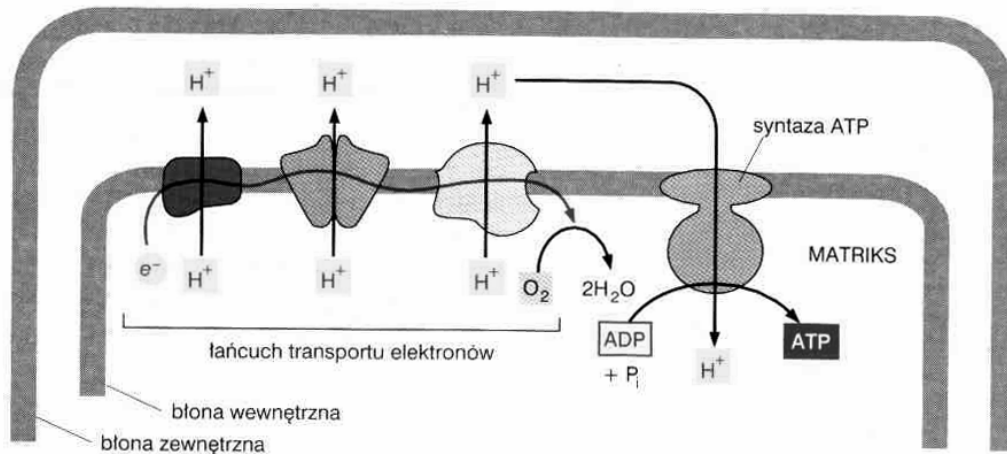
dehydrogenaza NADH i oksydaza cytochromowa
(kompleks cytochromów b-c₁: rola ubichinonu)

elektrochemiczny gradient protonowy



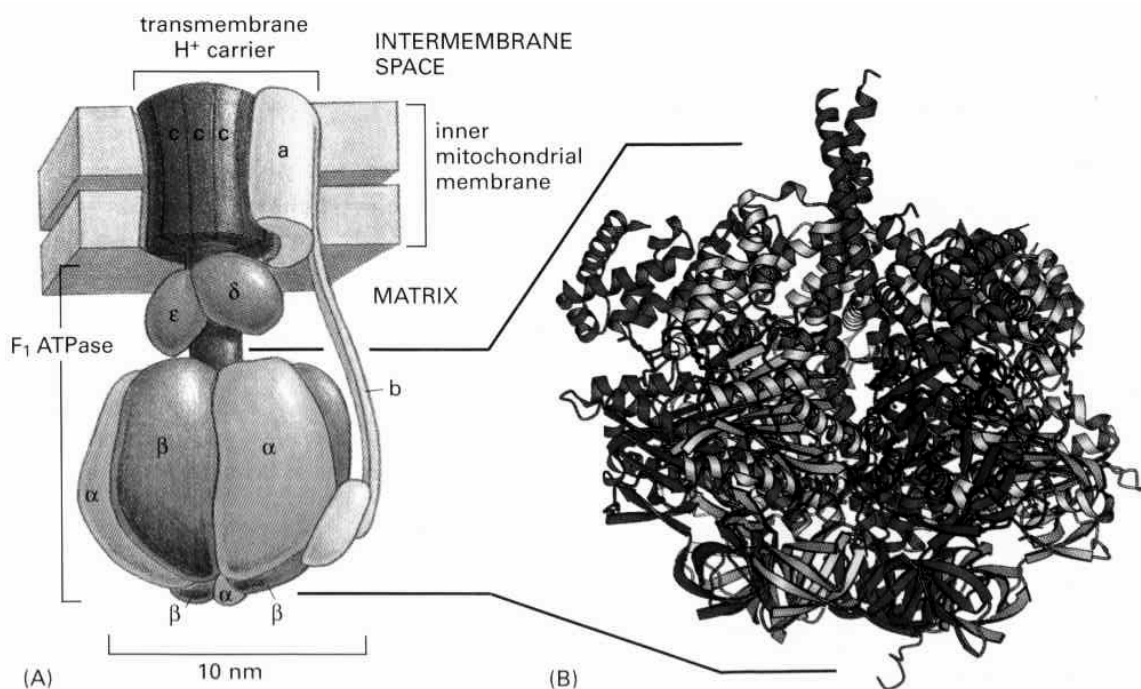
Etap 2: fosforylacja oksydacyjna

- przepływ protonów
zgodnie z gradientem elektrochemicznym
poprzez błonę wewnętrzną do matriks
(przez kompleks syntazy ATP)
- synteza ATP z ADP i P_i
wykorzystanie energii
(syntaza ATP)

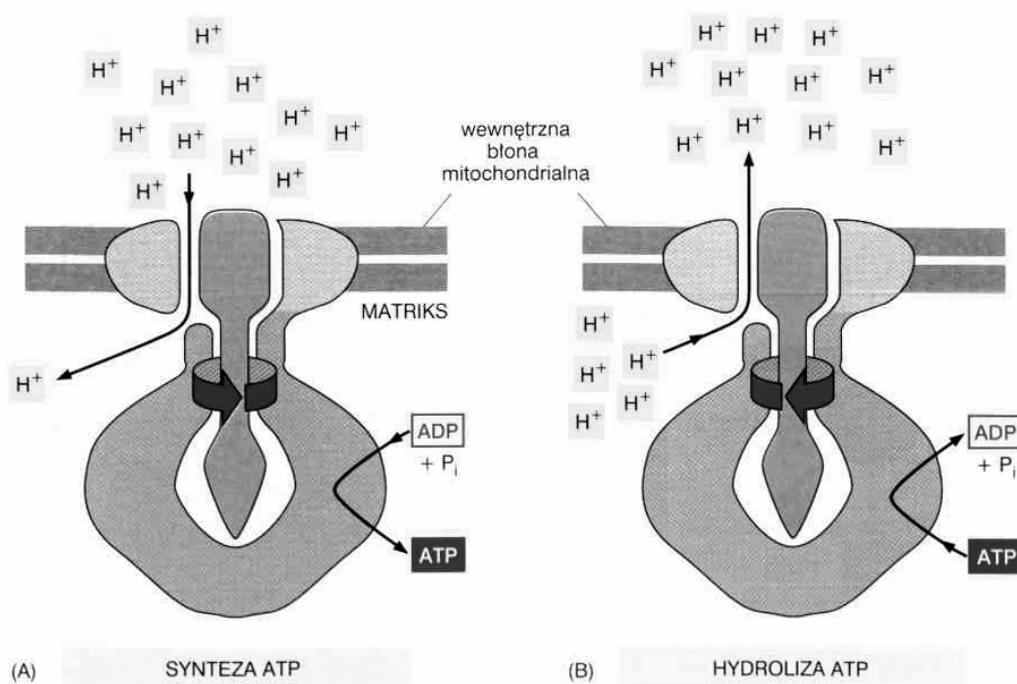


syntaza ATP

film

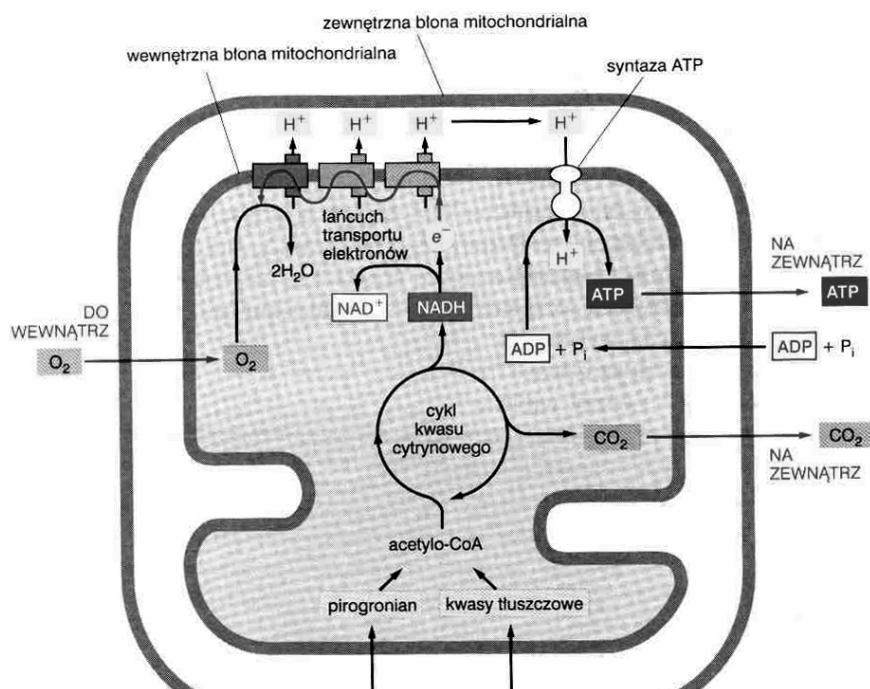


syntaza ATP



Mitochondria

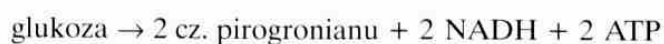
metabolizm generujący energię - oddychanie



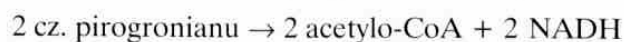
Wydajność otrzymywania produktów z utleniania cukrów i tłuszczów

A. Produkty utleniania netto jednej cząsteczki glukozy

W cytozolu (glikoliza)



W mitochondrium (dehydrogenaza pirogronianowa i cykl kwasu cytrynowego)

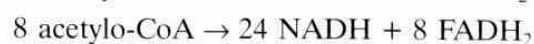
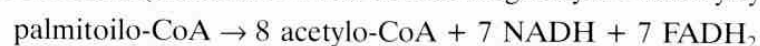


Wynik końcowy netto w mitochondrium



B. Produkty utleniania netto jednej cząsteczki palmitoilo-CoA (zaktywowana forma kwasu tłuszczowego, palmitynowego)

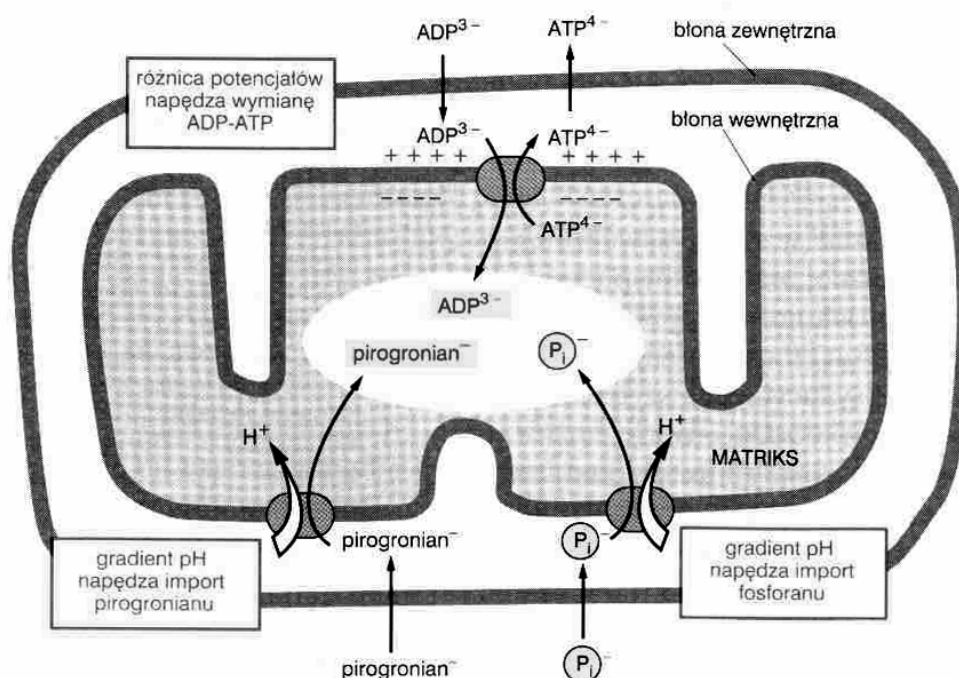
W mitochondrium (utlenianie kwasu tłuszczowego i cykl kwasu cytrynowego)



Wynik końcowy netto w mitochondrium

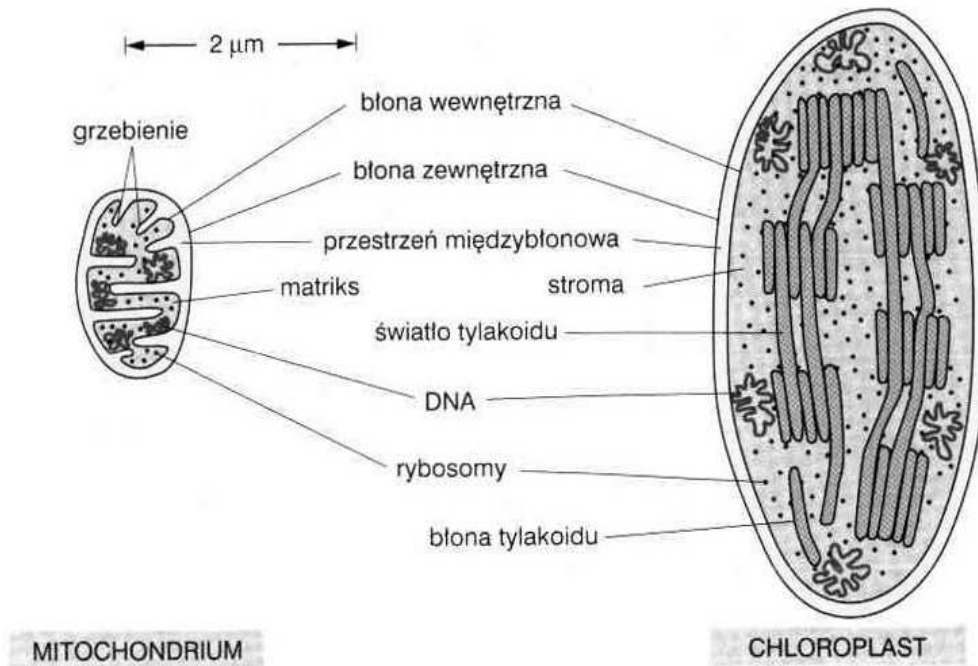


aktywny transport poprzez błonę wewnętrzną napędzany przez elektrochemiczny gradient protonowy



Chloroplasty

budowa

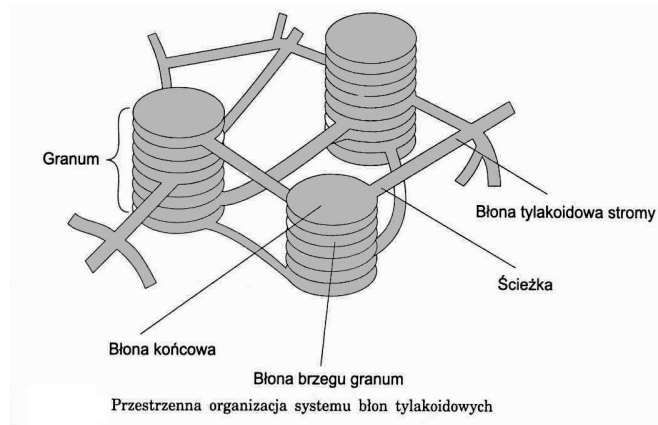


Chloroplasty

otoczka

- błona zewnętrzna (5-6 nm)
 - gładka
 - około 50% białek
 - przepuszczalność: kanały (do 5-10kD)
- błona wewnętrzna (5-6nm)
 - gładka
 - więcej niż 50% białek
 - bogata w galaktolipidy (monogalaktozyłodiacyloglicerol)
 - selektywność przepuszczalności
 - białka transportujące – translokatory
 - enzymy (syntezy kwasów tłuszczowych i lipidów chloroplastowych)
- przestrzeń między-błonowa (peryplastydowa) (10-20 nm)

tylakoidy



Błony:

- więcej niż 50% białek
- lipidy acylowe - 35%
fosfolipidy (fosfatydyloglicerol), galaktolipidy, sulfolipidy
- barwniki fotosyntetyczne
- płynność (stigmasterol, nienasycone kwasy tłuszczowe)
- białka (enzymatyczne)
- wysoka selektywność przepuszczalności

Barwniki fotosyntetyczne

- chlorofile (10-20%)
chlorofil a, chlorofil b (2,5:1-3,5:1)
chlorofil c_1 , c_2 , d
- karotenoidy (5%)
karoteny (β -karoten)
ksantofile (luteina, wiolaksantyna, neoksantyna i in.)
- fukoksantyna (brunatnice)
- fikobiliny (krasnorosty) – w fikobilinosomach

Występują w kompleksach barwnikowo-białkowych

Chlorofile wykazują zdolność do:

- absorbowania promieniowania słonecznego
w widzialnym zakresie widma światła
- osiągania stanu wzbudzenia elektronowego
- przekazywania stanu wzbudzenia elektronowego cząsteczkom sąsiednim

Karotenoidy:

- uczestniczą w absorbowaniu promieniowania słonecznego
i transferze energii wzbudzenia elektronowego - funkcje anteny
- zabezpieczają aparat fotosyntetyczny przed skutkami nadmiernie
wysokiego natężenia światła (fotooksydacją łańcuchów
nienasyconych kwasów tłuszczowych)- funkcje ochronne

Stroma chloroplastu

- konsystencja żelu

białka:

enzymy reakcji ciemnych fotosyntezy (cyklu Calvin)

enzymy syntezy kwasów tłuszczowych

enzymy i czynniki do replikacji, transkrypcji i translacji

- DNA (obszary nukleidopodobne)
- t RNA, rRNA, rybosomy
- ziarna skrobi, plastoglobule (ziarna lipidowe)

Genom:

wysoce konserwatywny

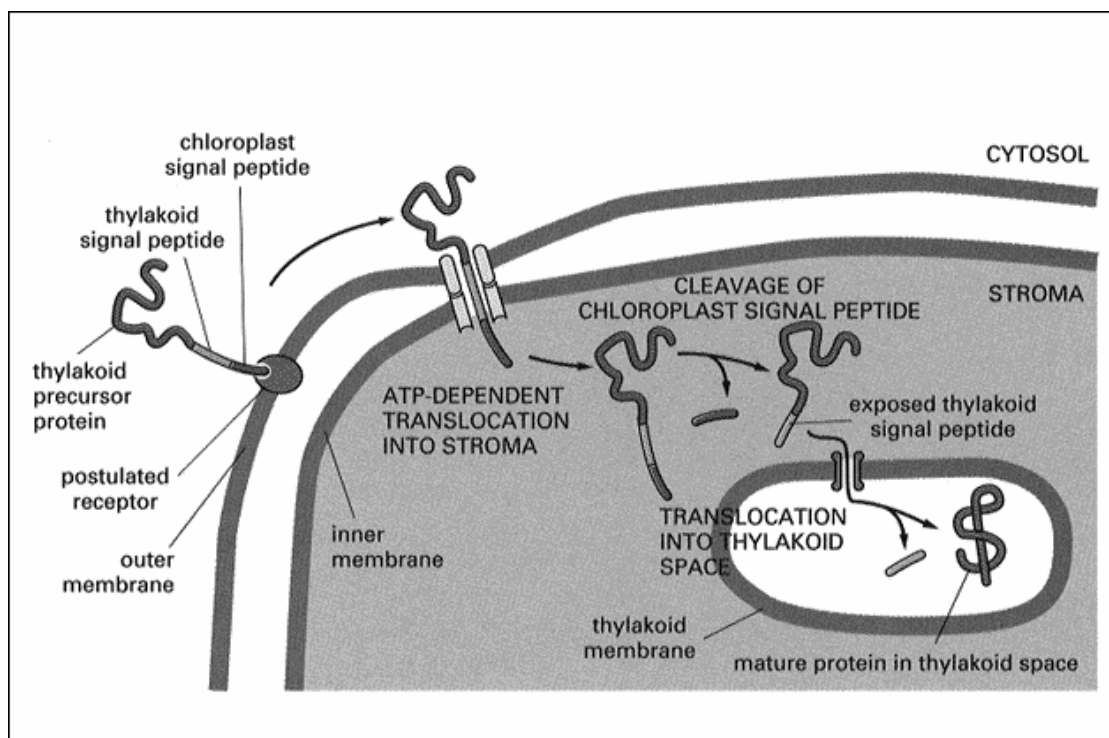
koduje:

chloroplastowe rRNA

chloroplastowe tRNA

kilkadziesiąt białek (łańcucha transportu elektronów,
duża podjednostka rubisco)

transport białek do chloroplastów



Proces fotosyntezy



* związek zredukowany do poziomu cukru

2 fazy:

- świetlna - w błonach tylakoidów

źródło e⁻ i H⁺

produkty:

- ciemna - w stromie

redukcja węgla
do poziomu cukrów

CYTOZOL

CHLOROPLAST

reakcje
fotosyntetycznego
transportu
elektronu w błonie
tylakoidu

H₂O

O₂

ATP + NADPH

reakcje
wiązania węgla
w stromie

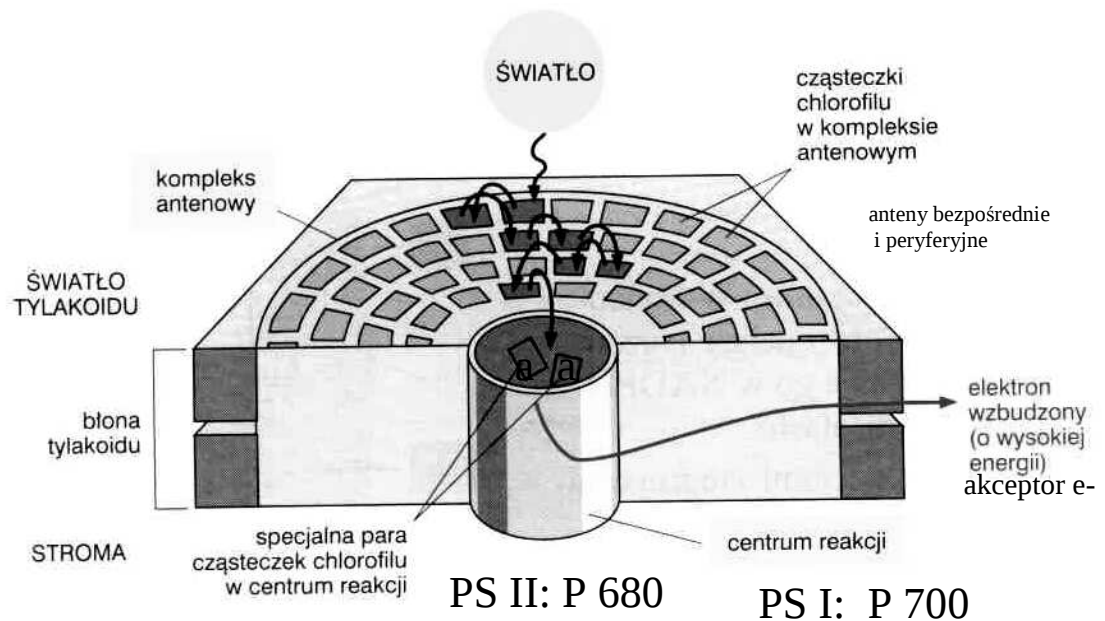
CO₂

cukry,
aminokwasy
i kwasy
tłuszczowe

Faza świetlna- fotosyntezy

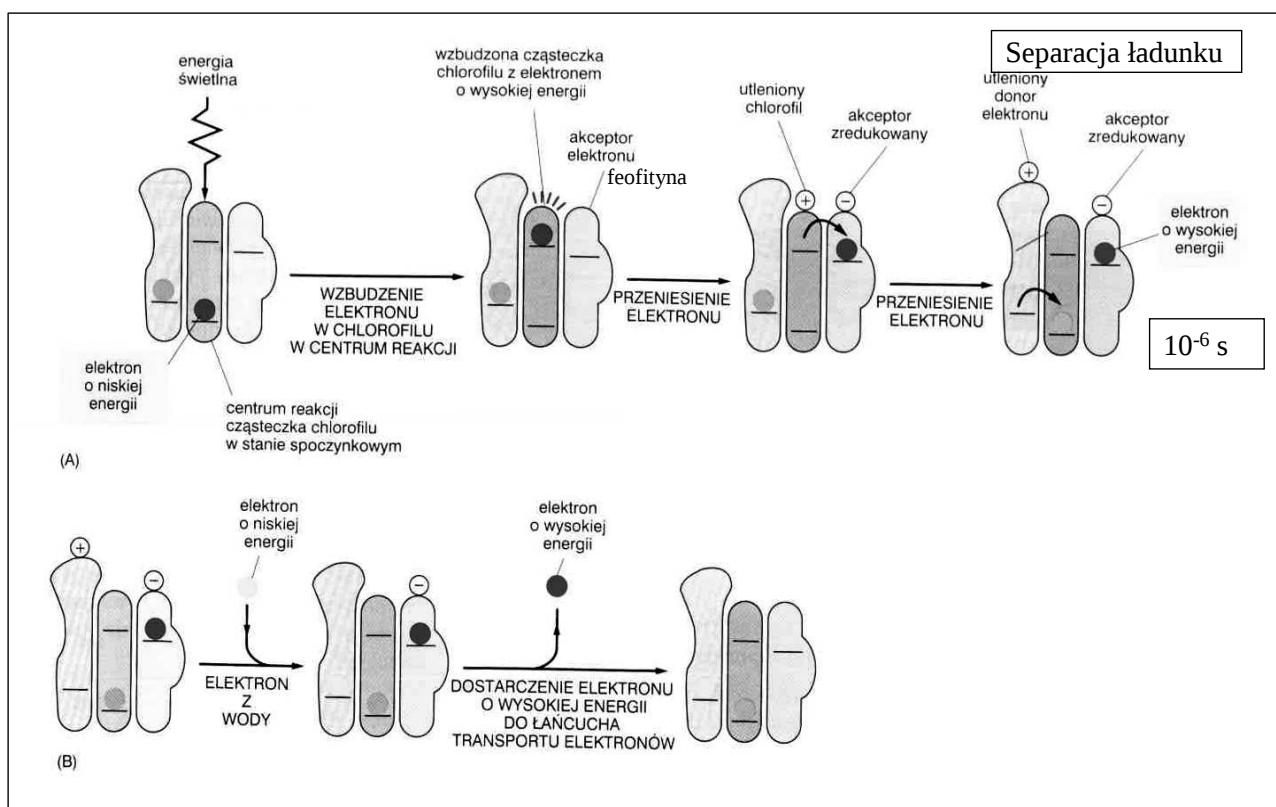
absorpcja kwantów światła i reakcje konwersji energii

film

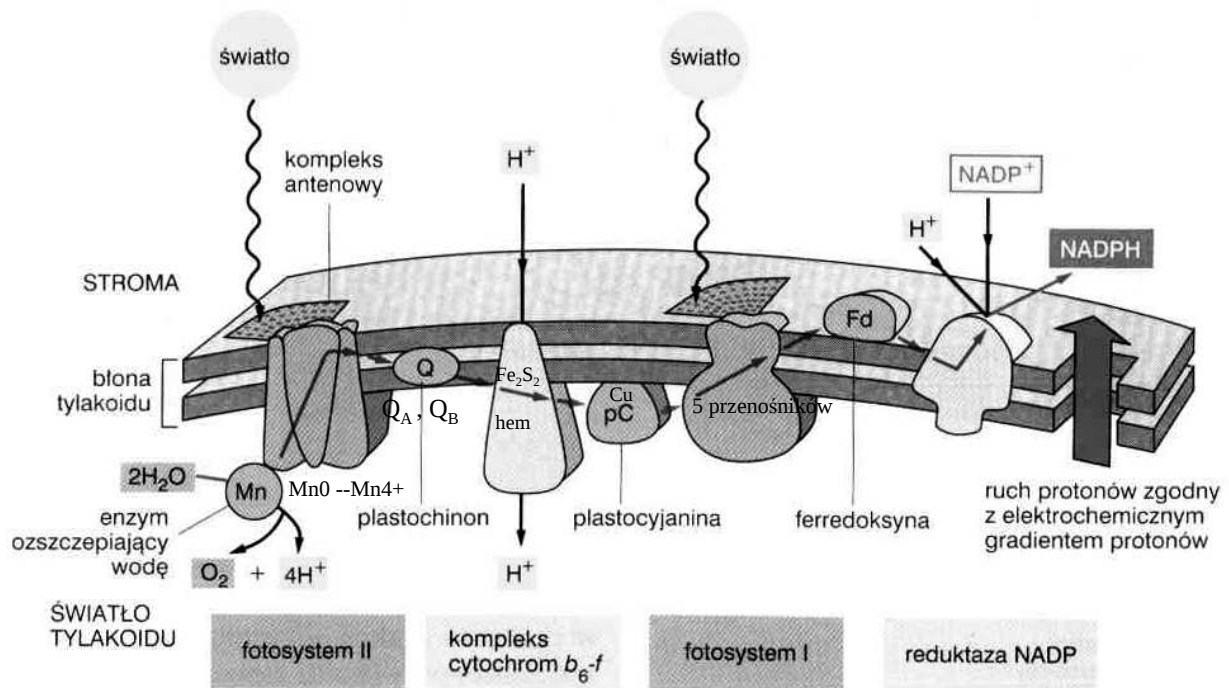


centrum reakcji i antena w fotosystemie (fotoukłady I i II)

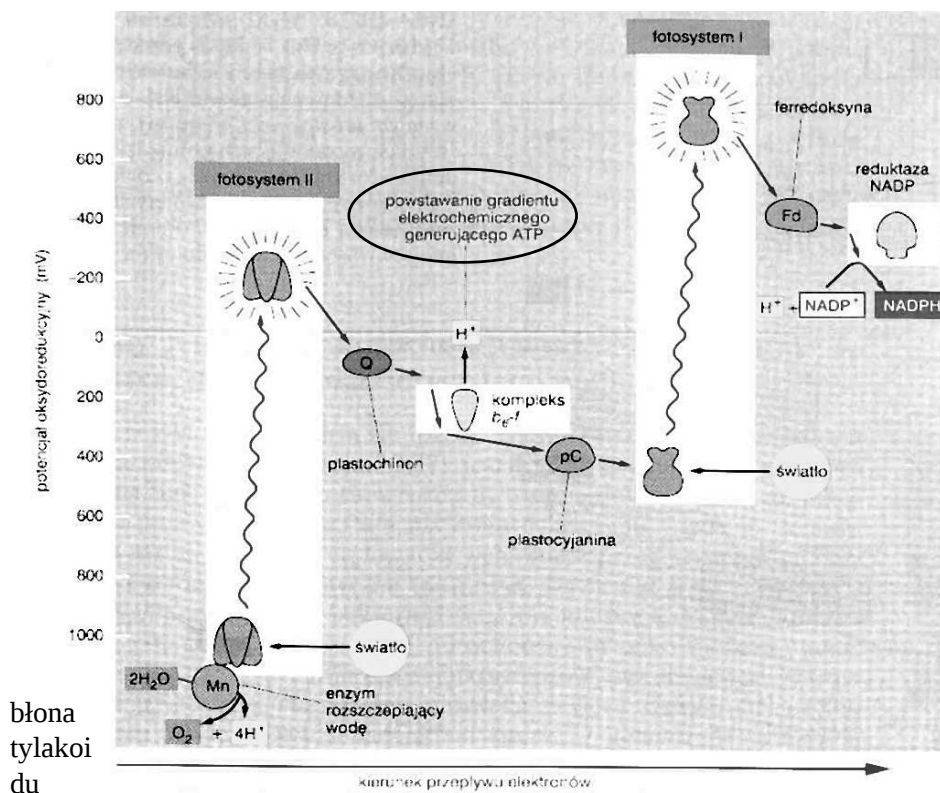
zbieranie energii świetlnej przez chlorofil



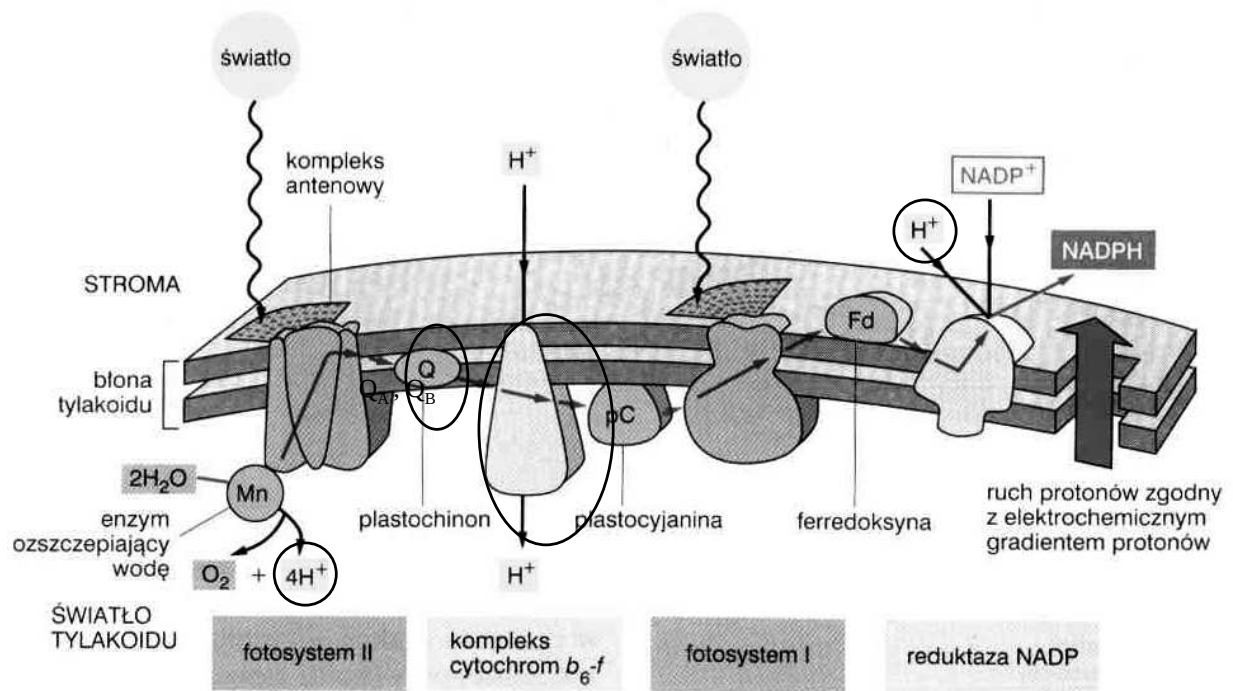
transport elektronów przez przenośniki



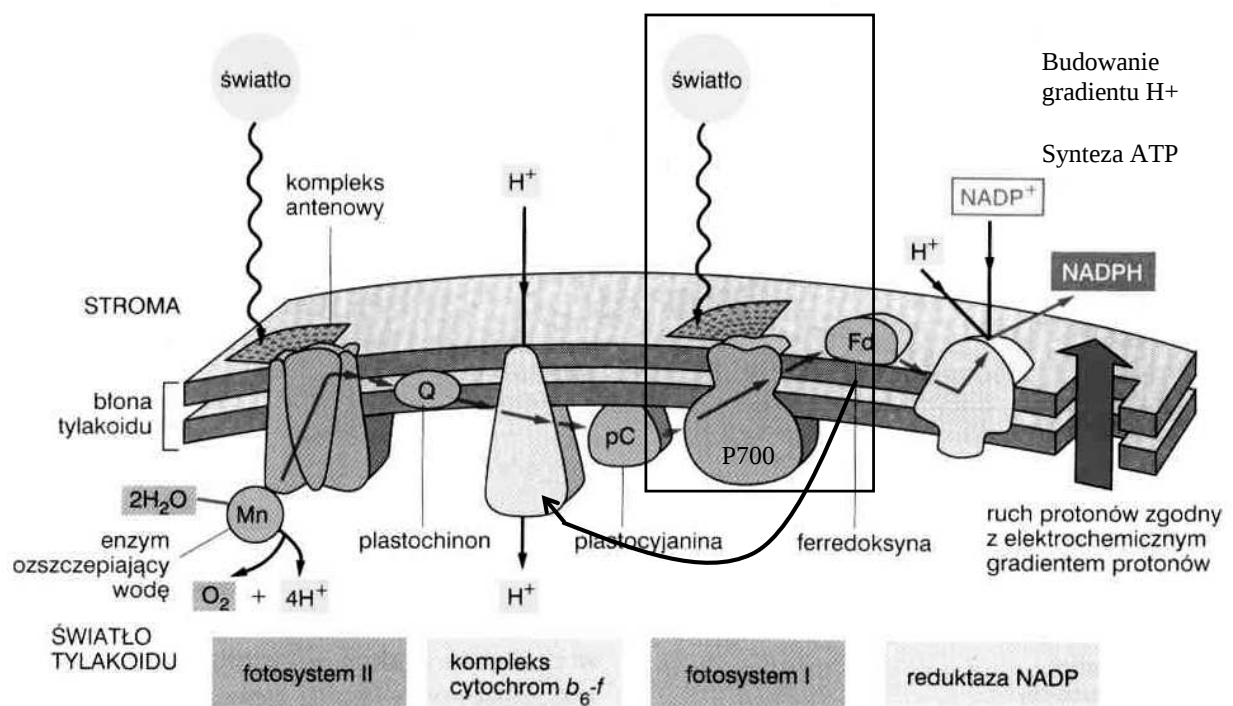
zmiany potencjału oksydoredukcyjnego podczas fotosyntetycznego transportu elektronów



formowanie gradientu H^+ w poprzek błony synteza ATP- kompleks syntazy ATP

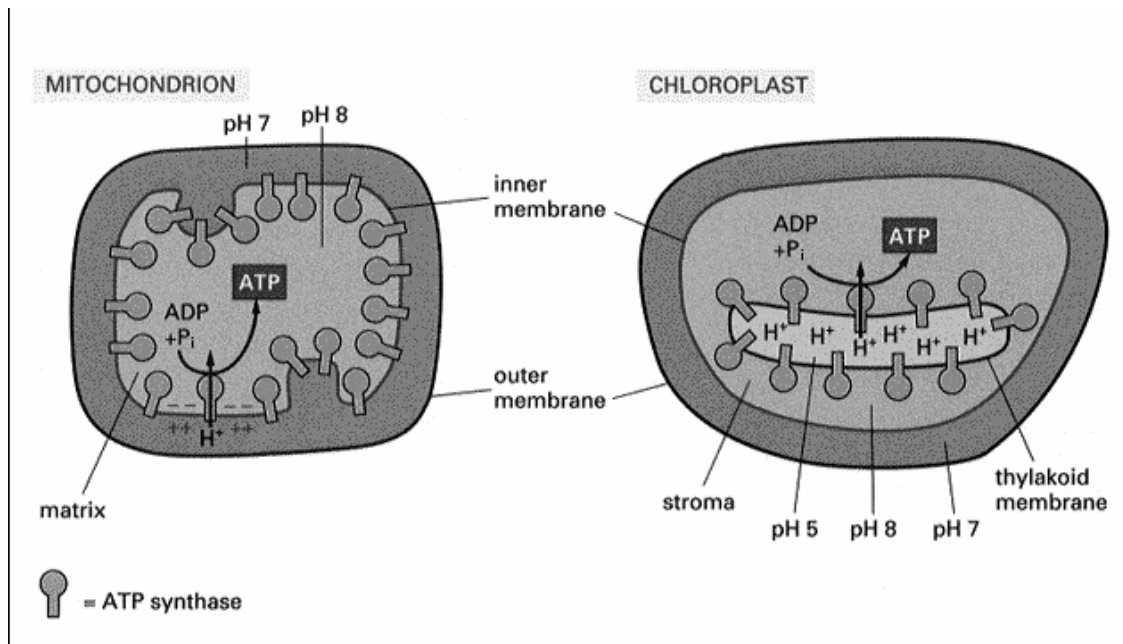


fosforylacja fotosyntetyczna cykliczna



Chloroplasty

przepływ protonów i synteza ATP



Faza jasna

produkty: NADPH i ATP

Chloroplasty

proces fotosyntezy

Faza świetlna

- absorpcja kwantów światła i reakcje konwersji energii (wzbudzenie elektronu w cząsteczce chlorofilu)
- transport elektronów przez przenośniki (tworzenie NADPH)
- formowanie gradientu H^+ w poprzek błony
- synteza ATP (syntaza ATP)

produkty: ATP i NADPH

Chloroplasty

proces fotosyntezy

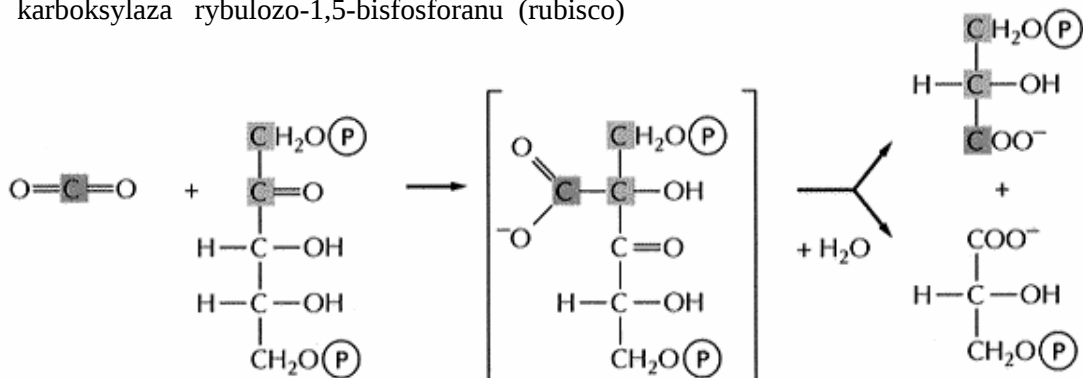
Faza ciemna - w stromie
(cykl Calvina-Bensona)

- asymilacja CO_2 (tzw. pierwotny akceptor)
 - redukcja CO_2 do poziomu trioz
(aldehyd 3-fosfoglicerynowy)
 - cykl regeneracji pierwotnego akceptora
- synteza glukozy $\rightarrow$ innych cukrów

proces fotosyntezy- faza ciemna

cykl wiązania węgla - reakcja początkowa

karboksylaza rybulozo-1,5-bisfosforanu (rubisco)



CO_2

rybulozo-1,5-bisfosforan

produkt pośredni

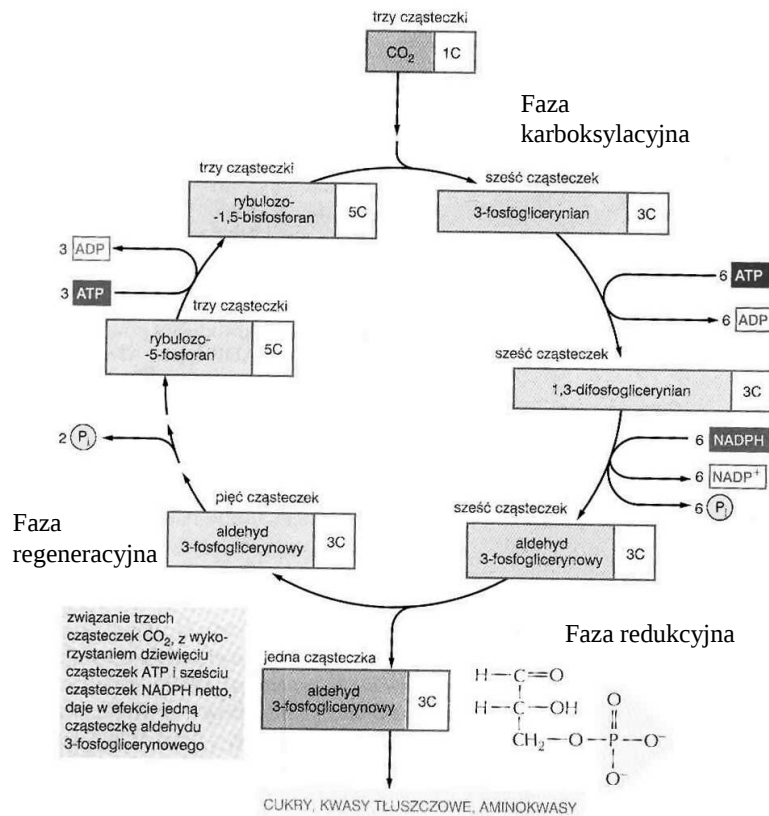
3-fosfoglicerynian

rubisco (3 czast/s)

50% białek chloroplastowych; 10mln ton w biosferze

cykl wiązania węgla (cykl Calvin-Bensona)

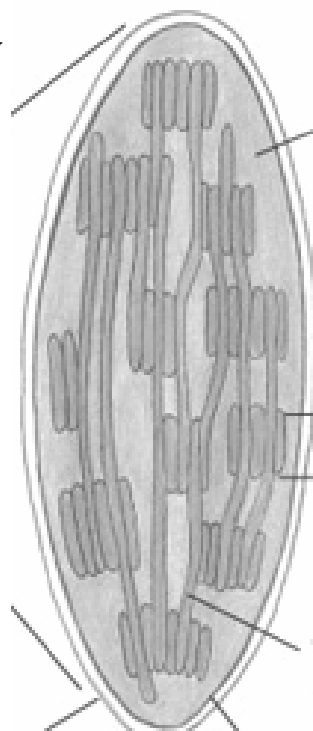
Nobel
1961



cykl wiązania węgla (cykl Calvin-Bensona)

aldehyd 3-fosfoglicerynowy

cukry
(skrobia)



cytozol

cukry -
sacharoza
forma
transportowa

glikoliza
(pirogrońian)

mitochondria

