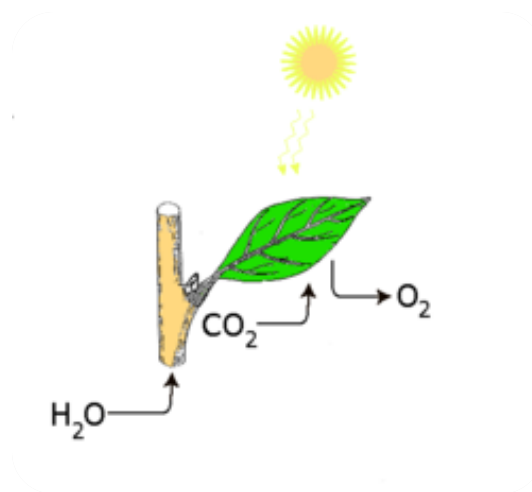
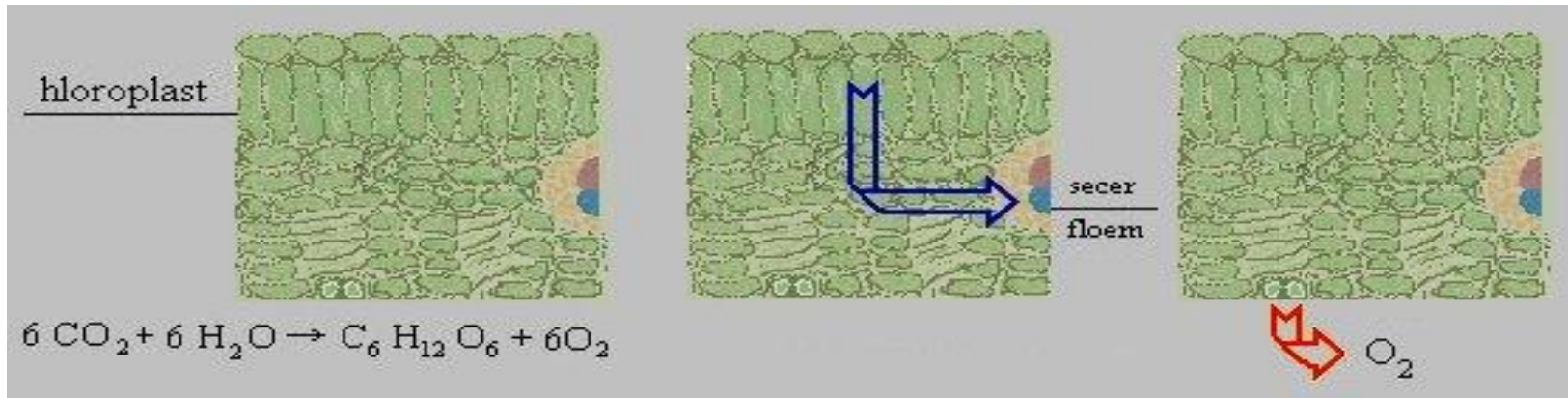
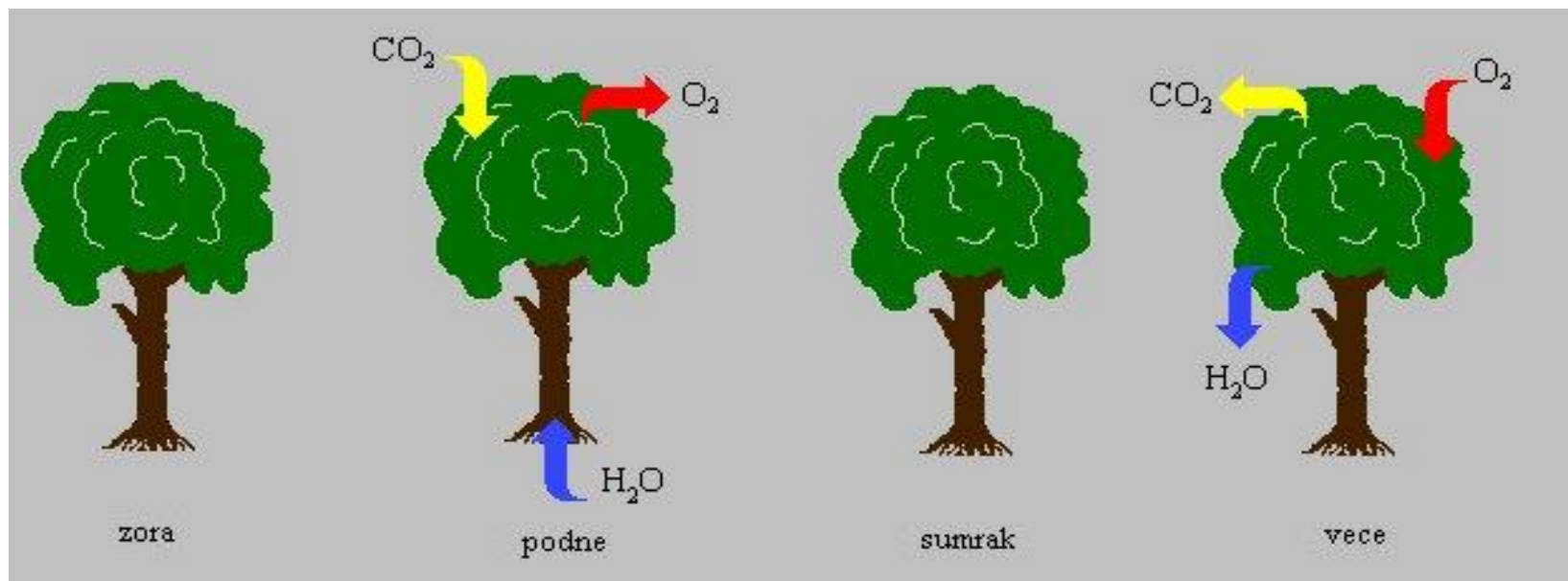
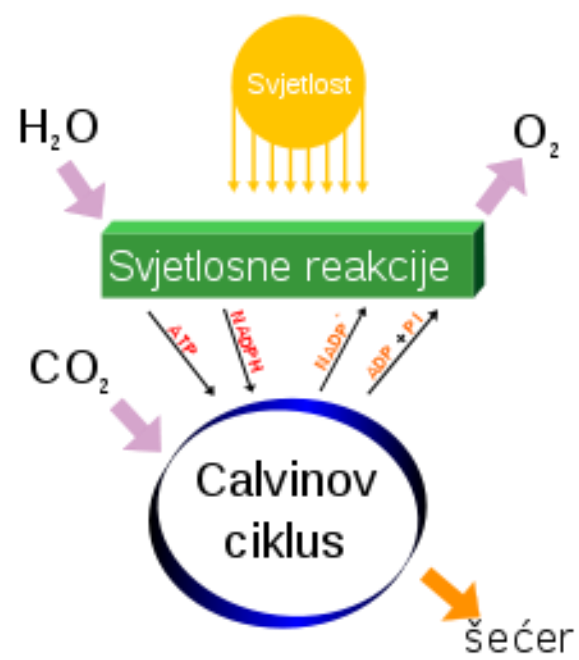


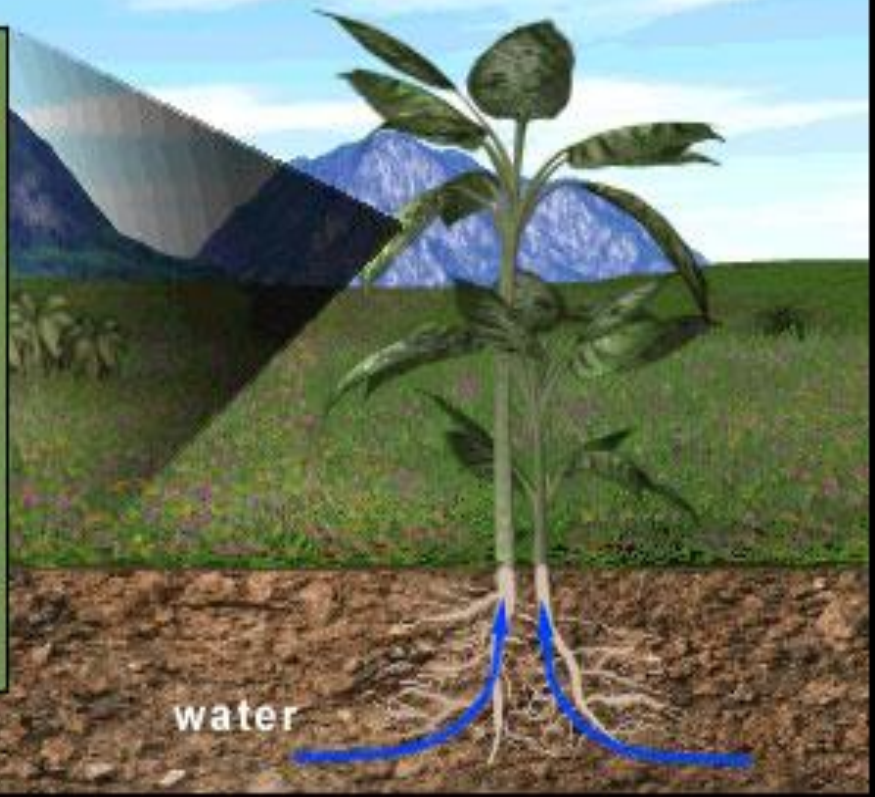
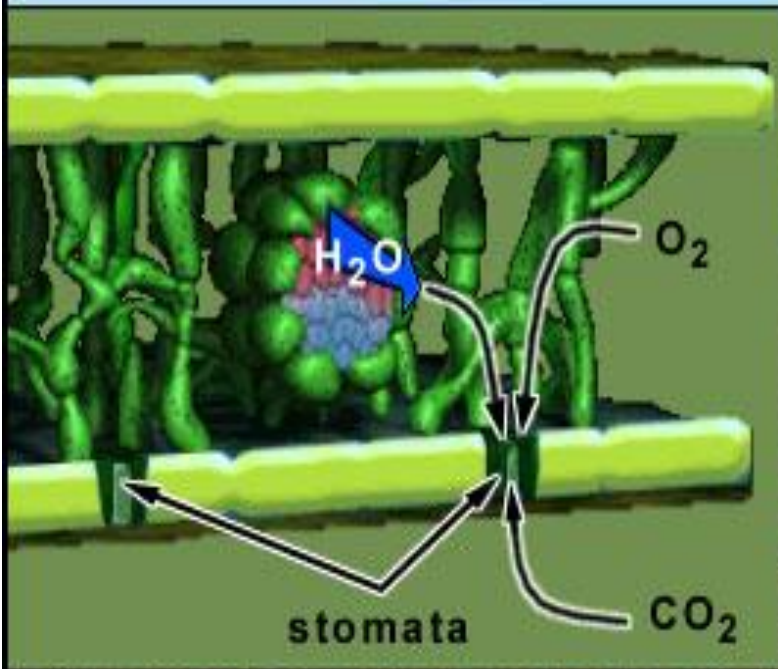
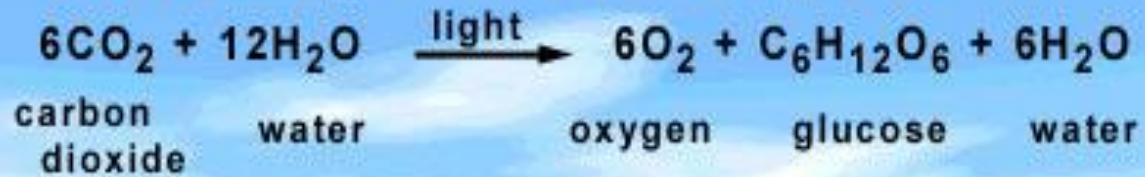
FOTOSINTEZA

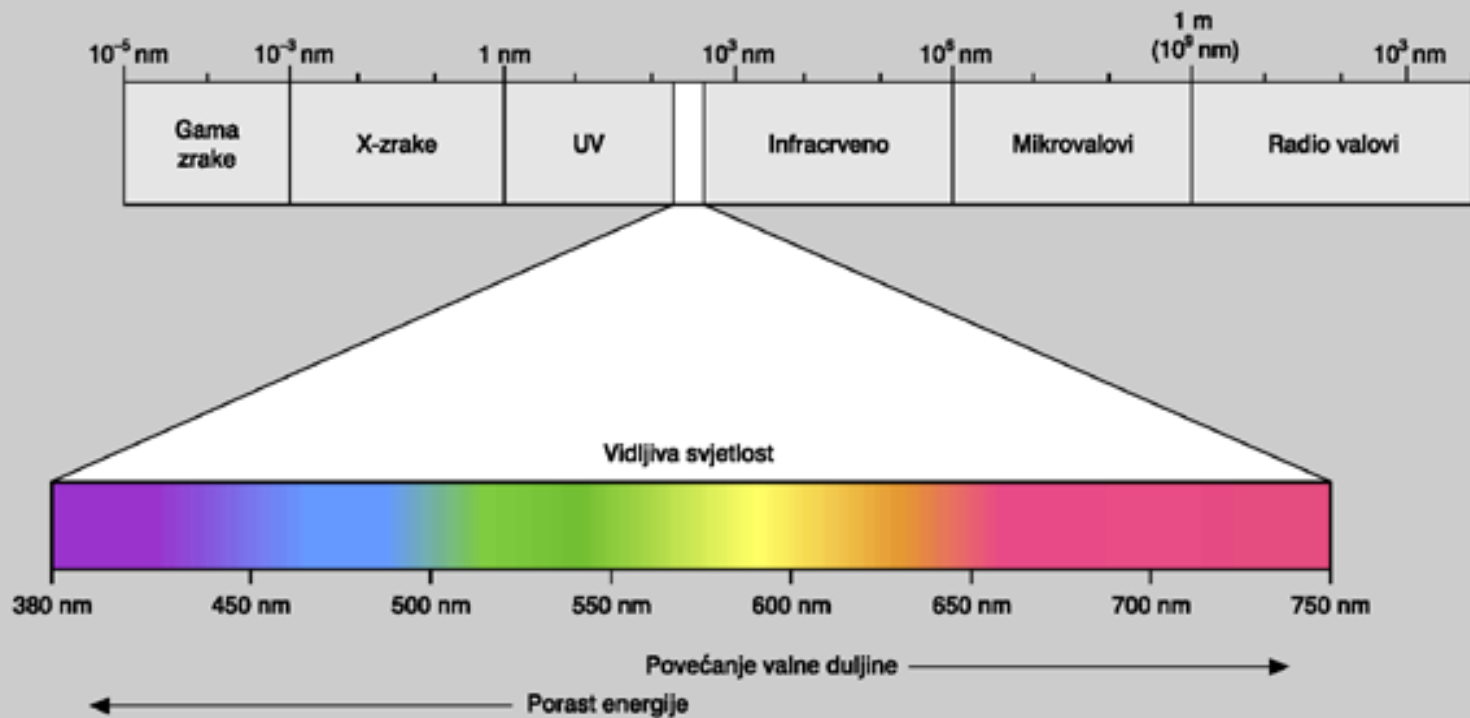


H_2O

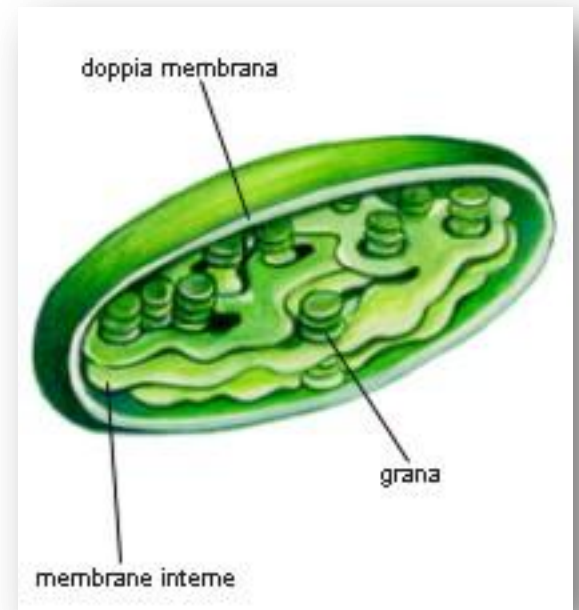
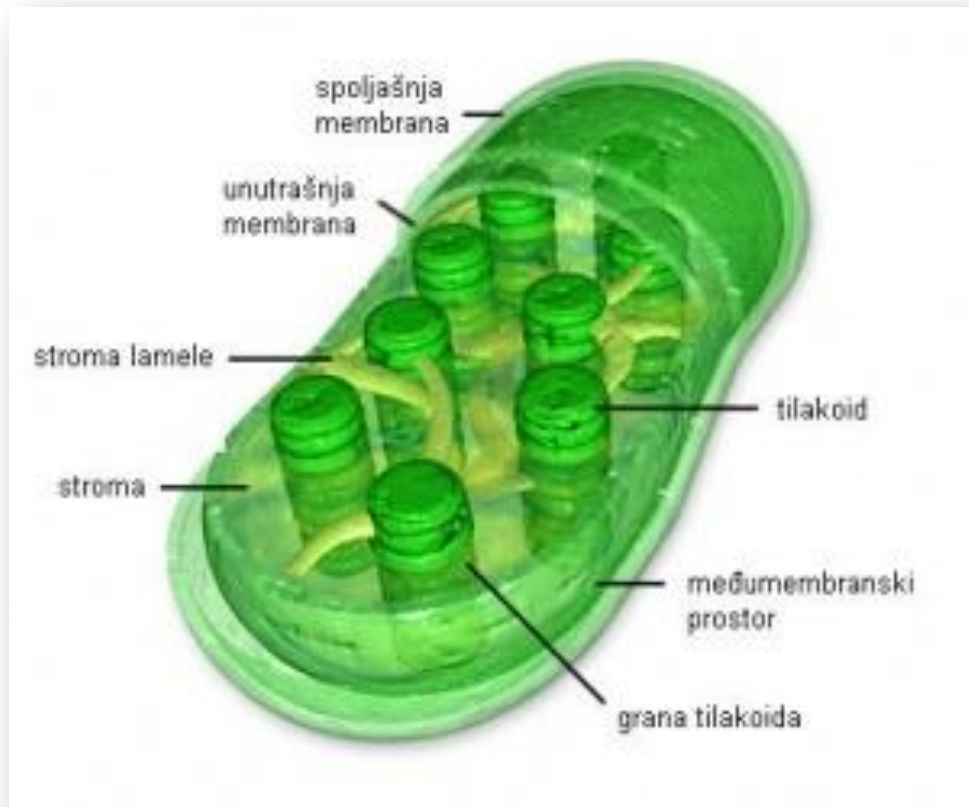


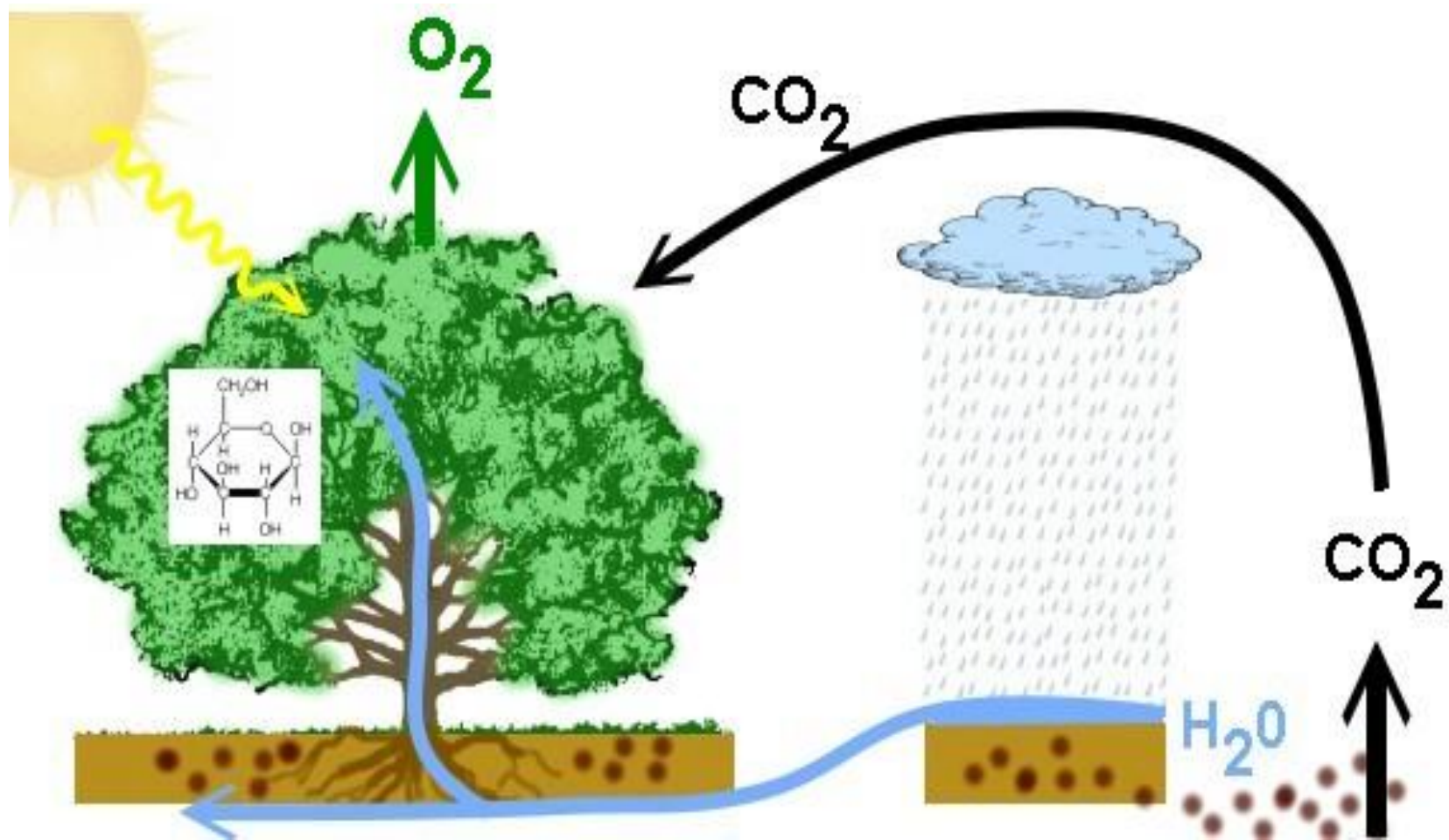
Photosynthesis Equation



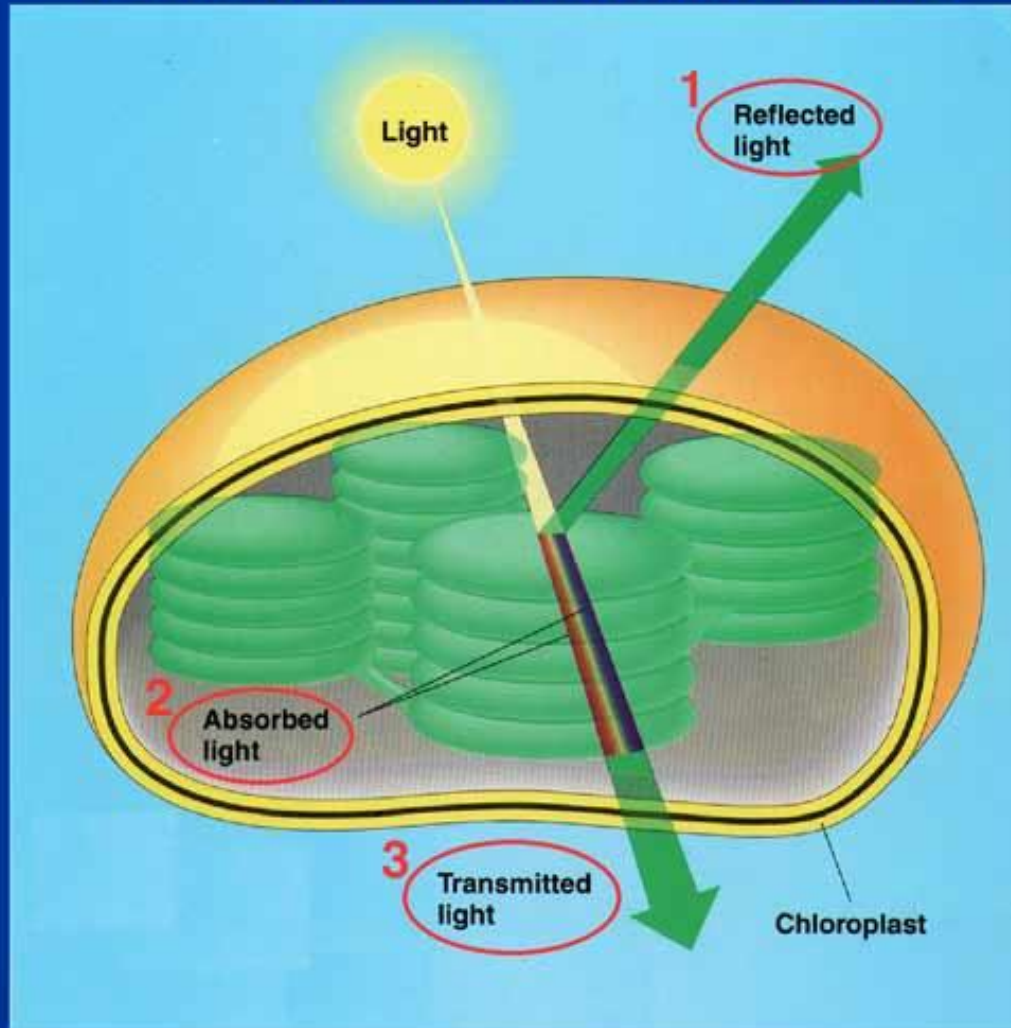


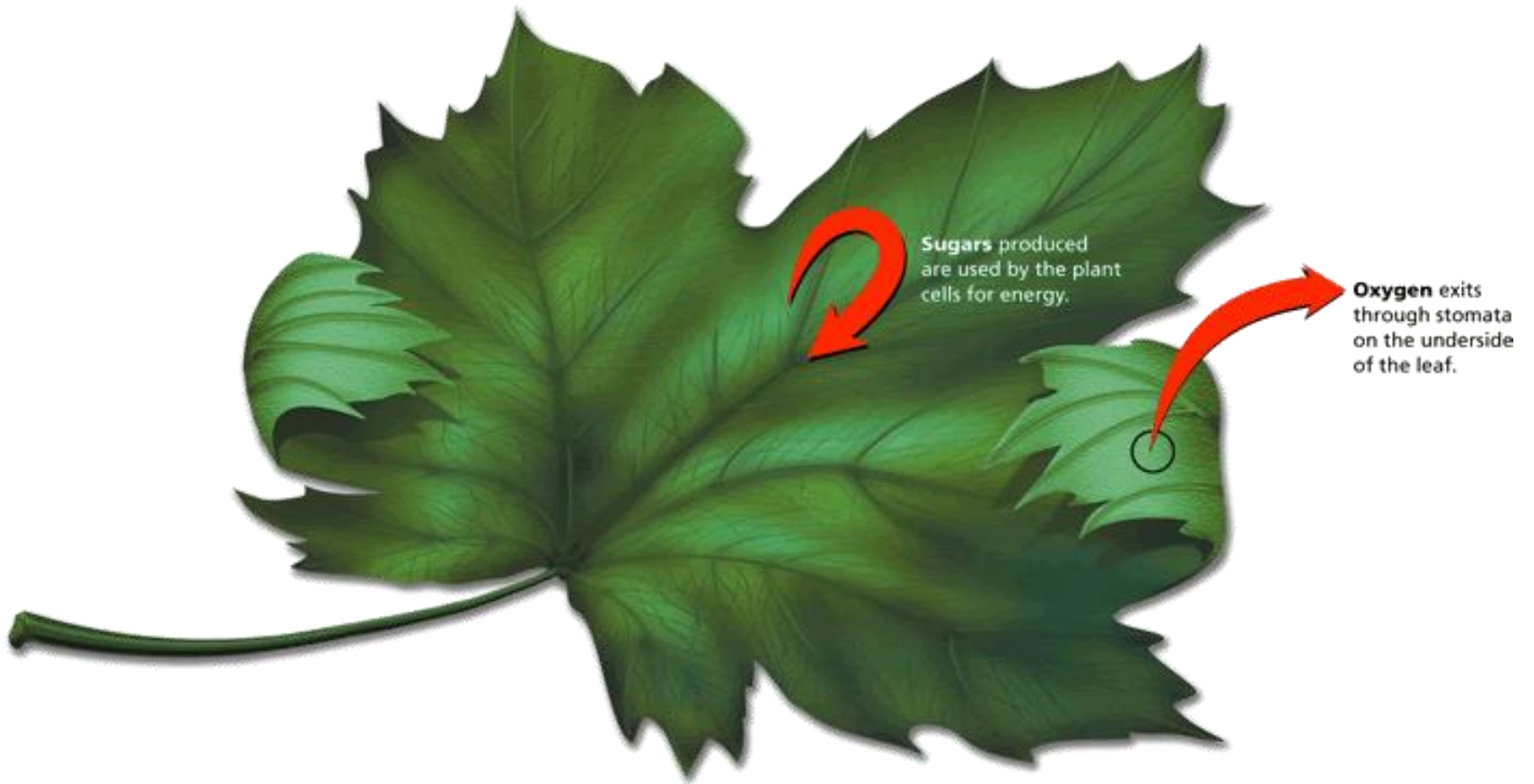
HLOROPLASTI





INTERACTION OF LIGHT WITH MATTER IN CHLOROPLAST; LIGHT DIVIDED INTO THREE PARTS





Sugars produced are used by the plant cells for energy.

Oxygen exits through stomata on the underside of the leaf.

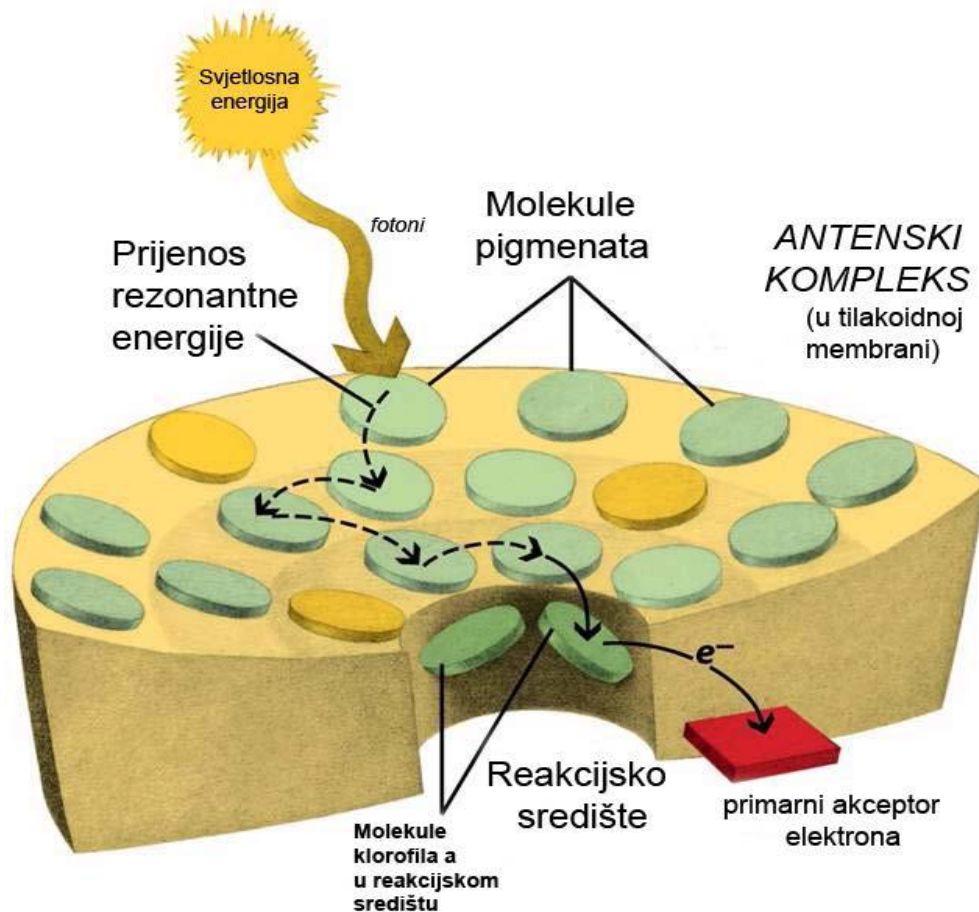
Fotosistemi

FOTOSISTEM I

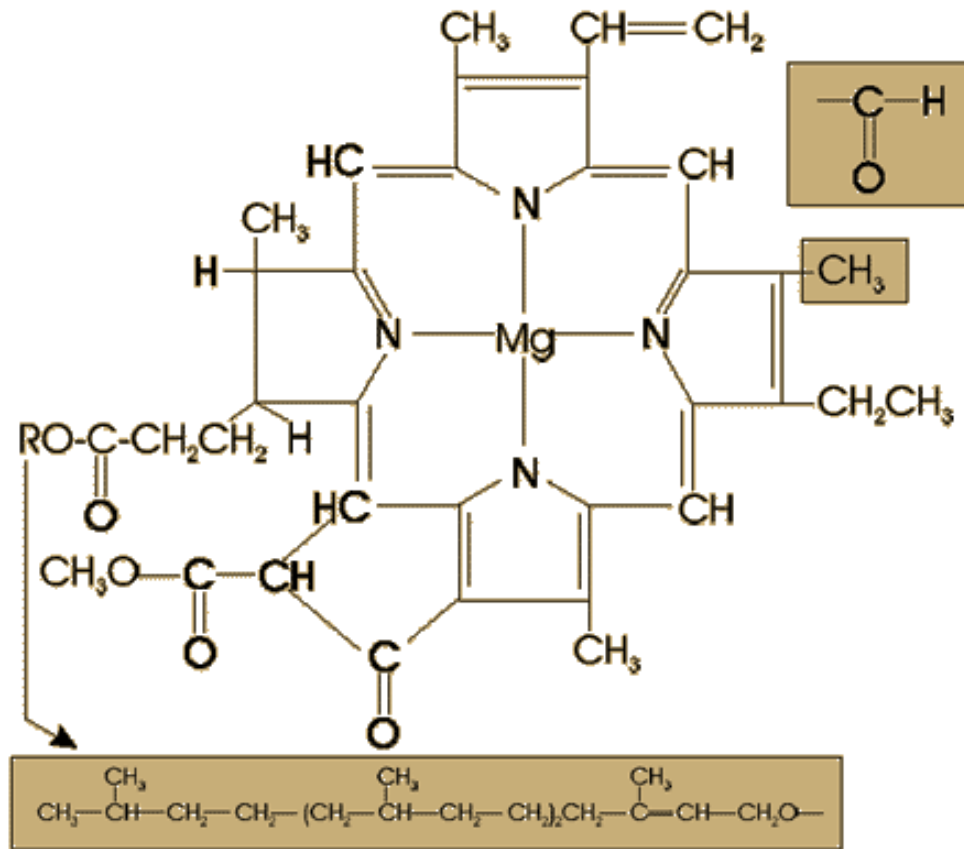
(P700) (14 molekula hlorofila a, β -karoten + protein)

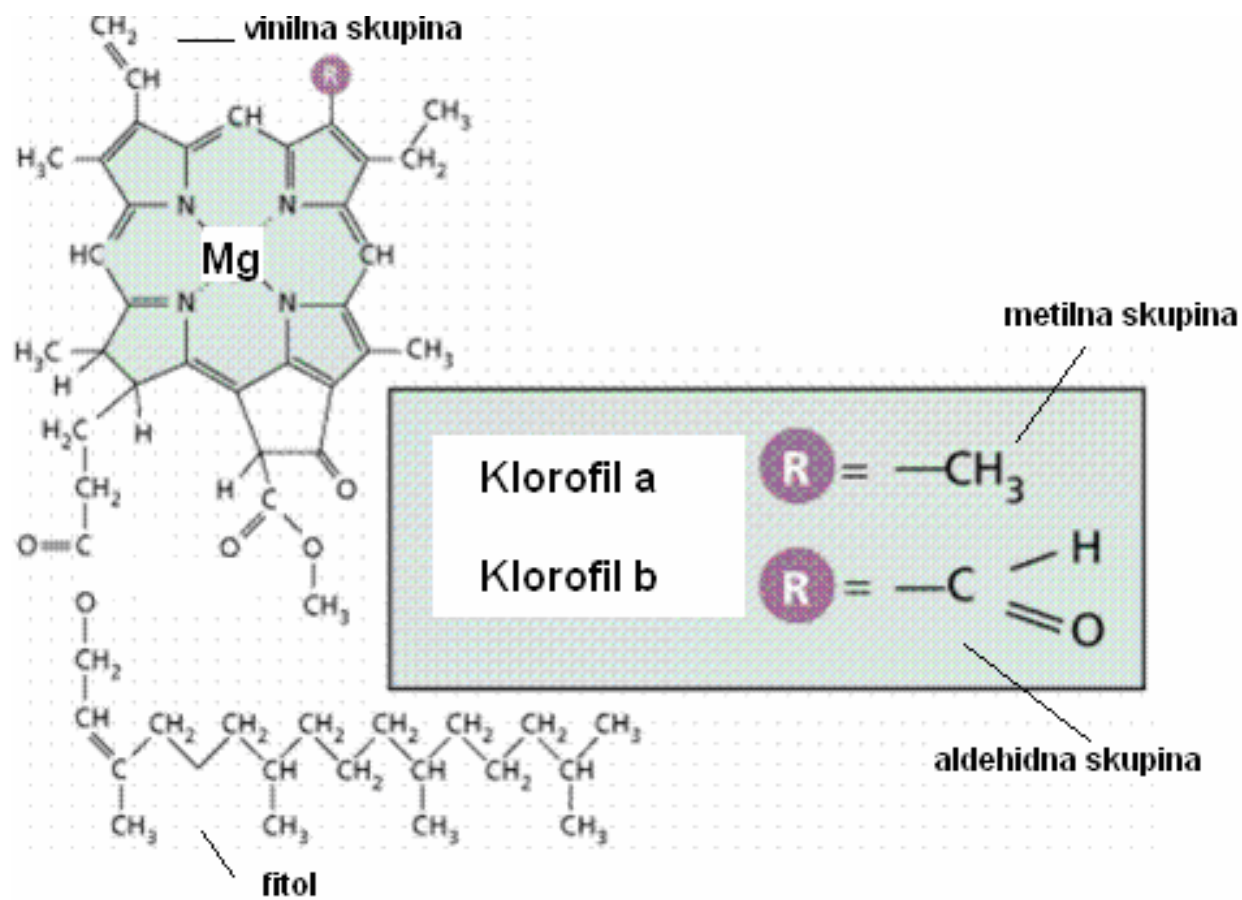
FOTOSISTEM II

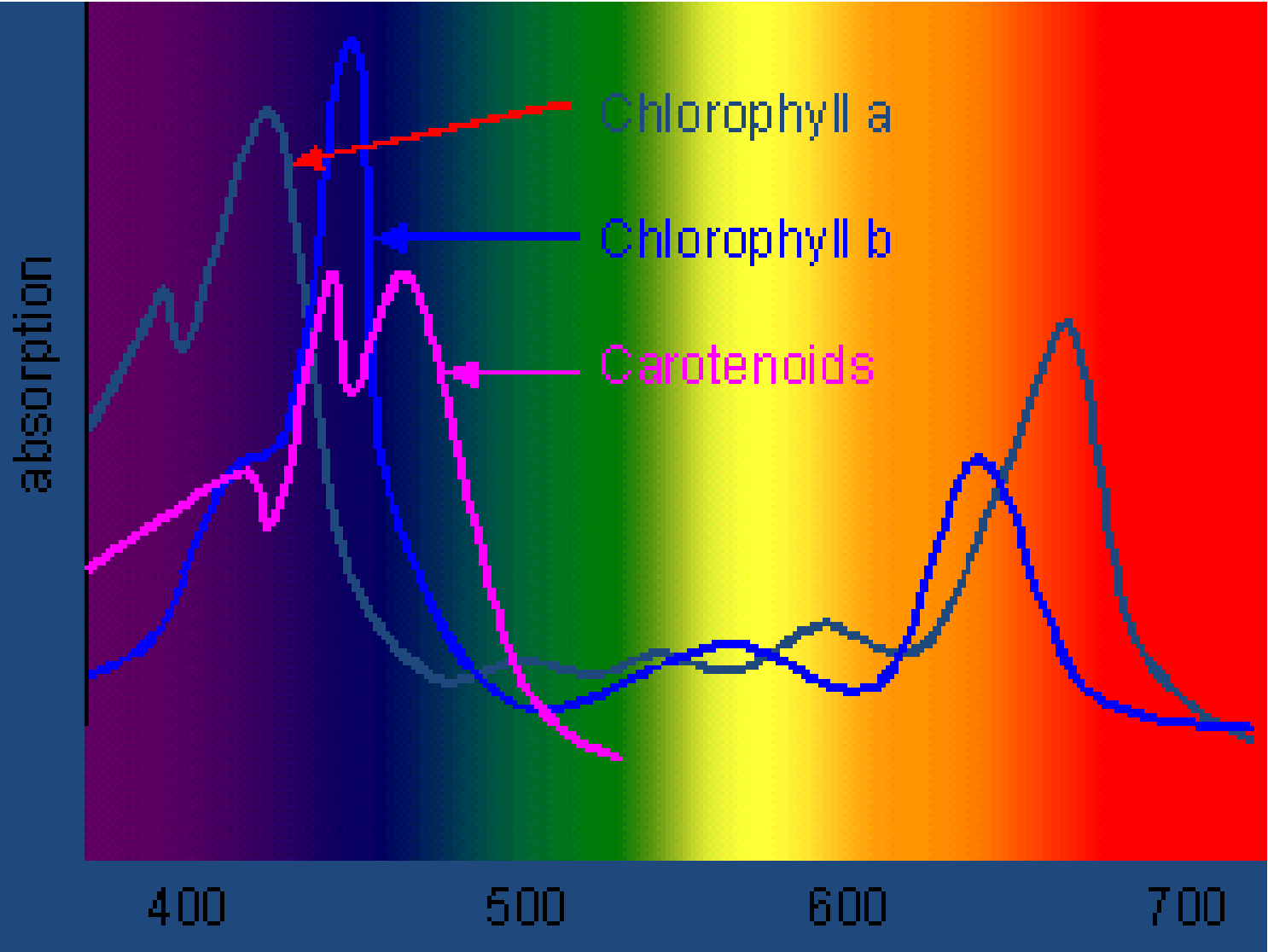
(P680) (po 3 molekule hlorofila a i b, β -karoten + protein)



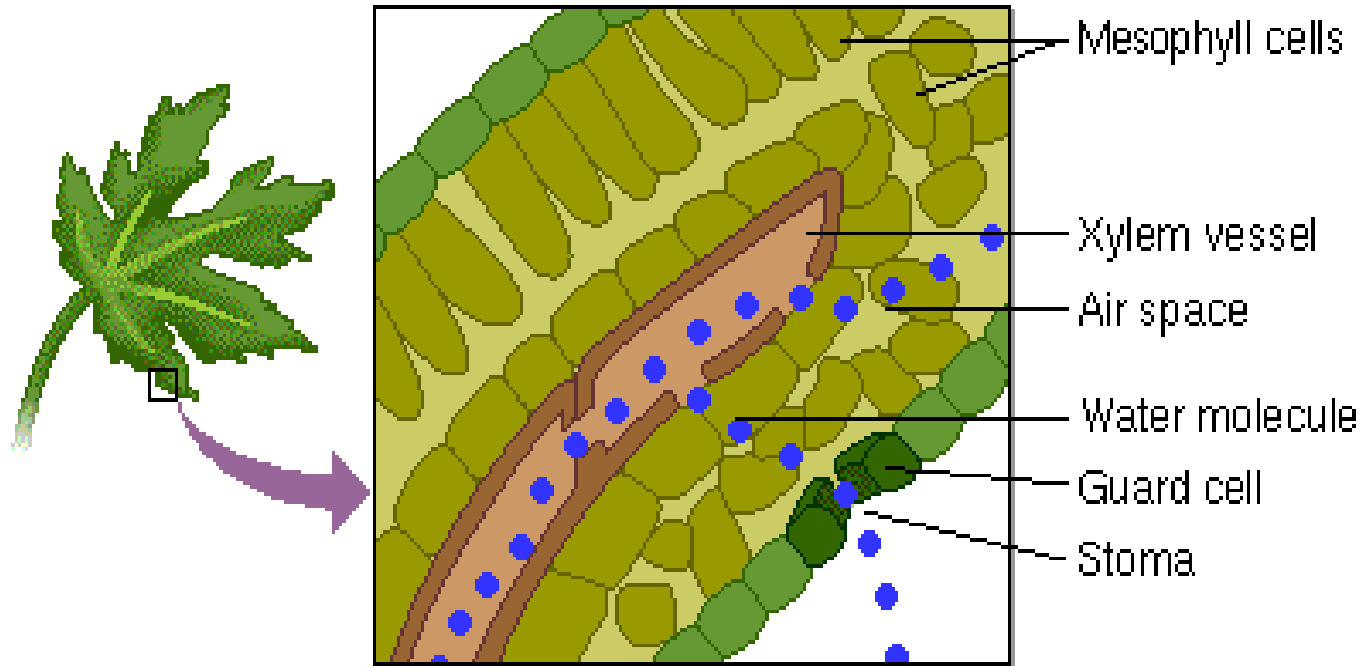
HLOROFIL

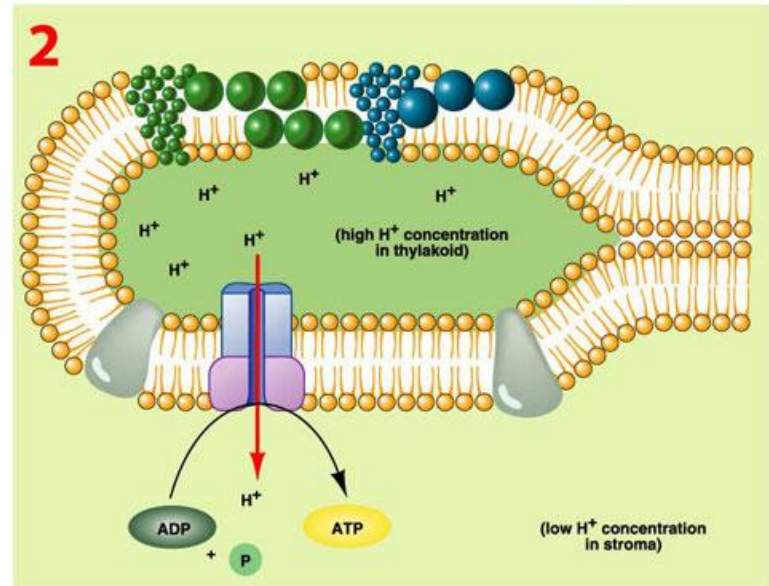
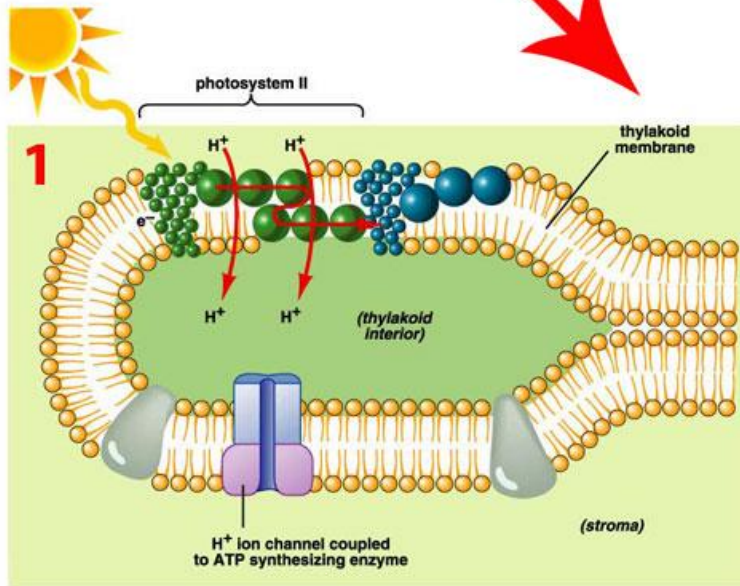
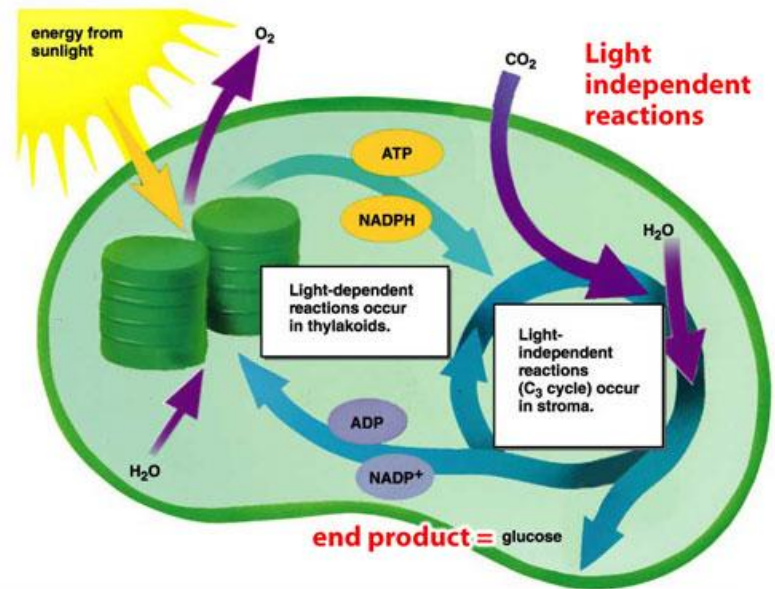
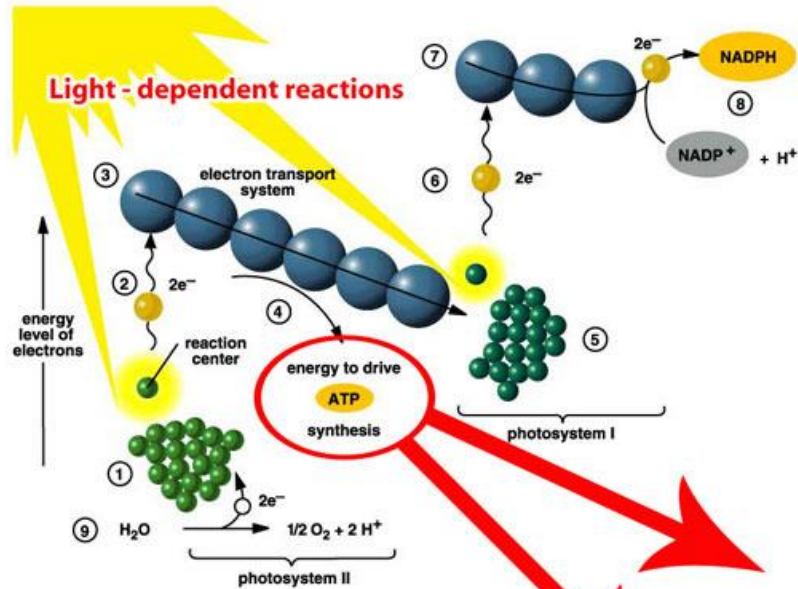


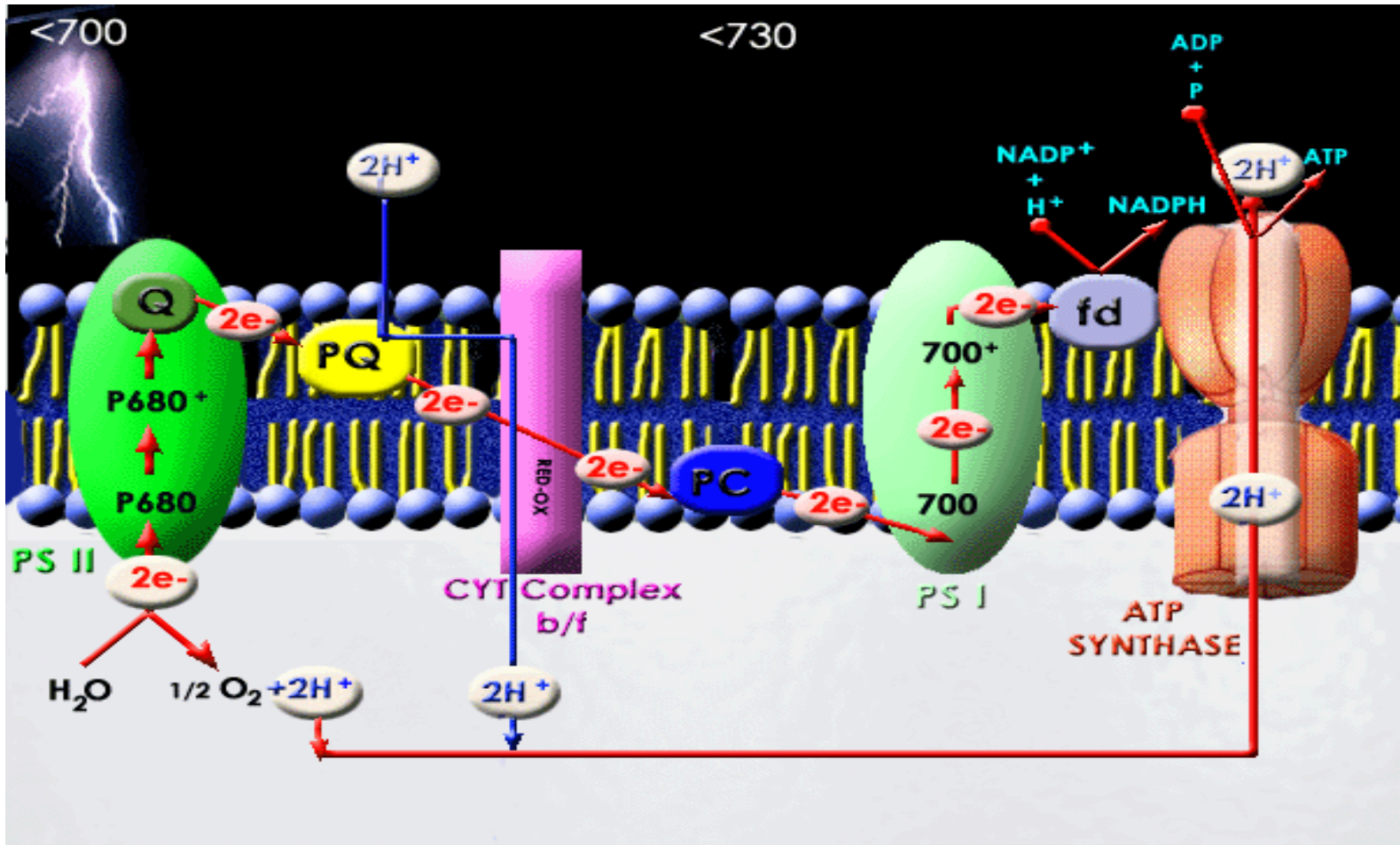




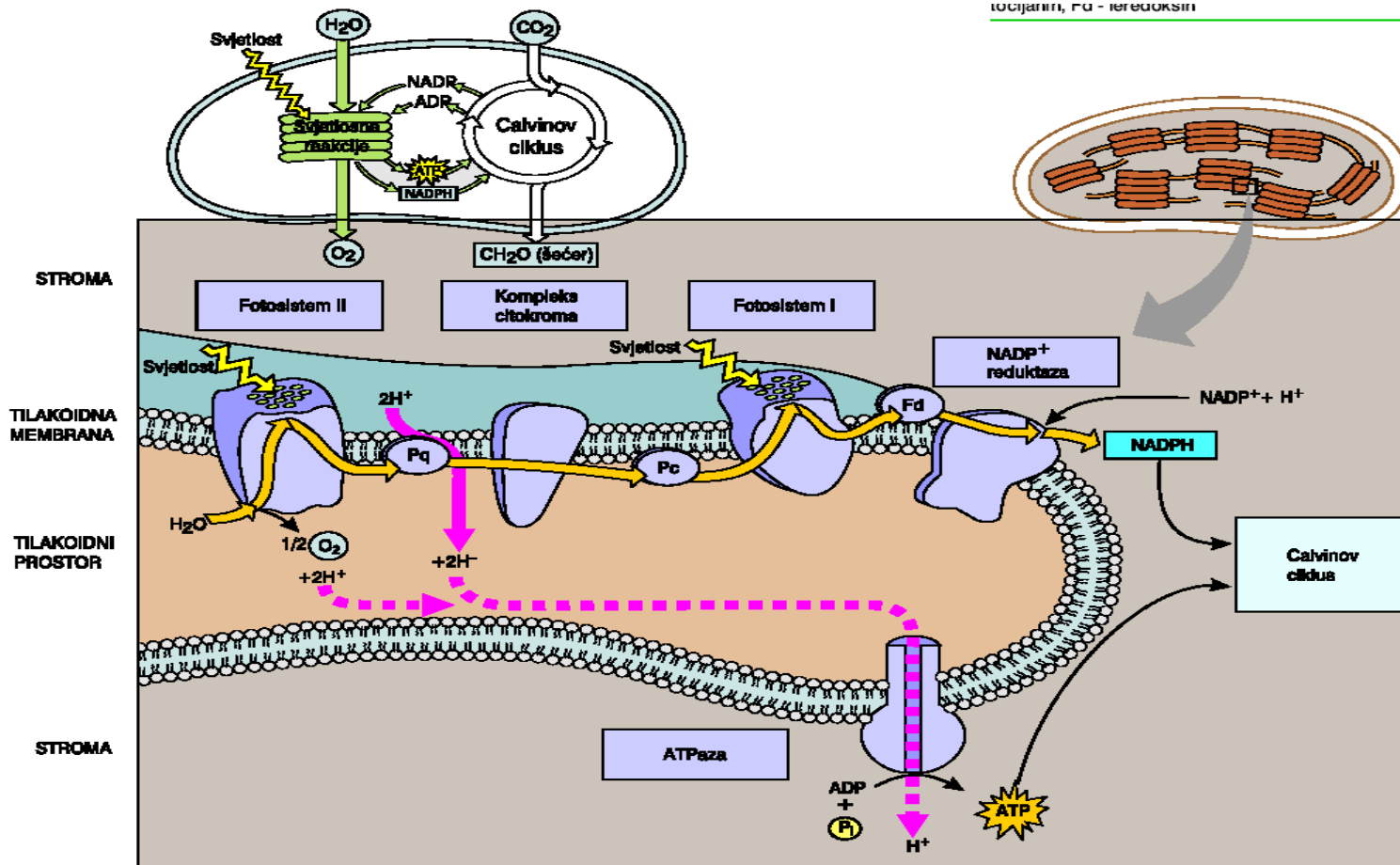
Svijetla faza fotosinteze



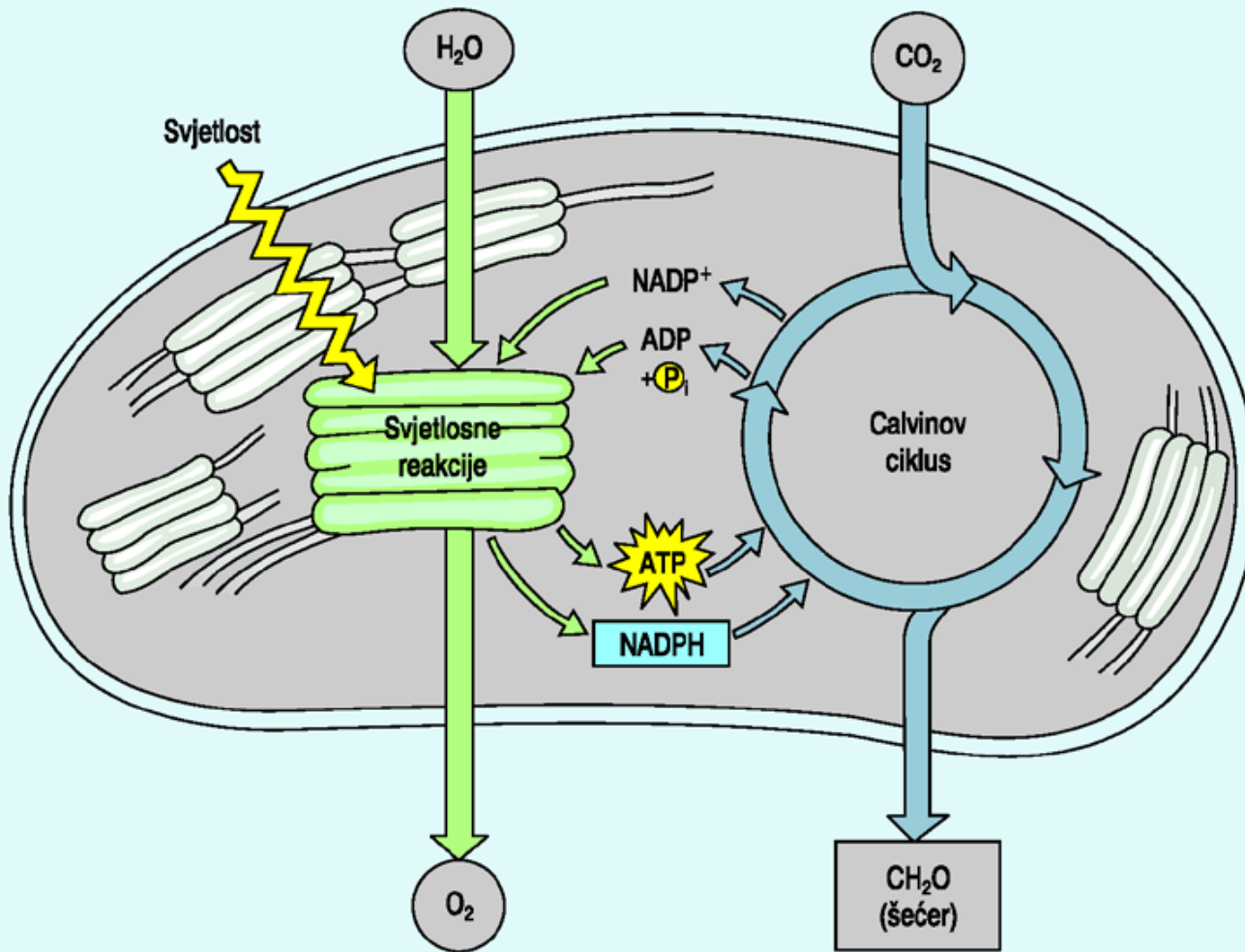




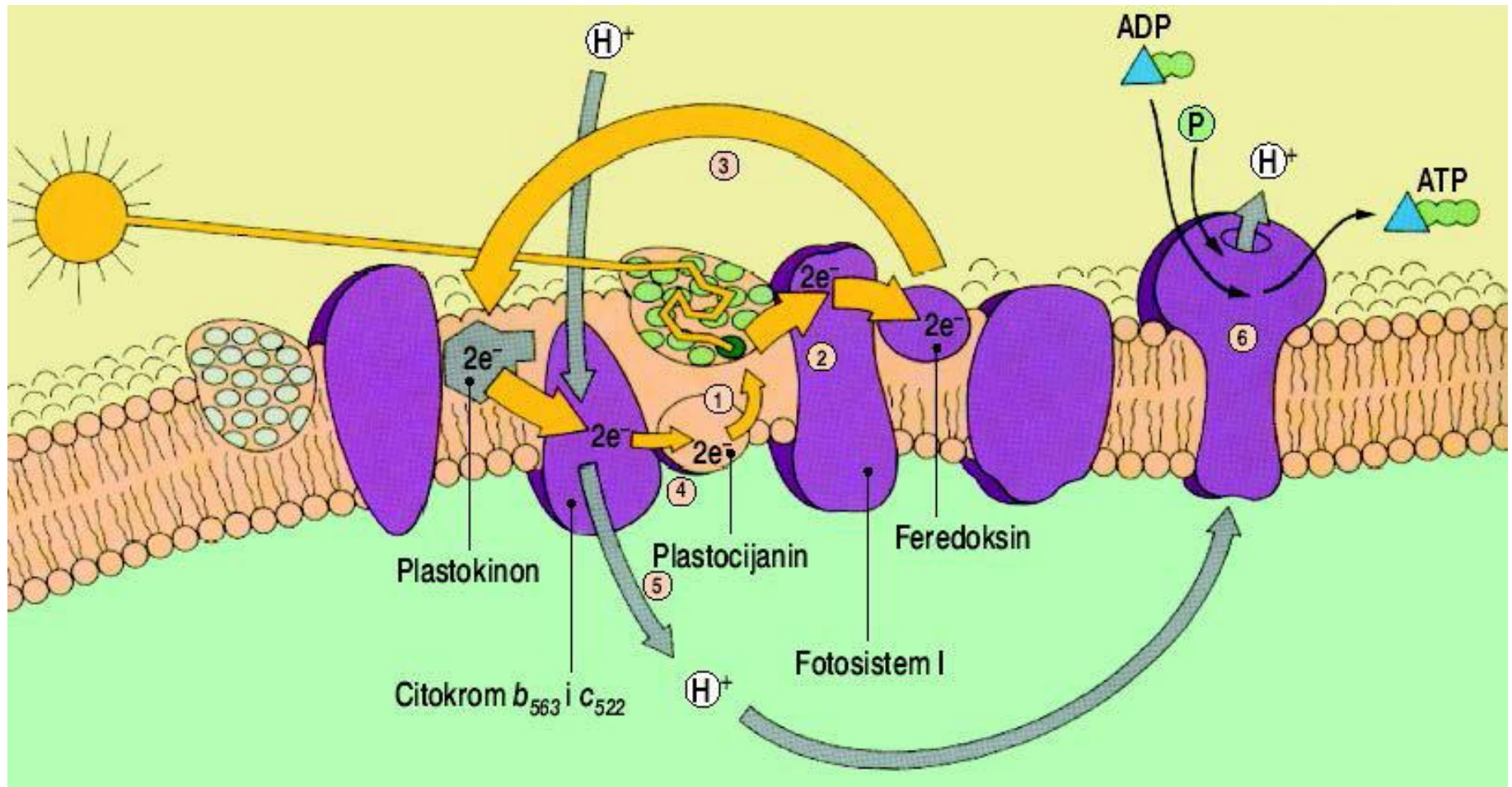
Svijetla faza fotosinteze



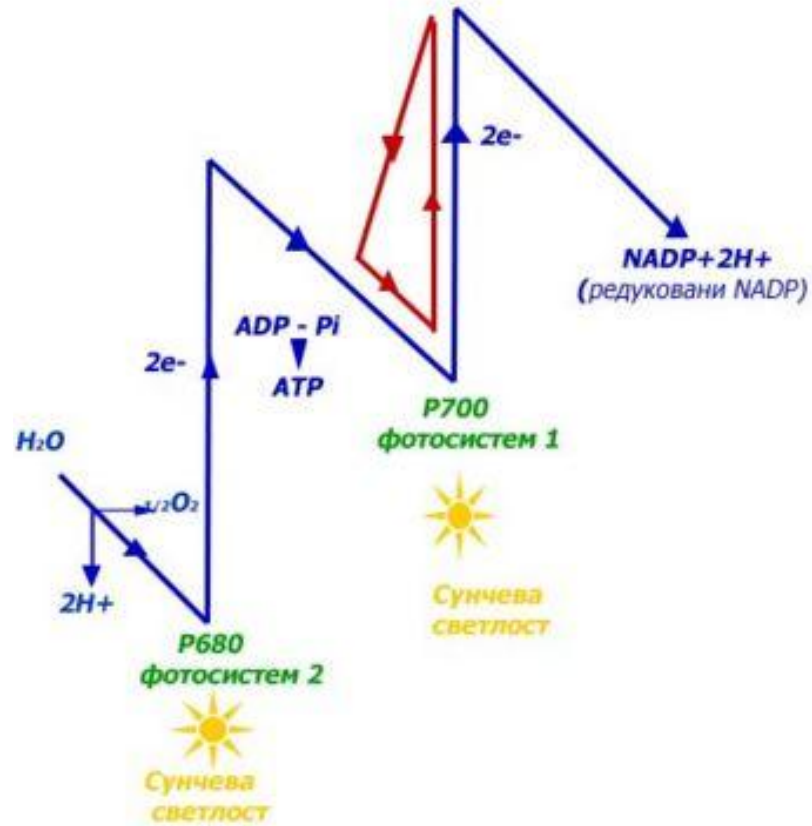
10011111, Pd - ferredoksin

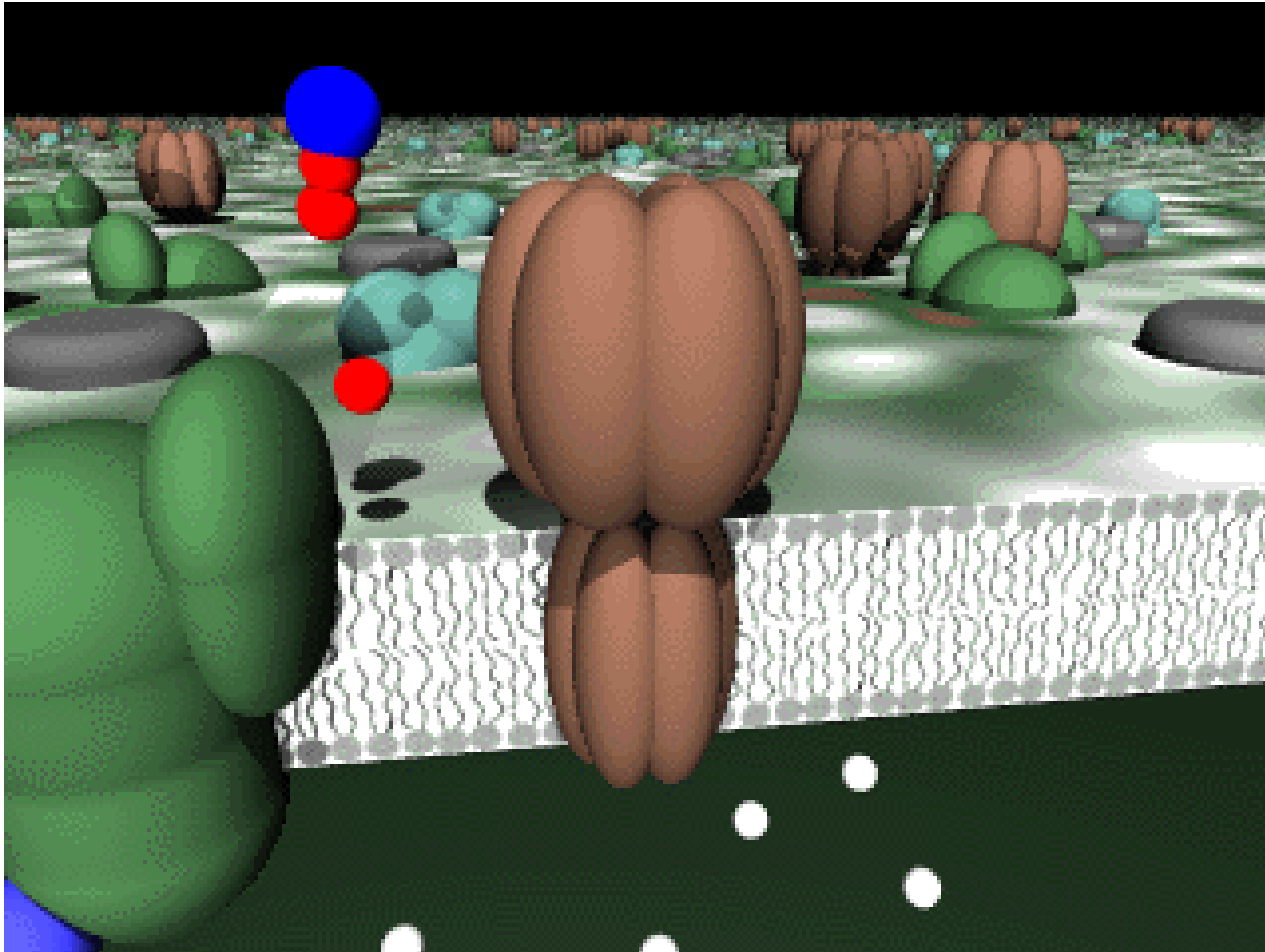


Ciklični tok elektrona



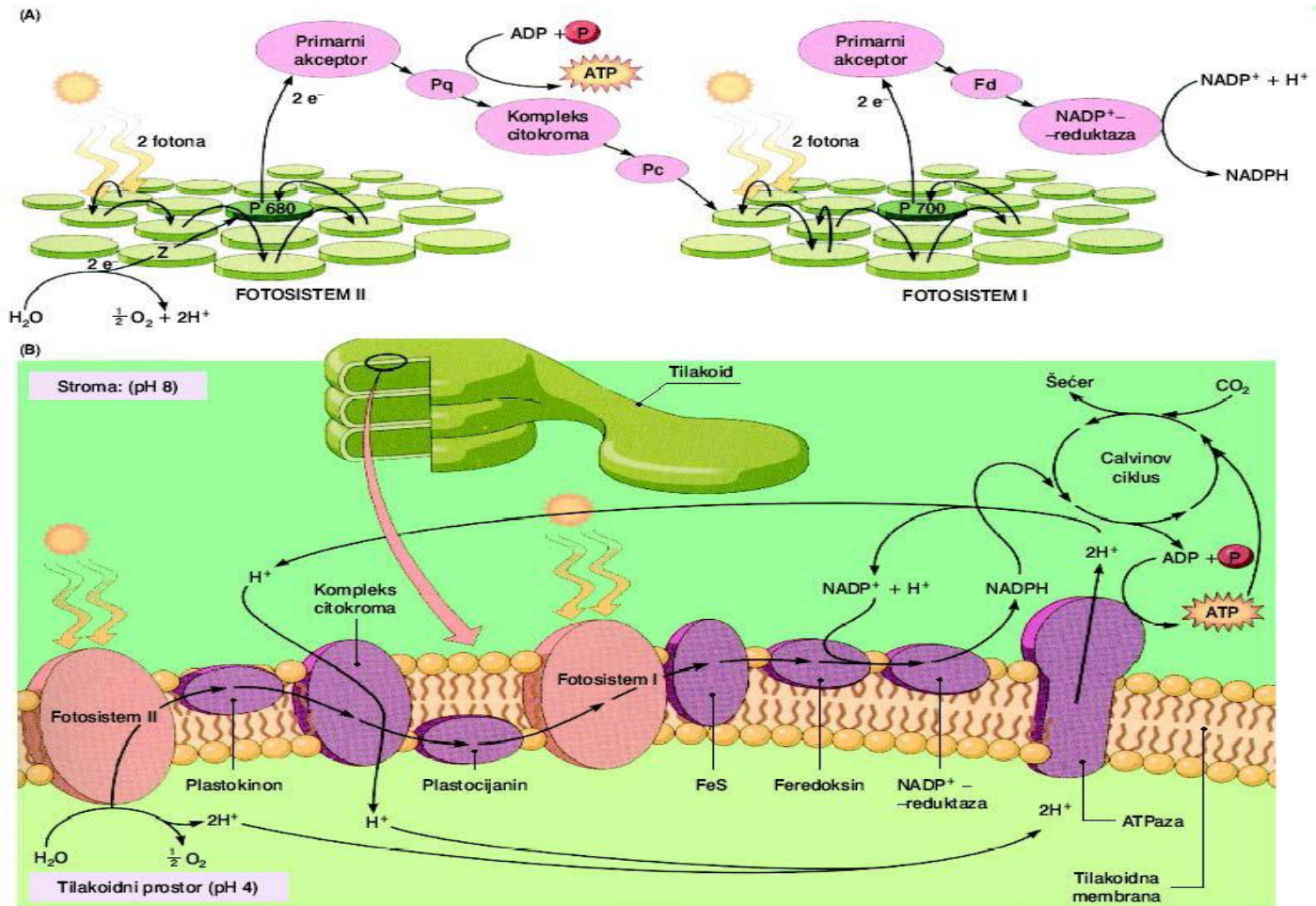
→ циклична фотофосфорилација
→ нециклична фосфорилација



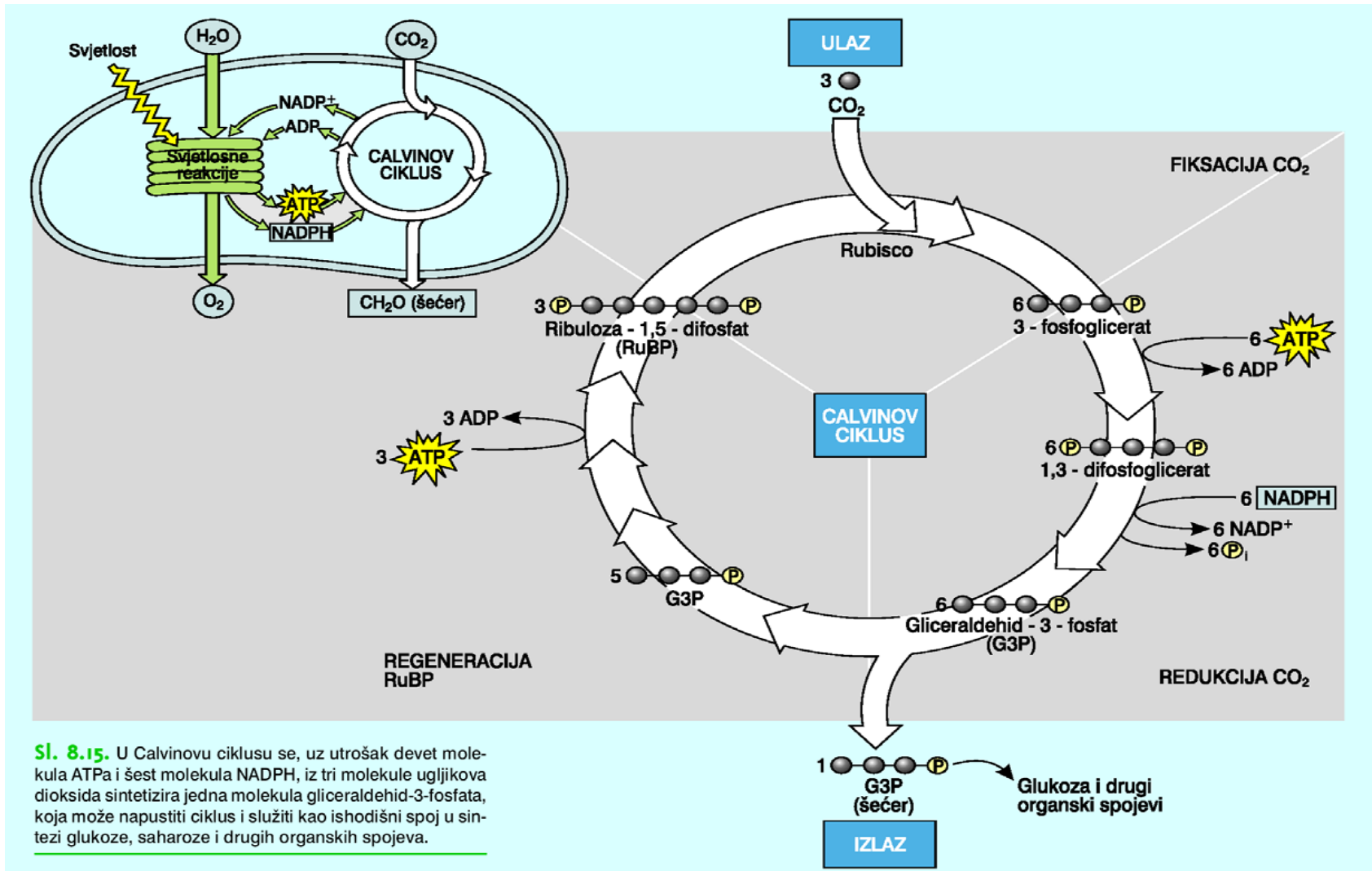


Protonski gradijent pokreće sintezu ATPa.

Neciklični tok elektrona



Calvinov ciklus



Sl. 8.15. U Calvinovu ciklusu se, uz utrošak devet molekula ATPa i šest molekula NADPH, iz tri molekule ugljikova dioksida sintetizira jedna molekula gliceralehid-3-fosfata, koja može napustiti ciklus i služiti kao ishodišni spoj u sintezi glukoze, saharoze i drugih organskih spojeva.

Kalvinov ciklus

tri faze:

- **fiksacija CO₂**

(akceptor ribuloza 1-5 bifosfat) ugradnjom CO₂ stvara se heksoza koja se raspada na dvije molekule 3 - fosfoglicerata

- **redukcija 3 - fosfoglicerata**

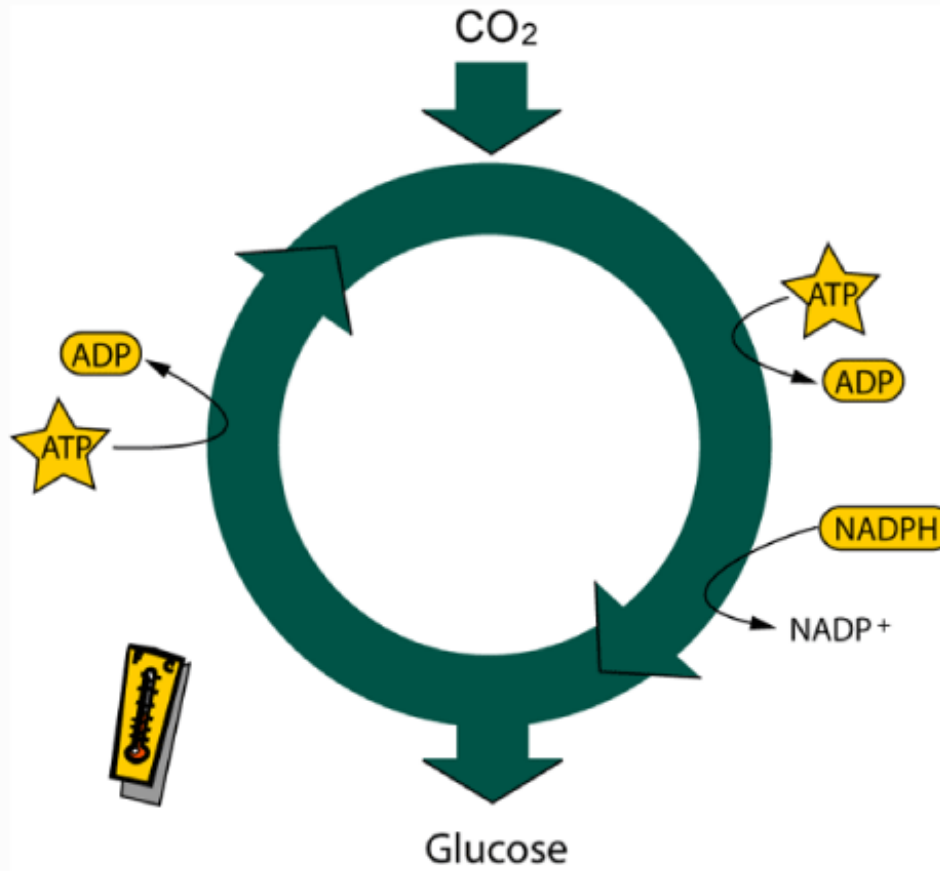
3 - fosfoglicerat se uz pomoć ATP-a i NADPH₂ redukuje u 3 - fosfogliceraldehid

3 - fosfogliceraldehid je osnovno jedinjenje pri nastajanju šećera

- **regeneracija akceptora CO₂, ribuloze 1-5 bifosfata**

ponovo se omogućava fiksacija CO₂, a time i obnavljanje ciklusa

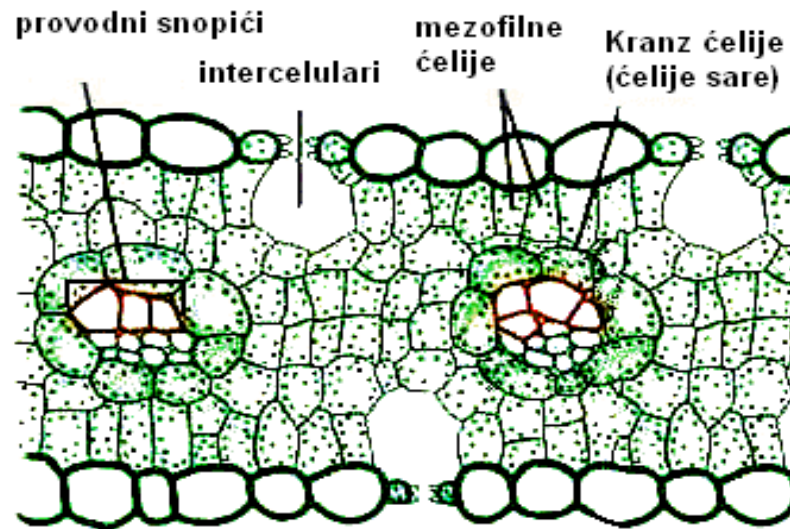
Kalvinov ciklus



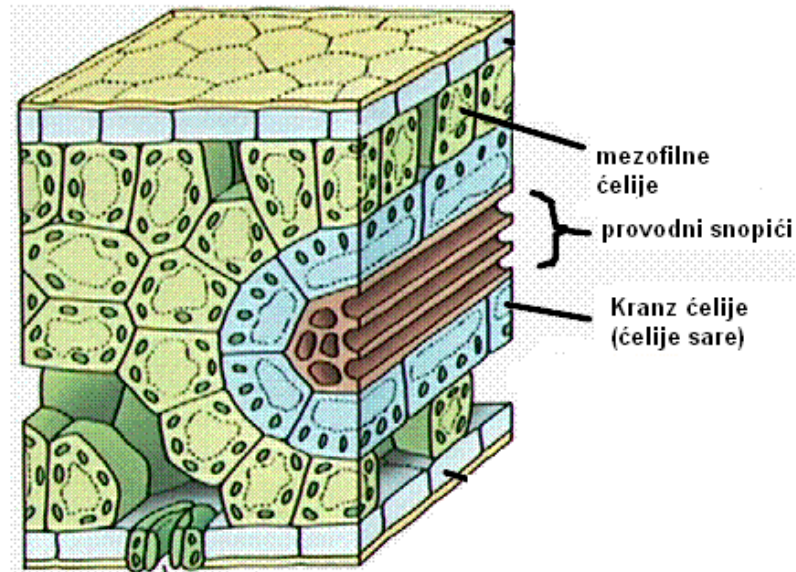
C₄ TIP FOTOSINTEZE

- većina biljaka u optimalnim klimatskim uslovima, gdje je prisutna dovoljna količina ugljenik dioksida i gdje je moguća normalna otvorenost stoma vrši **C₃** tip fotosinteze.
- međutim u sušnim predjelima, da bi se smanjio gubitak vlage uslijed intenzivne svjetlosti i visokih temperatura, stome moraju biti većim dijelom dana **zatvorene**, te je mogućnost ulaska CO₂ ograničena
- pri visokoj temperaturi i **fotorespiracija** (oksidacija Ru1-5 BP) je intenzivnija što dodatno umanjuje mogućnost fiksacije ugljen dioksida od strane Ru1-5 BP karboksilaze
- Zbog toga fiksaciju CO₂ obavlja **fosfoenolpiruvat karboksilaza** koja ima sedam puta veći **afinitet** prema CO₂ u odnosu na Ru1-5 BP-karboksilazu i na koju kiseonik uopšte ne utiče
- kao prvi produkt takve fiksacije nastaju C₄ jedinjenja - **C₄ tip fotosinteze**

- biljke koje obavljaju C_4 tip fotosinteze po svojim morfološkim karakteristikama listova i strukture hloroplasta izdvajaju se kao **posebna grupa biljaka**
- u asimilacionom tkivu listova C_4 biljaka razlikuju se dvije vrste ćelija:
- **ćelije mezofila** - (kao i kod drugih biljaka ali sa izraženijim intercelularima između njih)
- **Kranz ćelije** - ćelije oko provodnih snopića (ćelije sare) su zbijene i imaju krupne hloroplaste



- u **mezofilnim ćelijama** vrši se **fiksacija CO₂** iz vazduha i sinteza C₄ organskih kiselina (dominantan enzim fosfoenol piruvat karboksilaza)
- u **ćelijama sare** (Kranzove ćelije) vrši se faza redukcije (dominantan enzim RuBP - karboksilaza - **Rubisco**)



U sklopu asimilacije CO₂ razlikuju se sljedeće faze:

- **fiksacija CO₂** (fosfoenol piruvat karboksilaza) i sinteza C₄ kiselina u mezofilnim ćelijama - kao rezultat vezanja CO₂ sa fosfoenol piruvatom nastaje C₄ jedinjenje (**oksalacetat**) koji je toksičan i brzo prelazi u druge dvije kiseline **malat i aspartat**

- **transport C₄ kiselina** u ćelije sare

- **dekarboksilacija C₄ kiselina** i ponovo fiksacija CO₂ (Rubisco enzim)

- **transport ostataka sa tri atoma ugljika** kod ćelije mezofila

- **regeneracija fosfoenolpiruvata** - akceptora CO₂ u mezofilnim ćelijama

• prema kiselinu koja se najviše sintetiše u mezofilnim ćelijama C₄ biljke se klasifikuju na **malatne i aspartatne**

- kod **malatnih biljaka** oksalacetat djelovanjem malatne dehidrogenaze prelazi u **malat** (ovaj proces se vrši u hloroplastu mezofilnih ćelija)

- kod **aspartatnih biljaka** oksalacetat prelazi u **aspartat** (ovaj proces se vrši u citoplazmi mezofilnih ćelija)

•prema kiselinama koje se transportuju iz mezofila u ćelije sare kao i prema enzimima koji obavljaju dekarboksilaciju razlikuje se **tri tipa C₄ fotosinteze**:

- **NADP-malatni tip** - sa jabučnom kiselinom (malat) i NADP-malatnim enzimom
- **NAD tip** - sa asparaginskom kiselinom (aspartat) i NAD malatnim enzimom
- **PCK-aspartatni tip** - sa asparaginskom kiselinom i PCK - enzimom (fosfoenolpiruvat karboksikinaza)

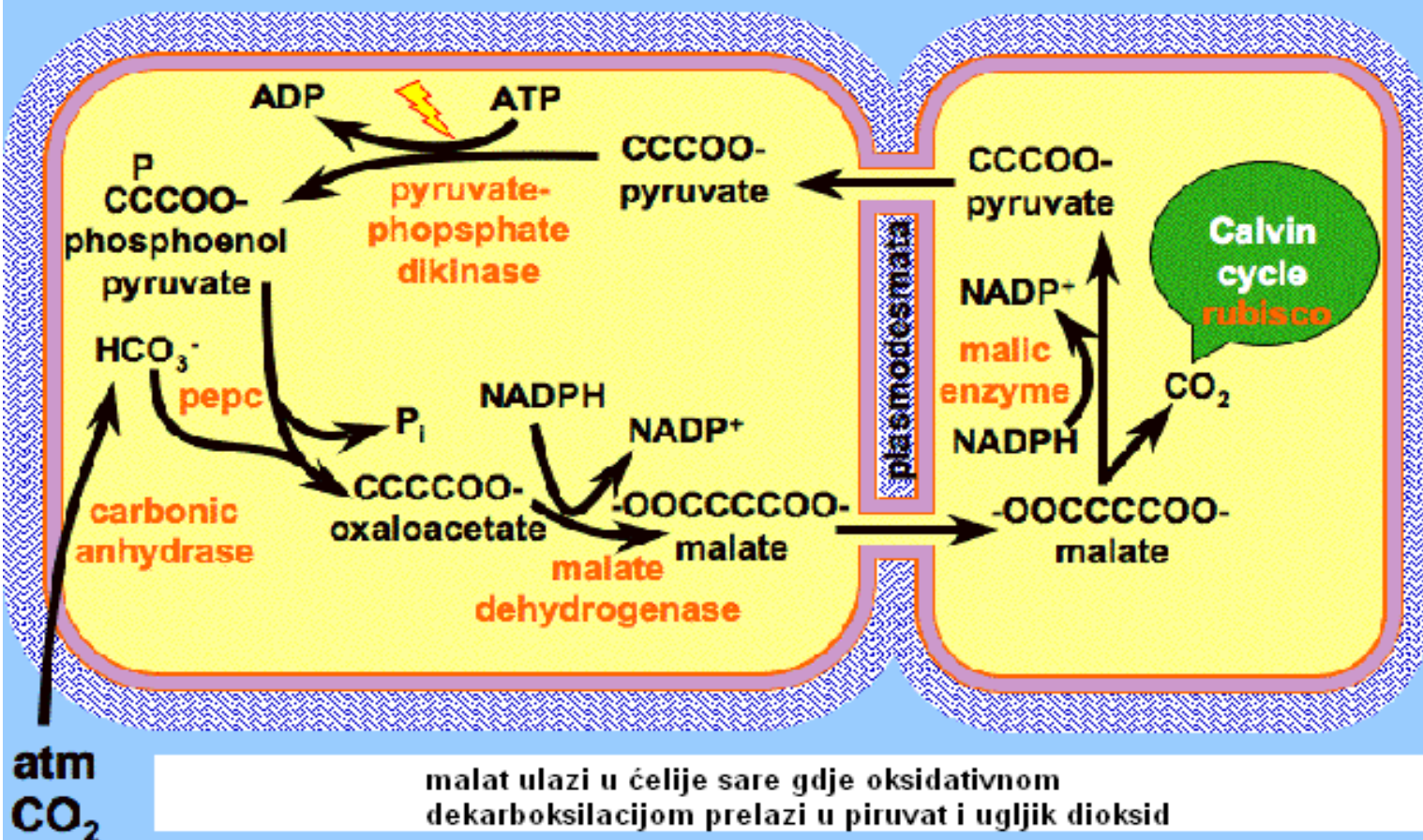
NADP-malatni tip

- kao rezultat vezanja CO₂ sa fosfoenol piruvatom nastaje oksalacetat
- oksalacetat se potom redukuje u malat koji se transportuje iz mezofilnih ćelija u ćelije sare (u hloroplaste)
- oksidativnom dekarboksilacijom (djelovanjem malatnog enzima vezanog za NADP) malat prelazi u **CO₂ i piruvat**
- **CO₂** se ponovo veže (ulazi u **Kalvinov ciklus**) - akceptor ribuloza 1-5 bifosfat karboksilaza (Rubisco enzim)
- **piruvat** se transportuje nazad u mezofilne ćelije gdje služi za **regeneraciju fosfoenol piruvata** (akceptora ugljen dioksida)

NADP malatni tip

ćelije mezofila

ćelije sare



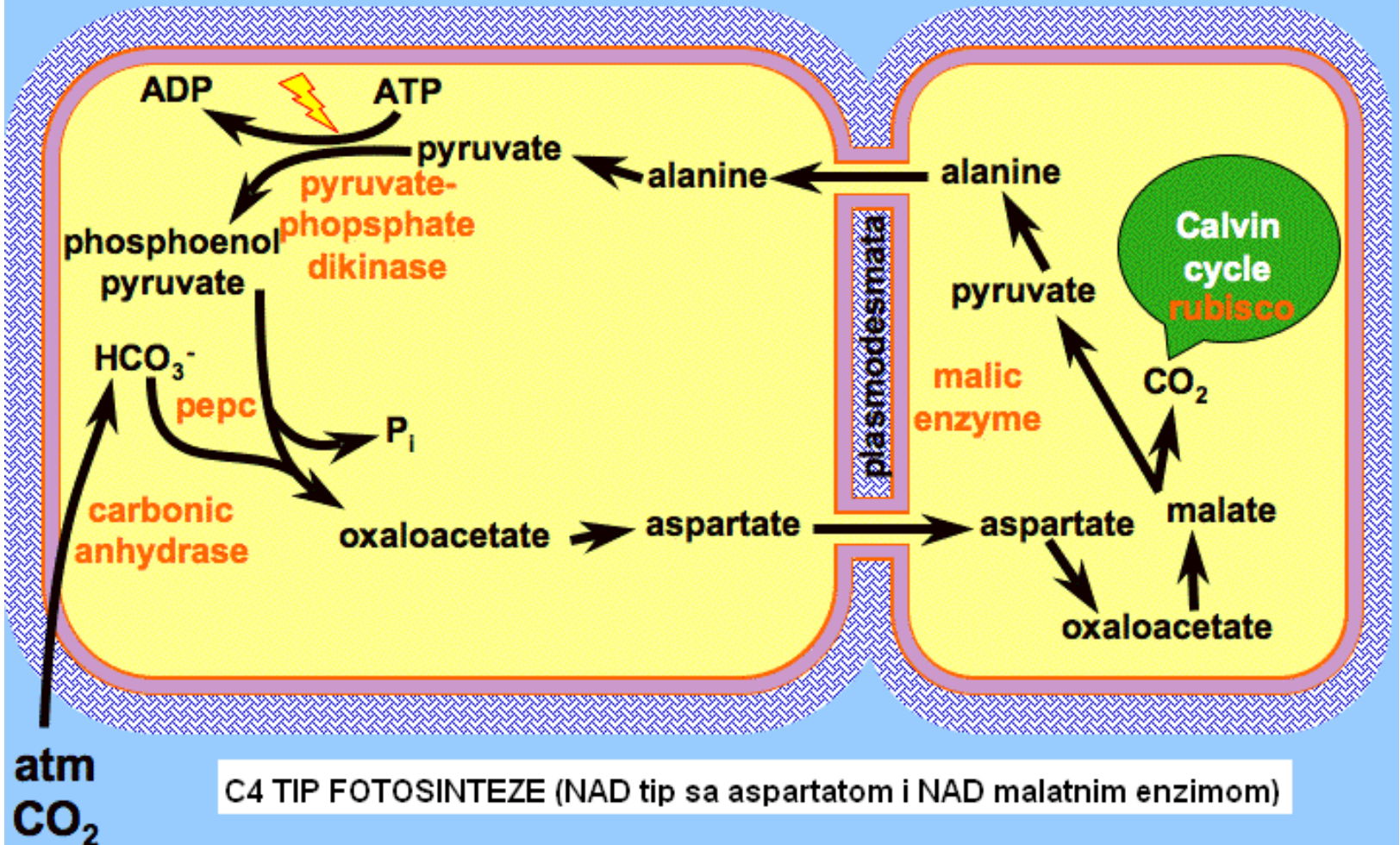
NAD-tip sa aspartatom i NAD malatnim enzimom

- kao rezultat vezanja CO_2 sa fosfoenol piruvatom nastaje **oksalacetat**

- oksalacetat se potom aminira i prelazi u aspartat
- aspartat se transportuje iz mezofilnih ćelija u ćelije sare (u mitohondrije)
- djelovanjem aspartatne aminotransferaze prenosi se aminogrupa sa aspartata na α - keto glutarat pri čemu nastaje **oksalacetat** i **glutamat**
- oksalacetat se redukuje u **malat** (pomoću NADP malatne dehidrogenaze) koji zatim oksidativnom dekarboksilacijom (djelovanjem **malatnog enzima vezanog za NAD**) prelazi u **CO_2 i piruvat**
- **CO_2** se ponovo veže (ulazi u Kalvinov ciklus) – akceptor ribuloza 1-5 bifosfat karboksilaza (Rubisco enzim)
- piruvat izlazi u citoplazmu i prima aminogrupu od glutamata, te prelazi u alanin
- **alanin** se transportuje nazad u mezofilne ćelije gdje vraća aminogrupu i prelazi u piruvat
- iz piruvata se potom regeneriše **fosfoenol piruvat** (akceptor ugljen dioksida)

ćelije mezofila

ćelije sare



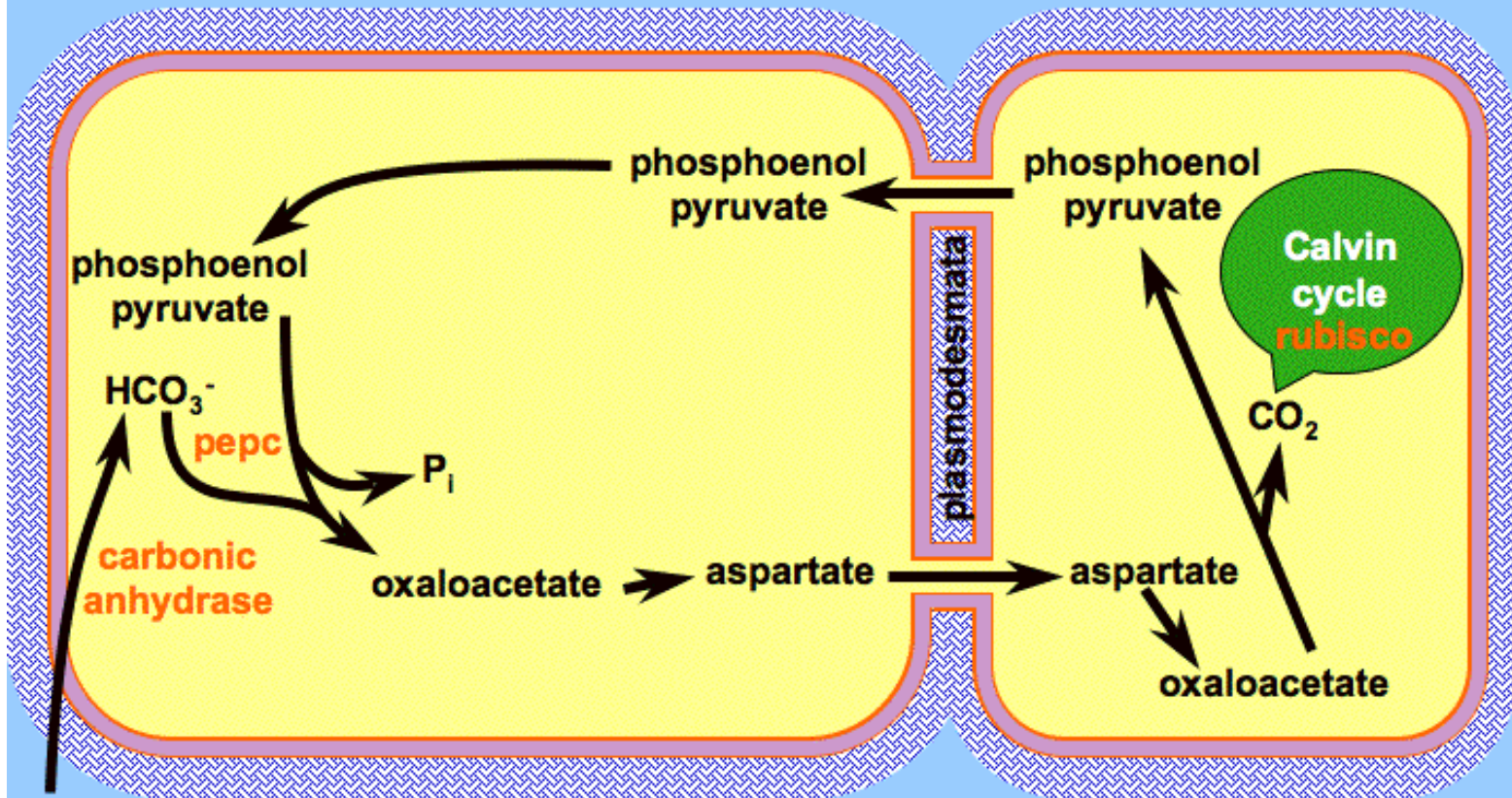
C4 TIP FOTOSINTEZE (NAD tip sa aspartatom i NAD malatnim enzimom)

PCK (fosfoenolpiruvat karboksikinaza) - aspartatni tip

- kao rezultat vezanja CO_2 sa fosfoenol piruvatom nastaje oksalacetat
- iz oksalacetata nastaje djelimično **aspartat** (aminacijom oksalacetata koja se odvija u citosolu) i djelomično **malat** (redukcijom oksalacetata koja se odvija u hloroplastu)
- **aspartat** se potom transportuje iz mezofilnih ćelija u ćelije sare
- djelovanjem aspartatne aminotransferaze prenosi se aminogrupa sa aspartata na a-keto glutarat pri čemu nastaje **oksalacetat i glutamat**
- oksalacetat djelovanjem **PCK enzima** prelazi u PEP (fosfoenolpiruvat) i CO_2
- PEP se vraća u mezofilne ćelije, a CO_2 prelazi u hloroplast i ulazi u Kalvinov ciklus
- **malat** se transportuje u mitohondrije ćelija sare gdje oksidativnom dekarboksilacijom (djelovanjem **malatnog enzima vezanog za NAD**) prelazi u **CO_2 i piruvat**
- **CO_2** prelazi u hloroplast i ulazi u Kalvinov ciklus, a **piruvat** prima aminoskupinu od glutamata, te prelazi u alanin
- alanin se vraća nazad u mezofilne ćelije i služi za regeneraciju **fosfoenol piruvata**

mezofilne ćelije

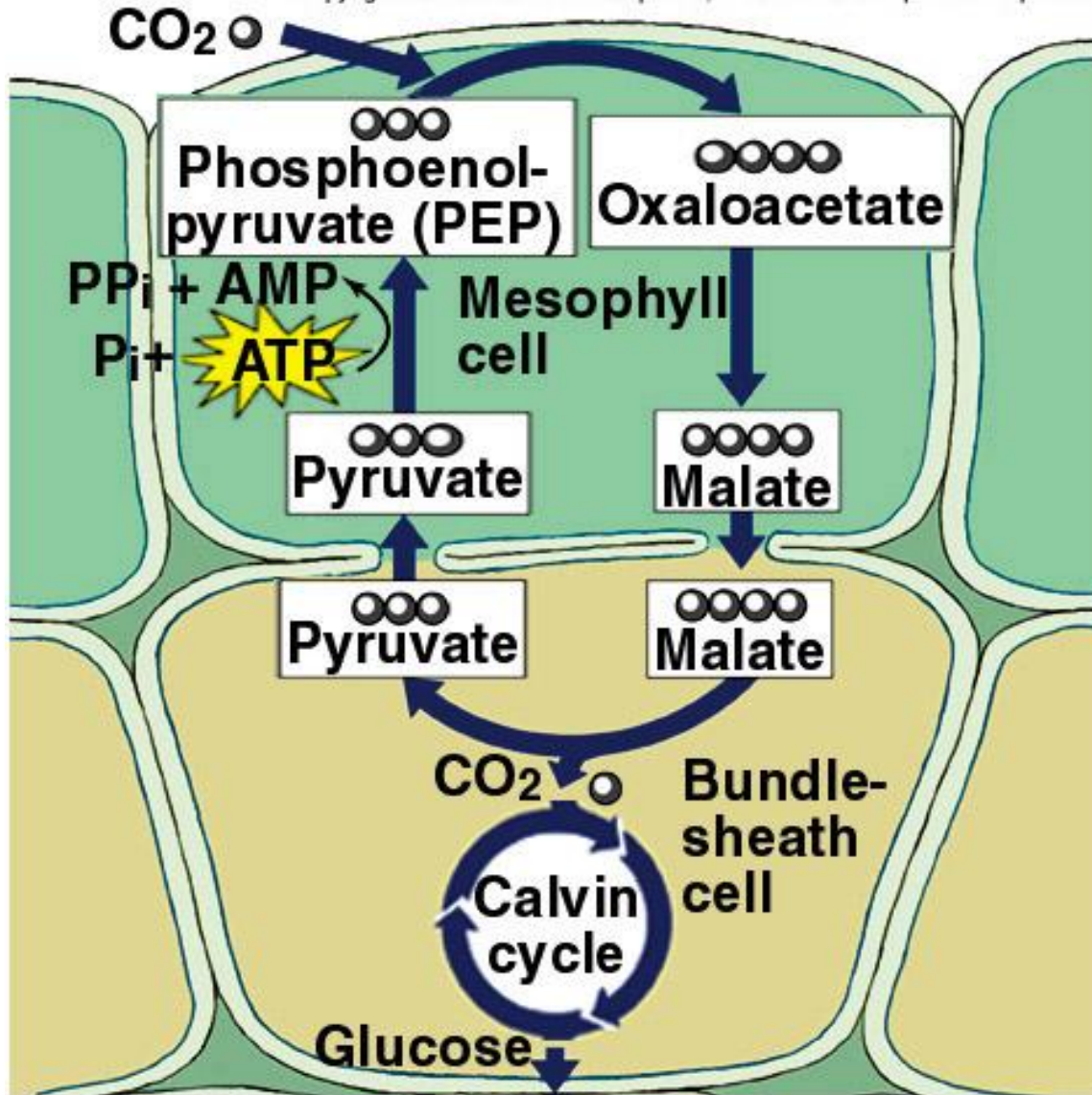
ćelije sare



atm
 CO_2

C4 TIP fotosinteze - PCK - aspartatni tip

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Carbon Fixation in C₄ Plants

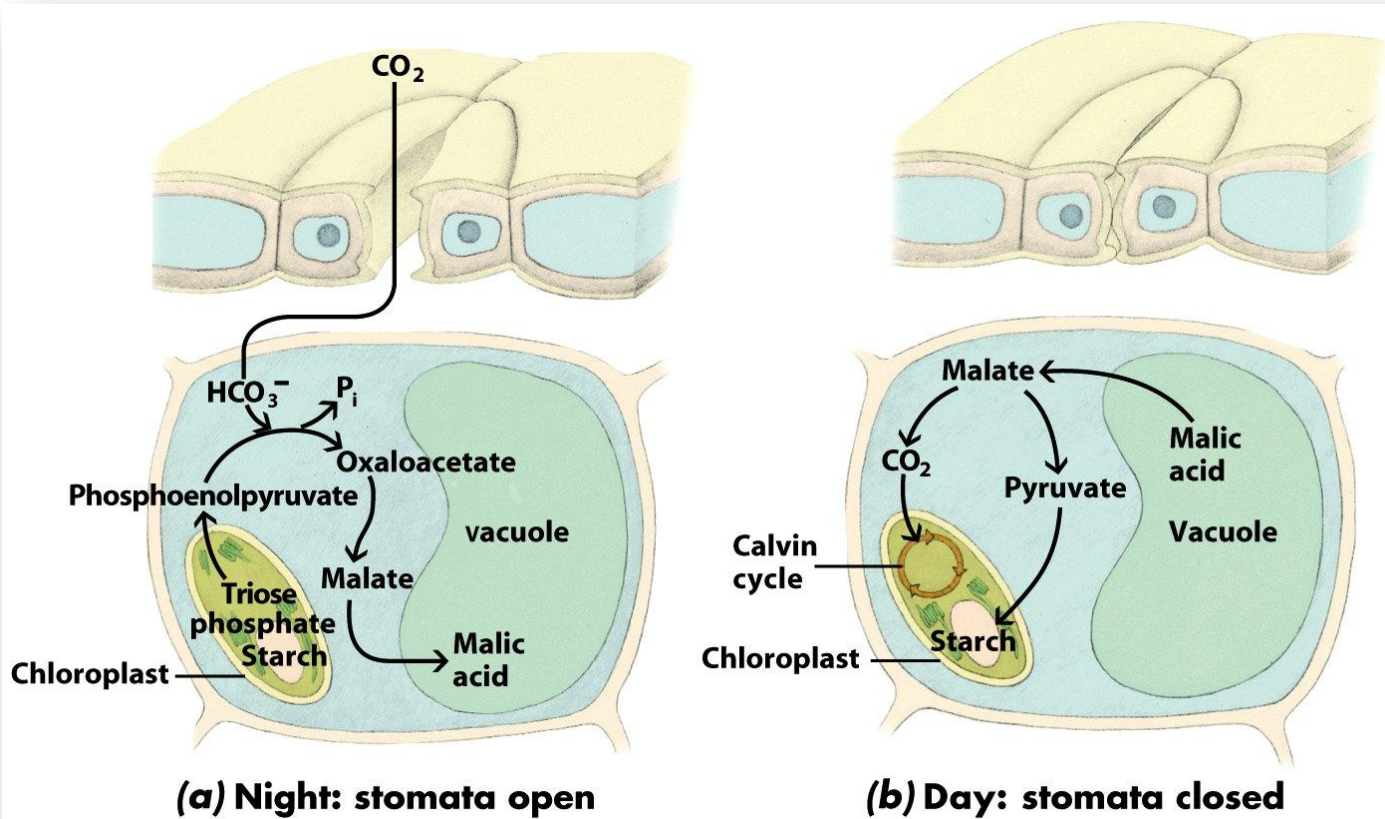
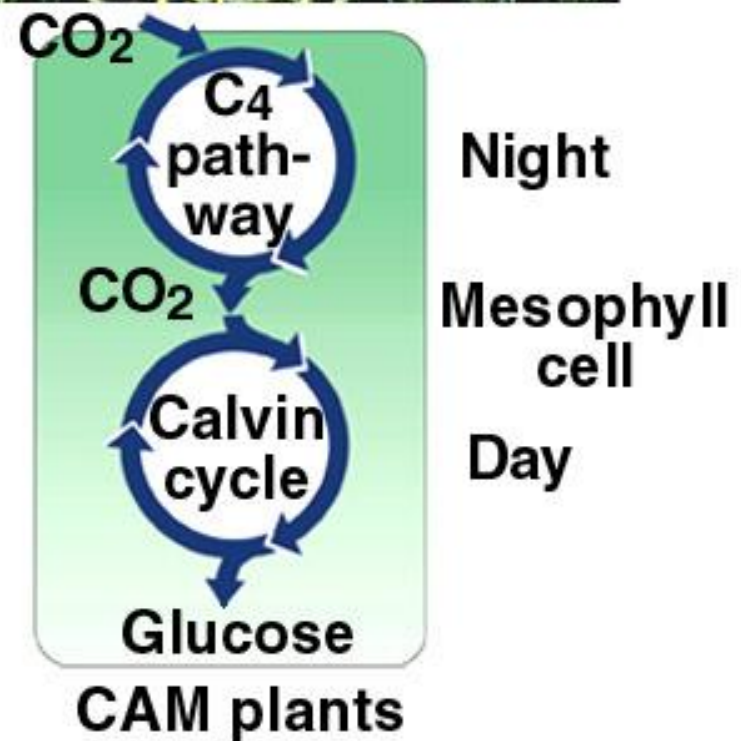
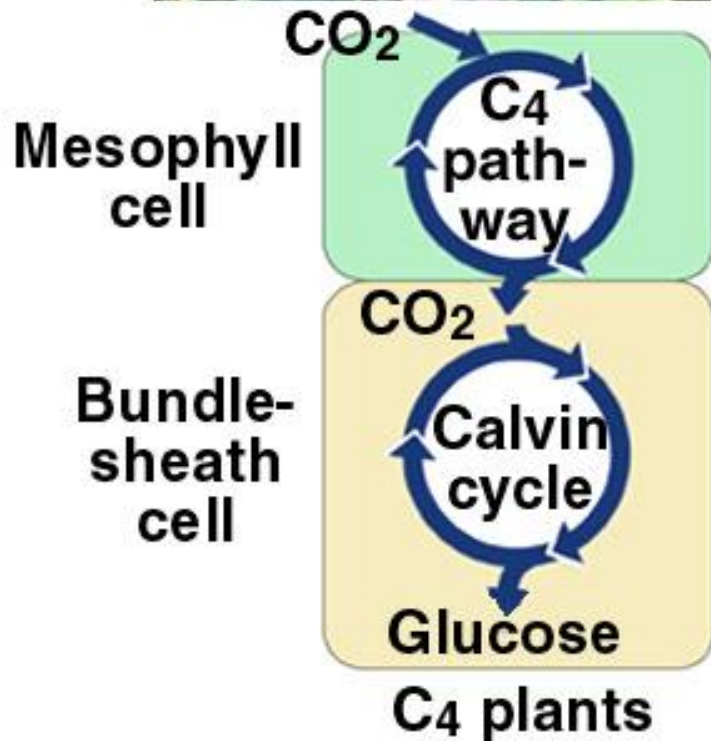


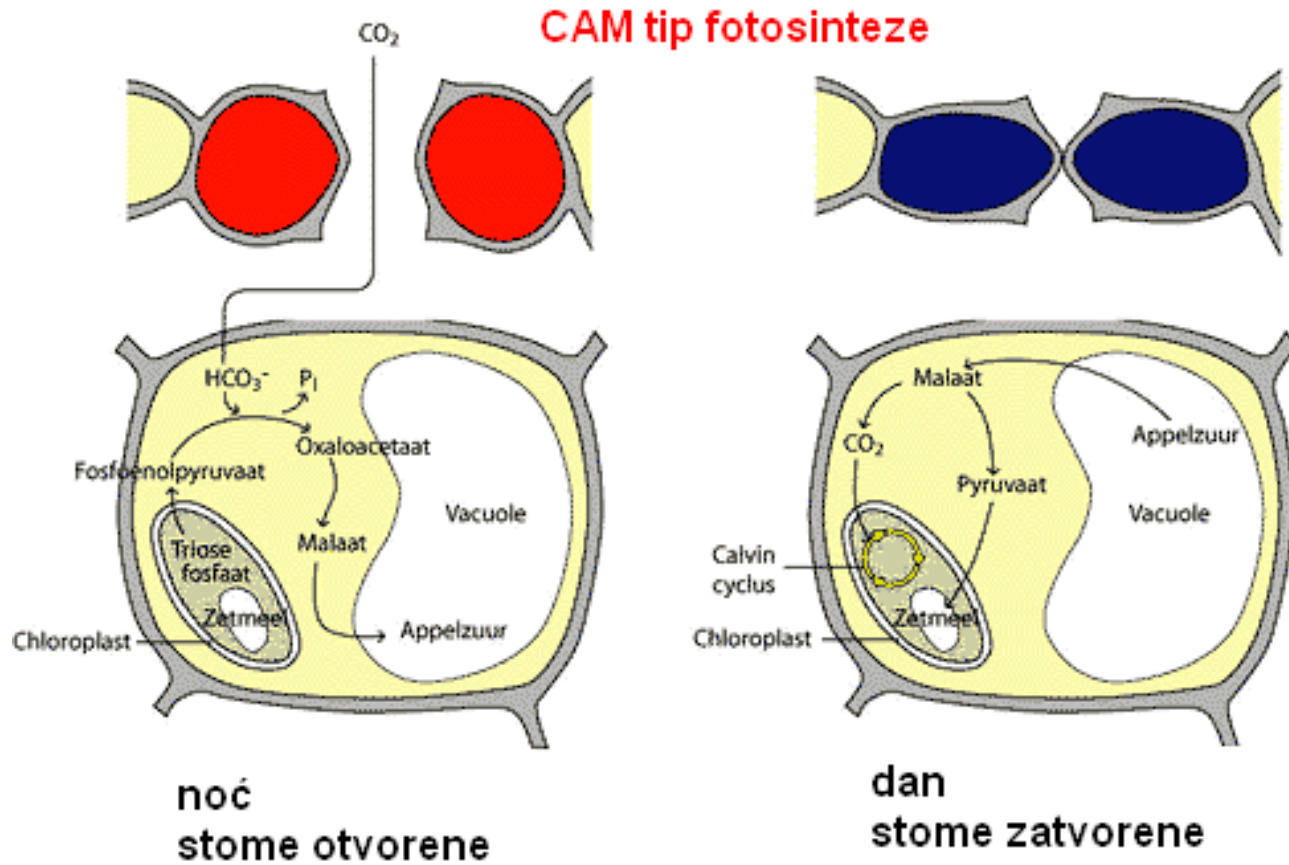
Figure 7-26
 Biology of Plants, Seventh Edition
 © 2005 W. H. Freeman and Company

Comparison of C₄ and CAM Plants

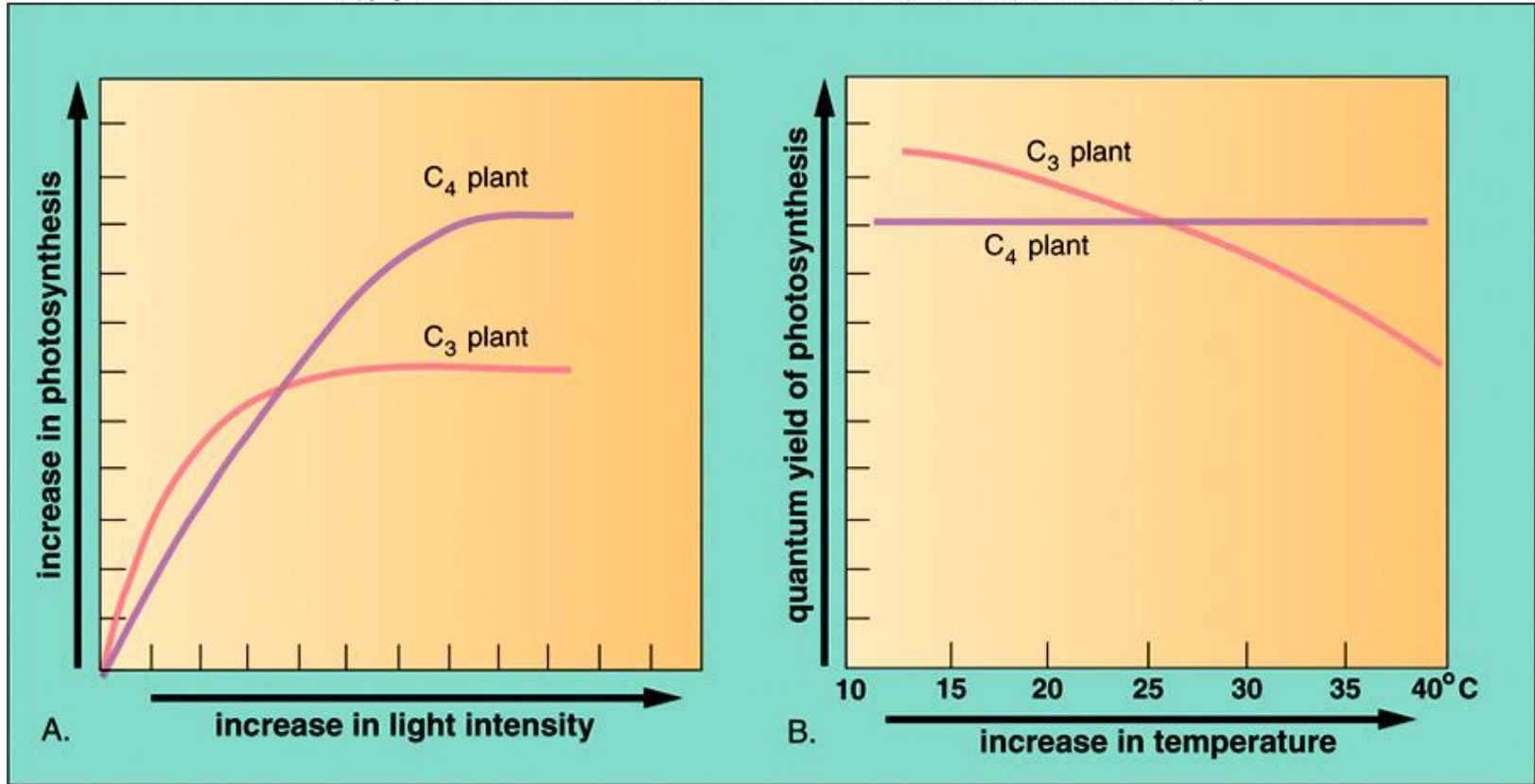


CAM TIP FOTOSINTEZE (kod sukulentnih biljaka)

Crassulacean acid metabolism

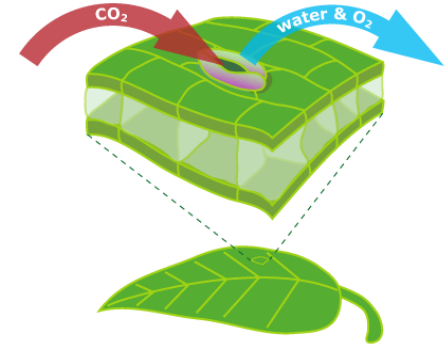
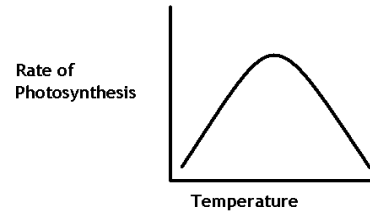
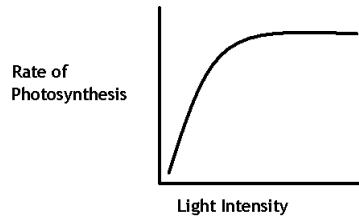


- CAM tip fotosinteze je sličan C₄ tipu fotosinteze
- biljke koje vrše CAM fotosintezu takođe imaju specifičan način fiksiranja CO₂ samo što je kod njih ovaj proces odvojen *vremenski*, a kod C₄ biljaka *prostorno*
- kod CAM biljaka se fiksacija CO₂ obavlja *noću*, a sama redukcija CO₂ u šećere danju
- stome su kod ovih biljaka većim dijelom dana *zatvorene* (sprečavanje transpiracije) pa se CO₂ vezuje noću (akceptor PEP karboksilaza)
- oksalacetat koji nastaje tim vezivanjem, prelazi u *malat* (jabučnu kiselinu)
- malat se noću nakuplja u *vakuoli*, a u toku dana vrši se njegova oksidativna dekarboksilacija pri čemu nastaje CO₂ i *piruvat*
- tako nastali CO₂ ne može da izađe iz lista jer su stome tokom dana zatvorene, a postepenim povećavanjem njegove koncentracije dolazi do fiksacije CO₂ od strane *Rubisco* enzima čime započinje reduktivni pentoza fosfatni ciklus
- u CAM biljke ne spadaju isključivo **sukulenti**
- glavni kriterij za svrstavanje u CAM biljke je dnevna fluktuacija jabučne kiseline
- ovaj tip fotosinteze je prvo uočen u biljaka iz por. **Crassulaceae**

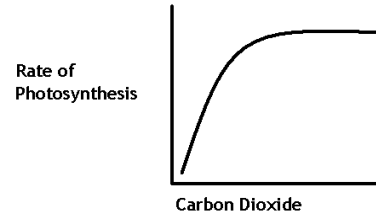


VANJSKI FAKTORI KOJI UTIČU NA PROCES FOTOSINTEZE

Svjetlost



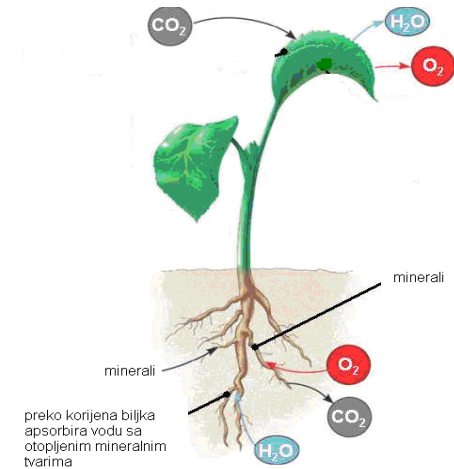
Temperatura



Količina ugljen - dioksida

Mineralne materije

Voda



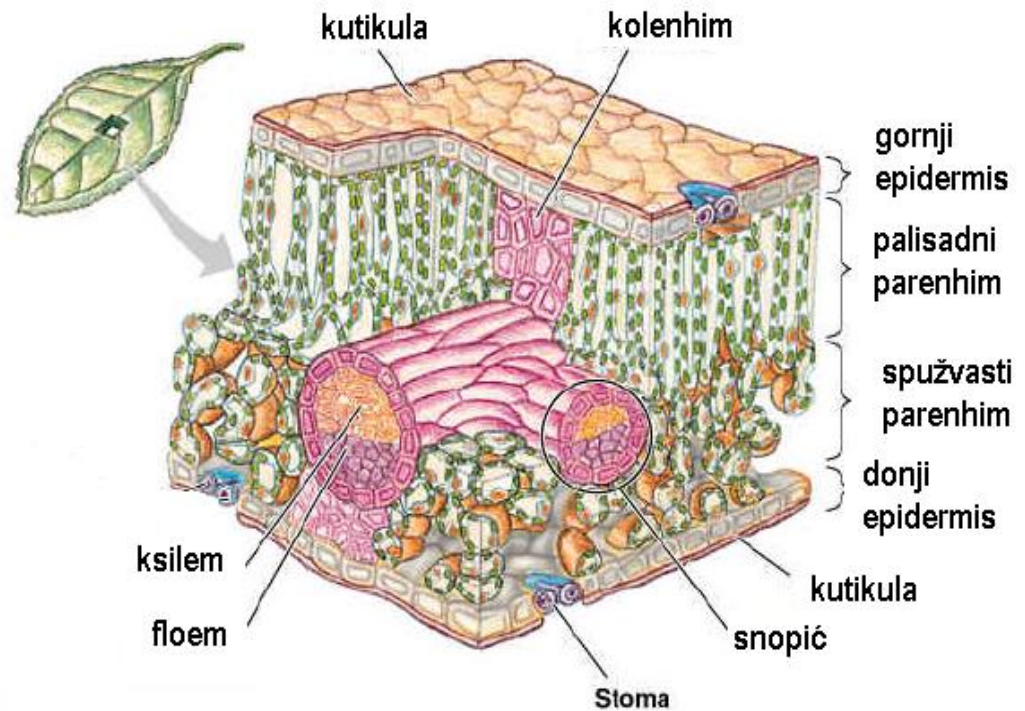
UNUTRAŠNJI FAKTORI KOJI UTIČU NA PROCES FOTOSINTEZE

anatomska građa lista

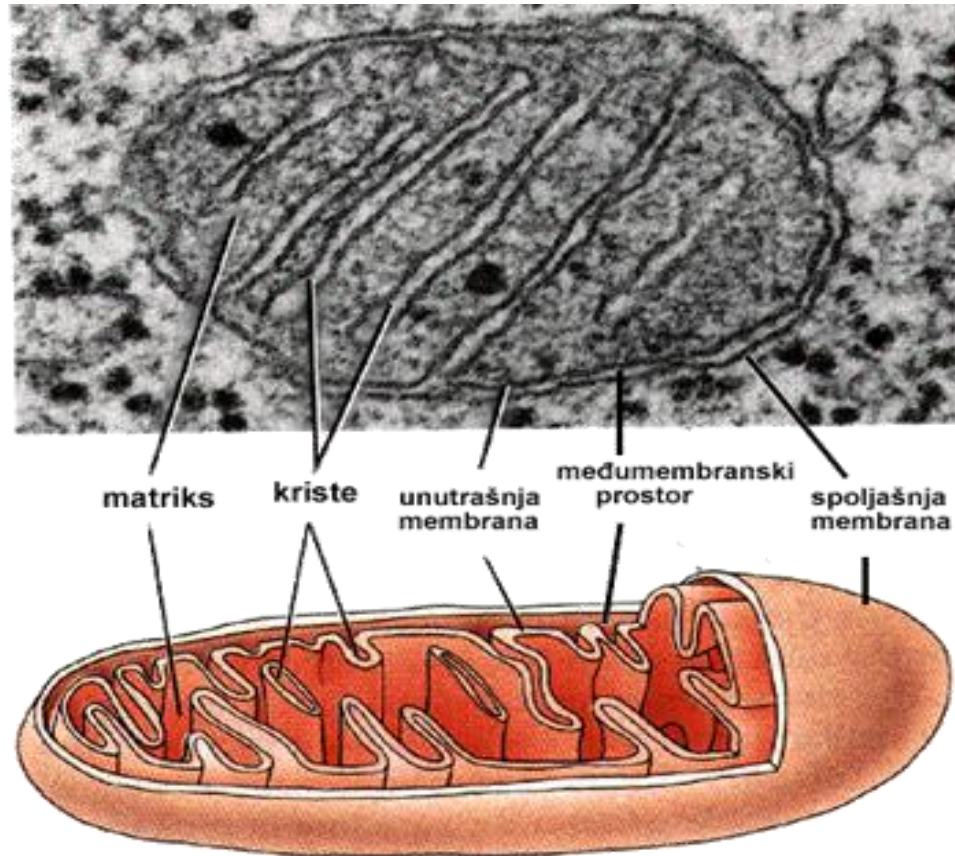
veličina lista

starost lista

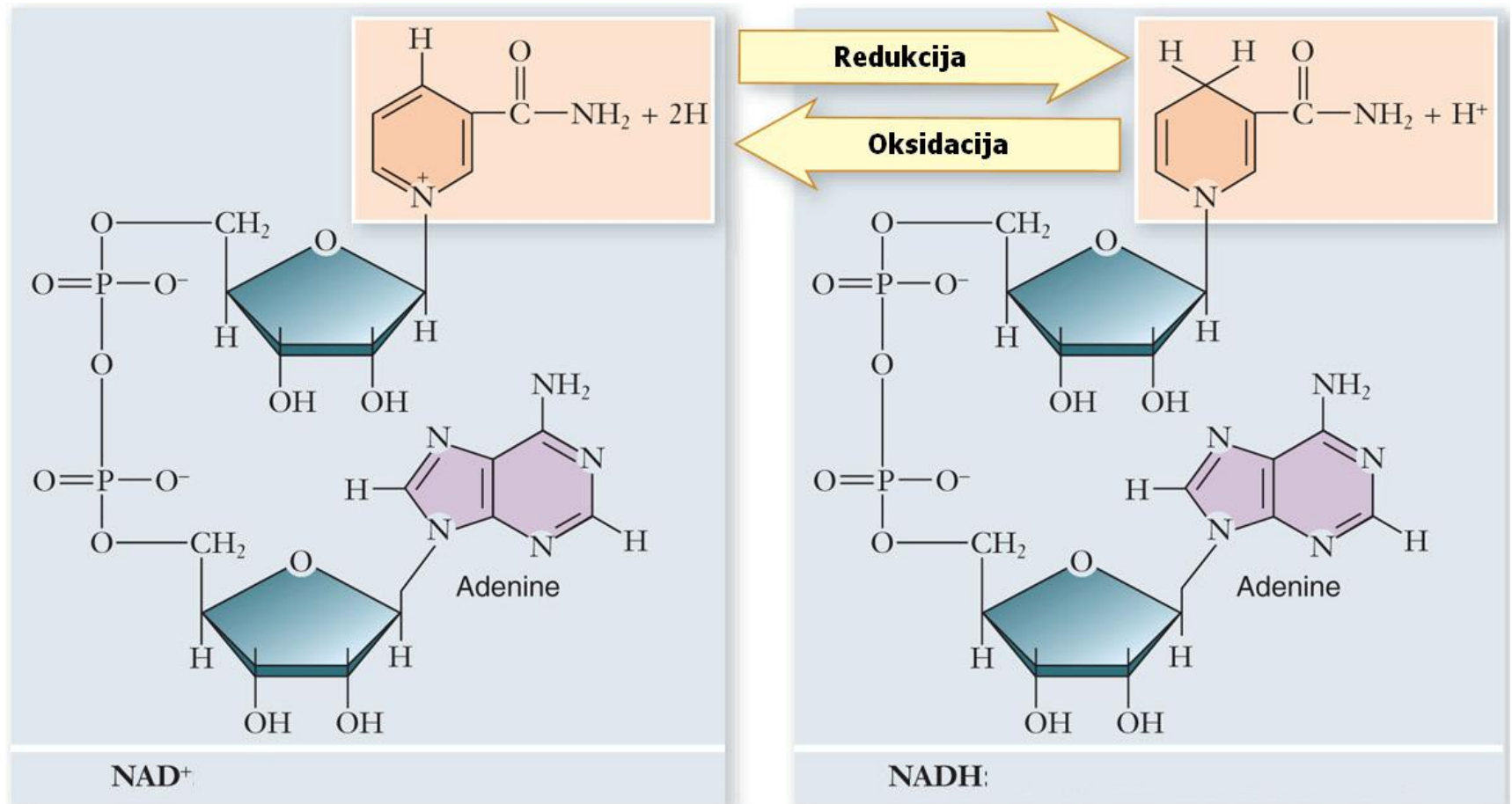
položaj lista



DISANJE



- U toku reakcija oksidoredukcije elektroni prenose energiju sa jednog molekula na drugi
- **NAD⁺** je prenosilac elektrona
- NAD prima 2 elektrona i 1 proton i prelazi u **NADH**
- Reakcija je povratna



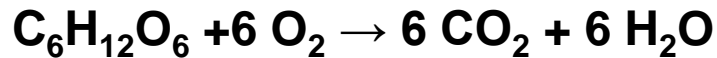
U toku disanja elektroni se prenose putem prenosilaca elektrona do krajnjeg akceptora elektrona

AEROBNO DISANJE: krajnji akceptor elektrona je kiseonik (O₂)

ANAEROBNO DISANJE: krajnji akceptor elektrona je neorganski molekul (nije O₂)

FERMENTACIJA: krajnji akceptor elektrona je organski molekul

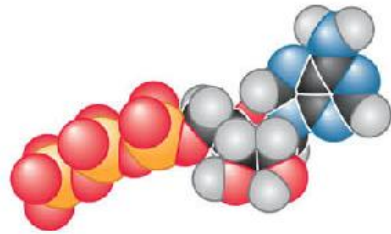
AEROBNO DISANJE



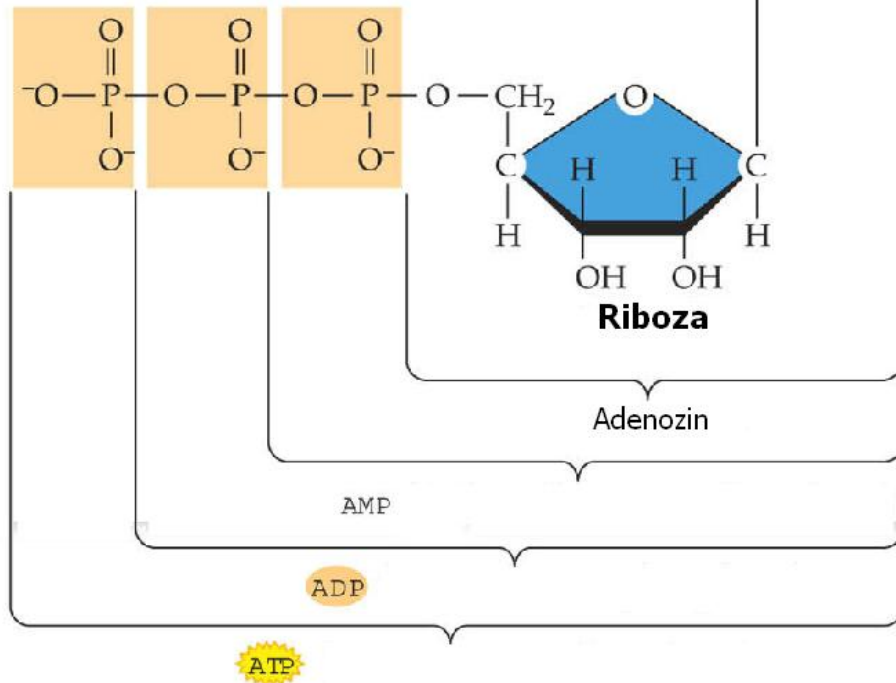
$\Delta G = -2872 \text{ kJ/mol}$ glukoze

Ova velika količina energije se oslobađa u malim porcijama a ne odjednom

ATP



Fosfatne grupe



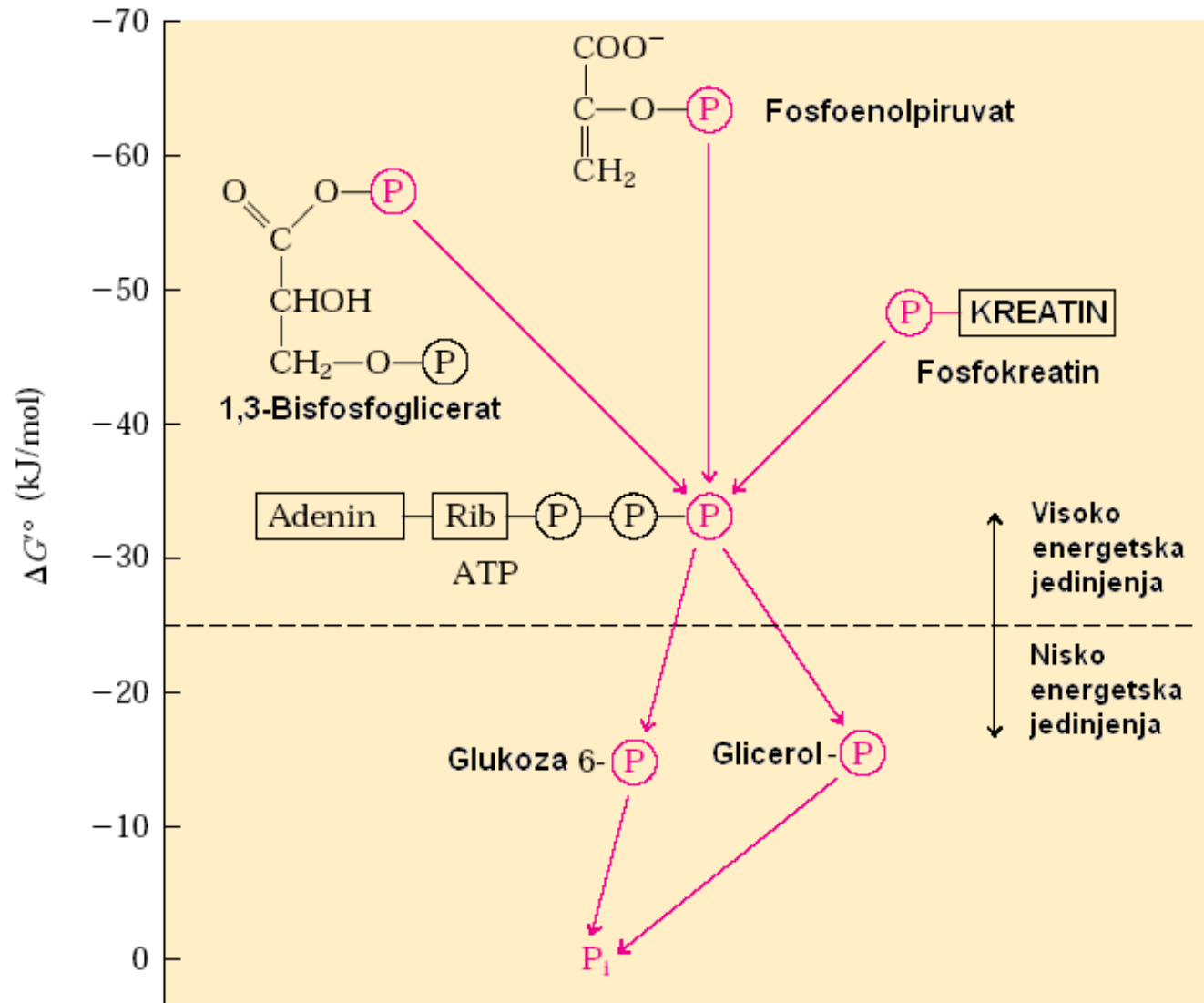
Nastajanje ATP

Ćelije mogu stvarati ATP putem:

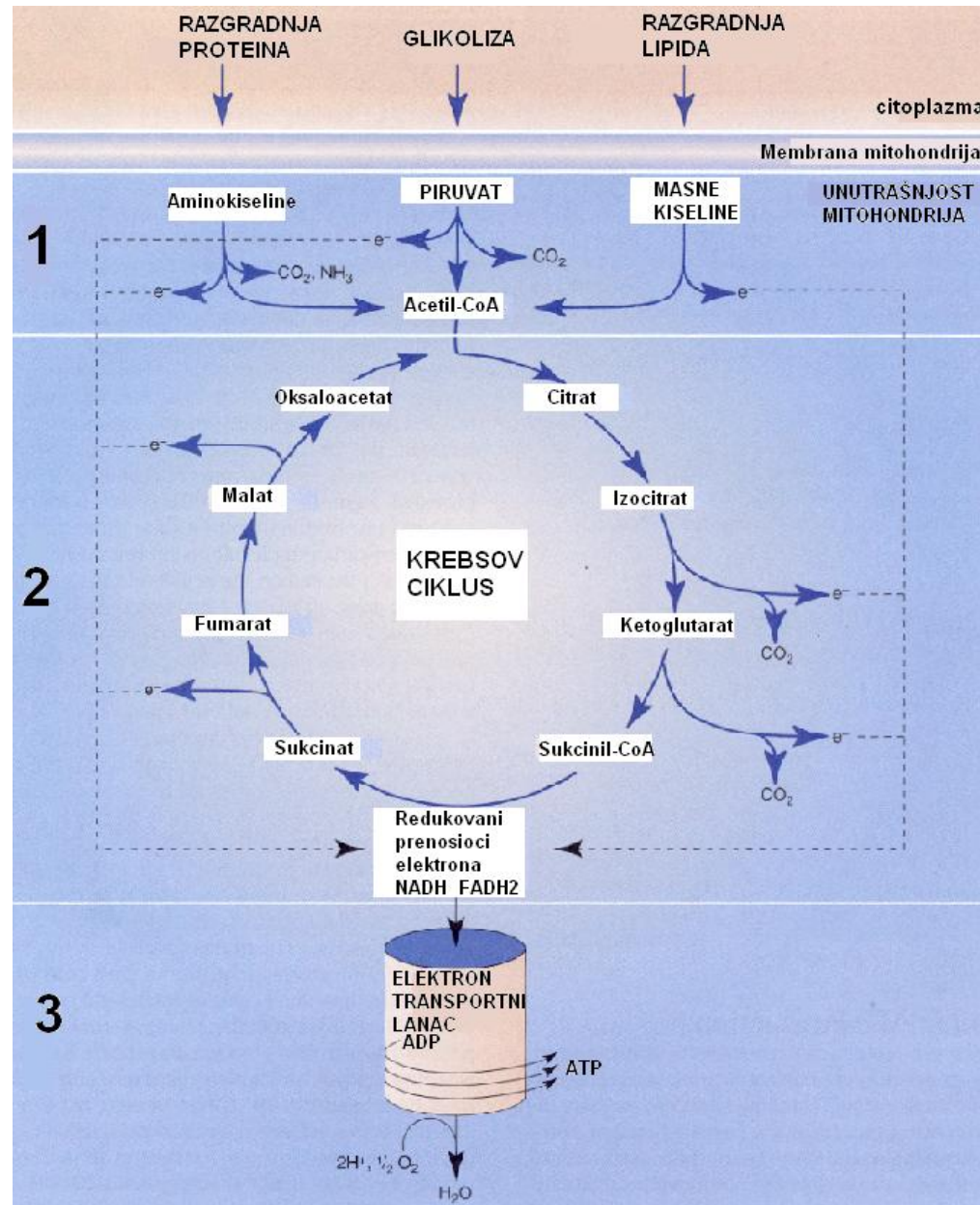
Fosforilacije na nivou supstrata – direktan prenos fosfata sa drugog molekula

Oksidativne fosforilacije – koristi se energija iz gradijenta H^+ uz katalizu ATP sintetaze da se od fosfata i ADP napravi **ATP**

Fosforilacija na nivou supstrata



Oksidativna fosforilacija u mitohondrijama



Glikoliza

Glikoliza je izvor prekursora za biosintezu raznih metabolita

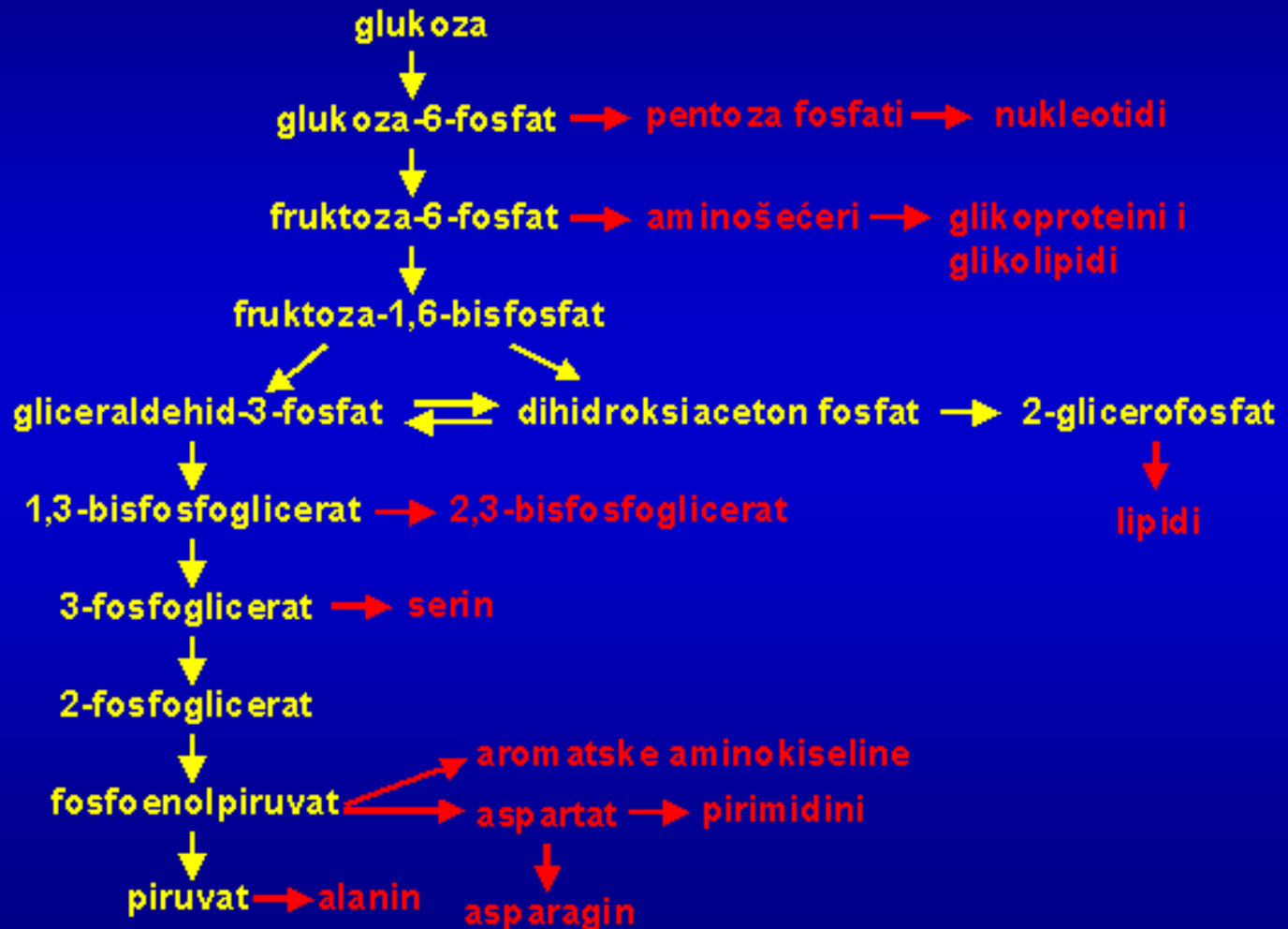
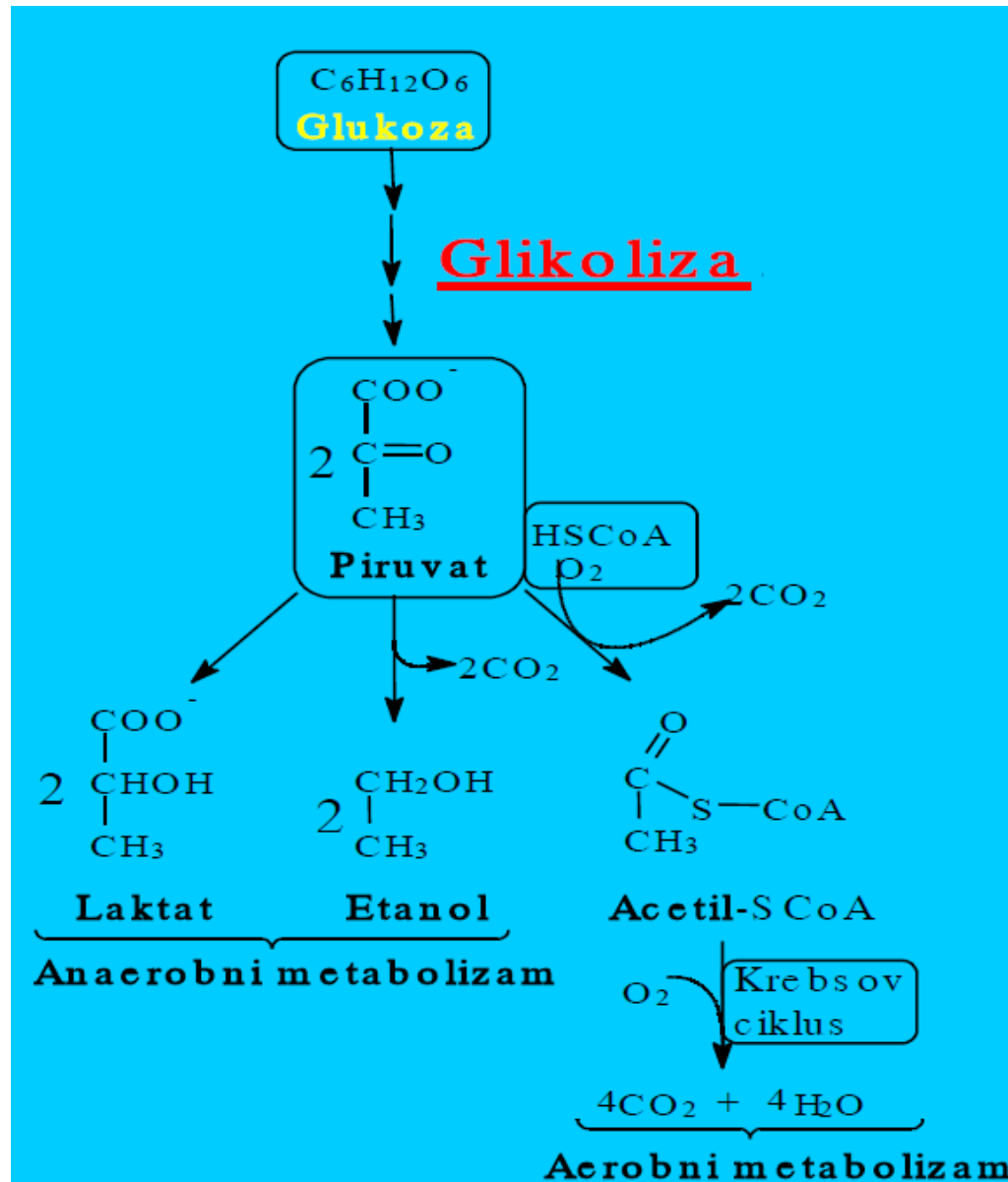




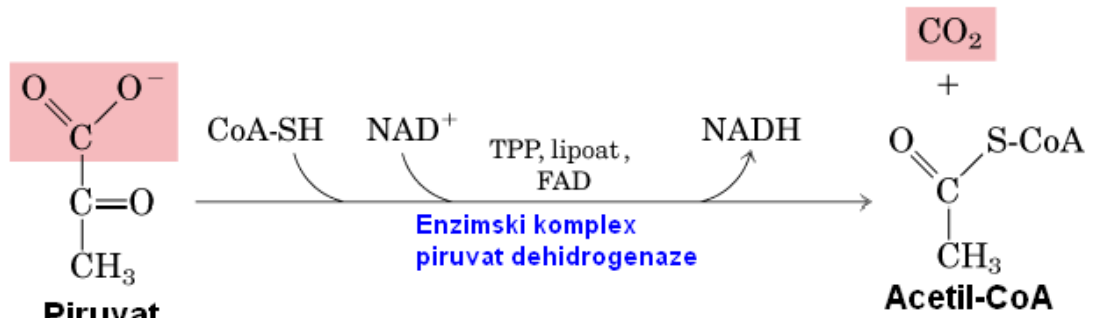
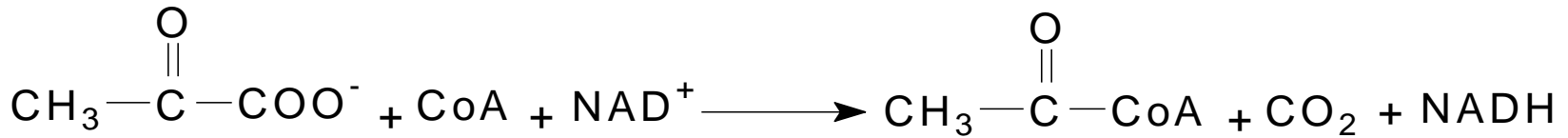
Tabela 11-1. Energetski bilans razgradnje glukoze u glikoliznom putu

Reakcije	$\Delta G^0 \text{ mol}^{-1}$	
	kJ	kcal
Glukoza + ATP → glukoza-6-fosfat + ADP	- 16.7	- 4.0
Glukoza-6-fosfat → fruktoza-6-fosfat	+ 1.7	+ 0.4
Fruktoza-6-fosfat + ATP → fruktoza-1,6-difosfat + ADP	- 13.8	- 3.3
Fruktoza-1,6-di P → dihidroksiaceton- P + gliceraldehid-3- P	+ 23.8	+ 5.7
Dihidroksiaceton-fosfat → gliceraldehid-3-fosfat	+ 7.5	+ 1.8
2(Gliceraldehid-3-fosfat) + 2NAD ⁺ + 2Pi → 2(1,3-difosfoglicerat) + 2 NADH + 2H ⁺	+ 12.4	+ 3.0
2(1,3-difosfoglicerat) + 2 ADP → 2(3-fosfoglicerat) + 2ATP	- 37.6	- 9.0
2(3-Fosfoglicerat) → 2 fosfoglicerat	+ 8.8	+ 2.1
2(2-Fosfoglicerat) → 2 fosfoenolpiruvat + 2H ₂ O	+ 3.4	+ 0.8
2Fosfoenolpiruvat + 2ADP → 2 piruvat + 2ATP	- 62.8	- 15.0
Glukoza + 2 ADP + 2 Pi → 2 piruvat + 2ATP	- 73.3	- 17.5

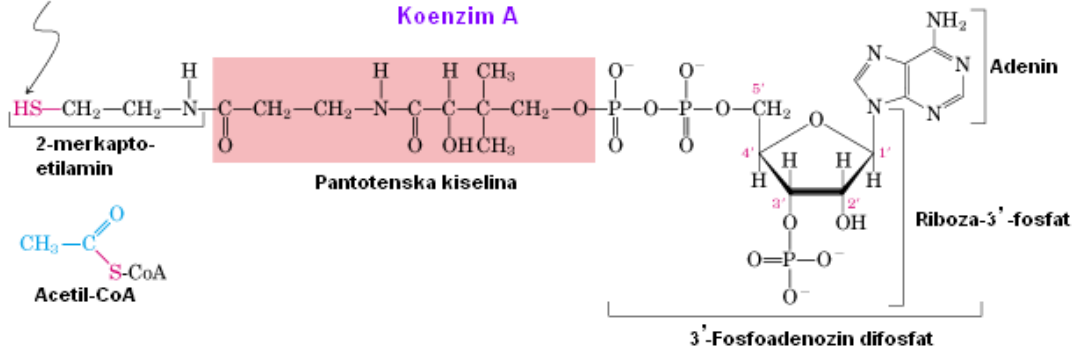
Put piruvata



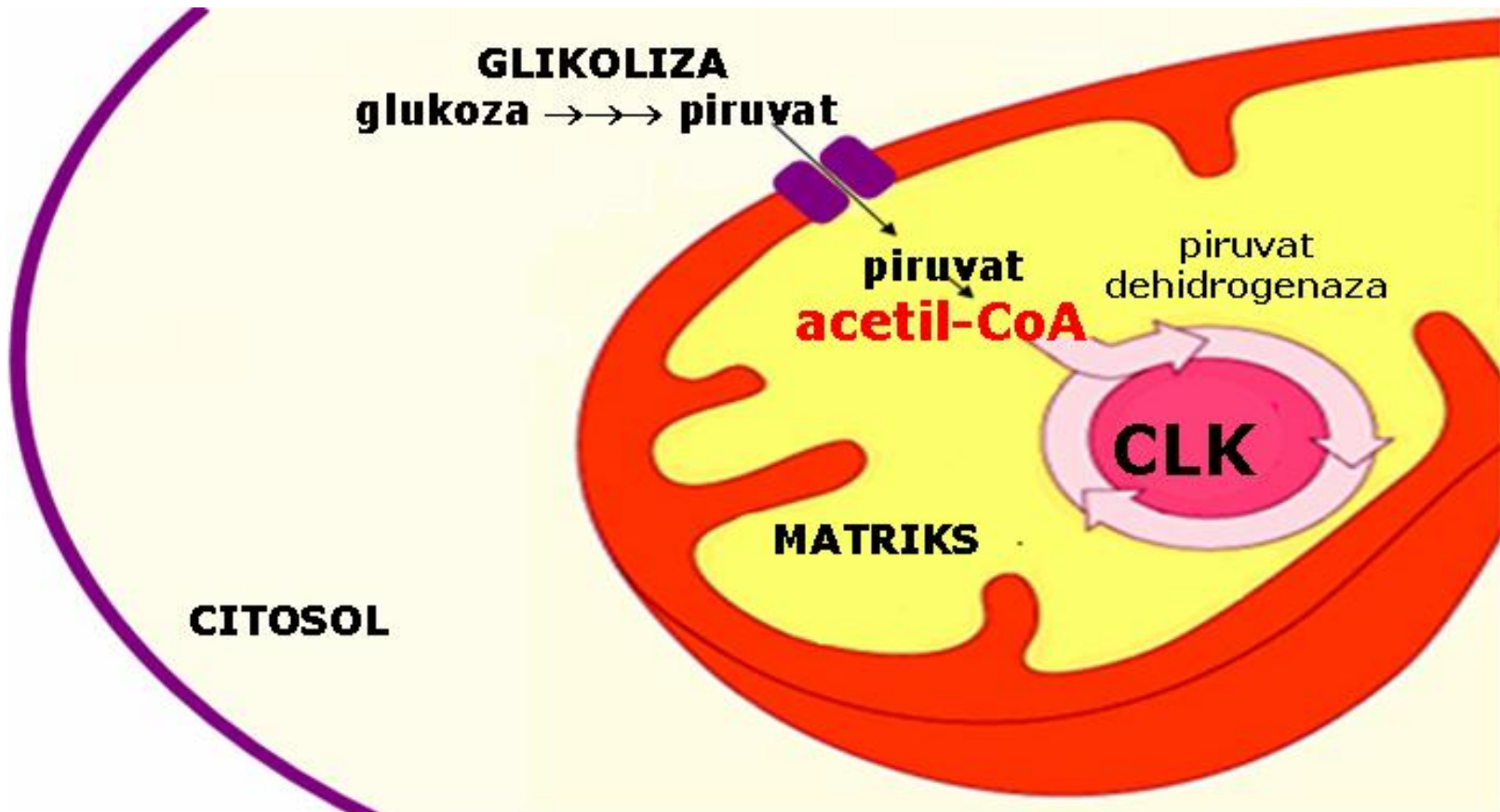
Piruvat ulazi u Krebsov ciklus kao acetil koenzim A



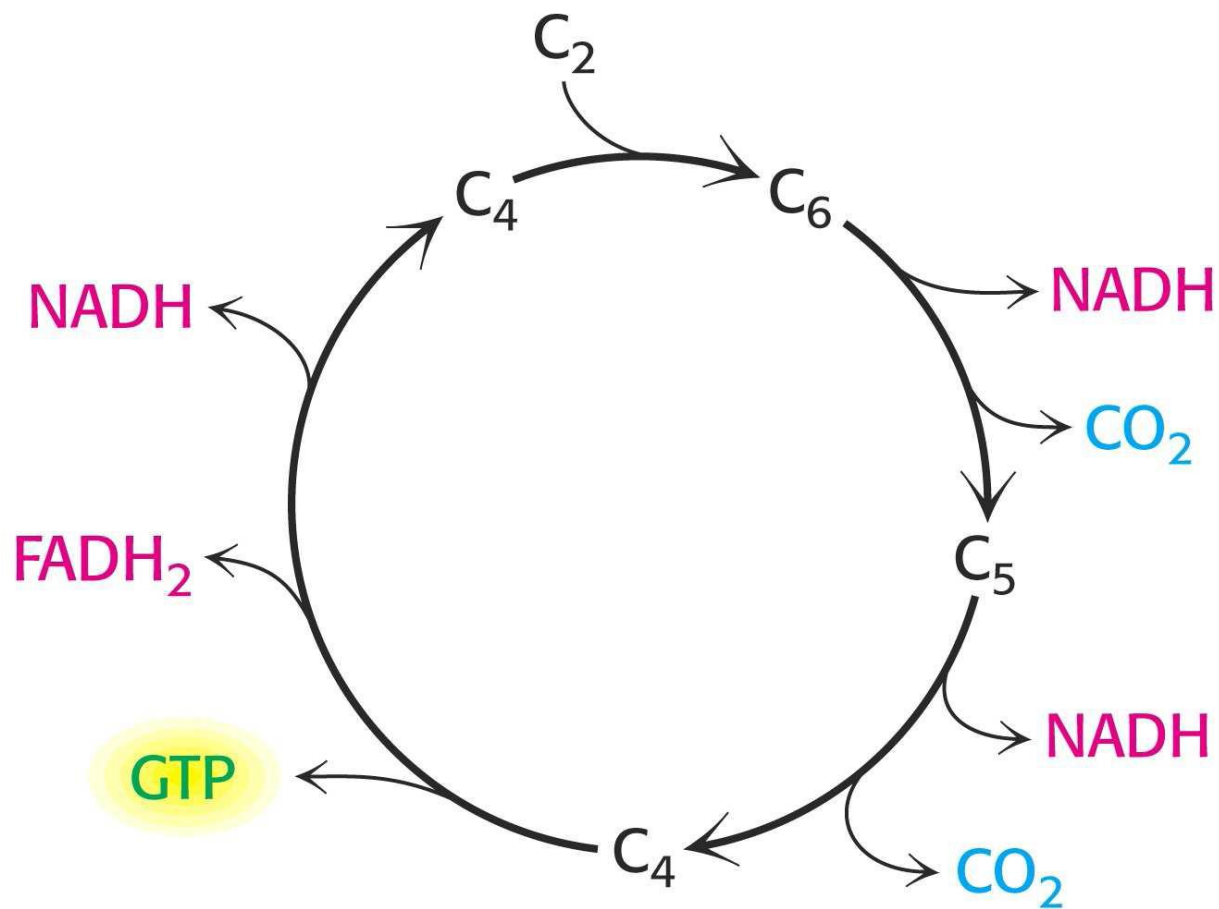
Reaktivna tiolna grupa



Acetil-CoA je veza između glikolize i Krebsovog ciklusa

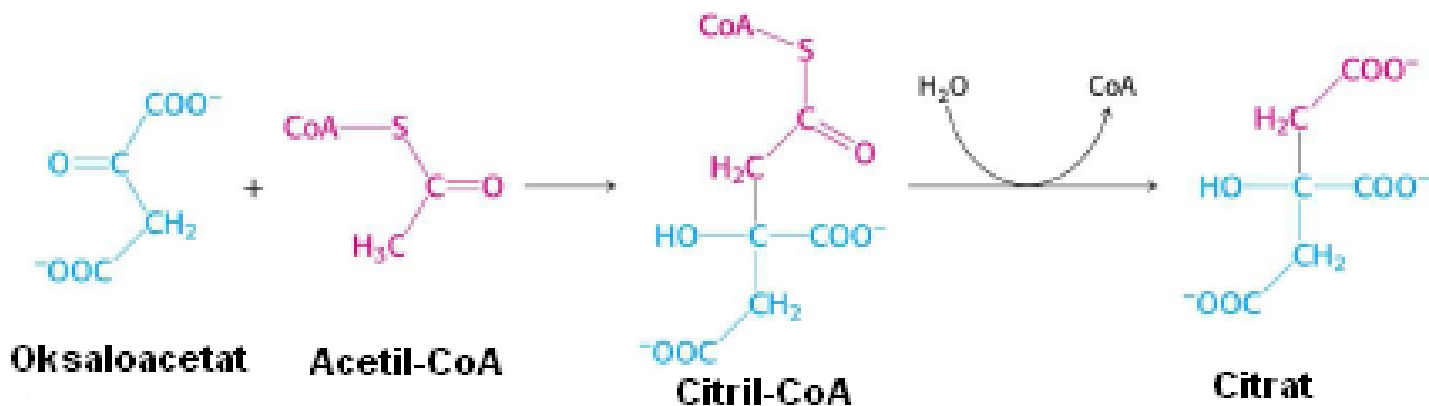


C-2 jedinica se u **Krebsovom ciklusu** oksidiše pri čemu nastaju 2 CO₂, 1 GTP i 8 elektrona bogatih energijom u obliku 3 NADH i 1 FADH₂

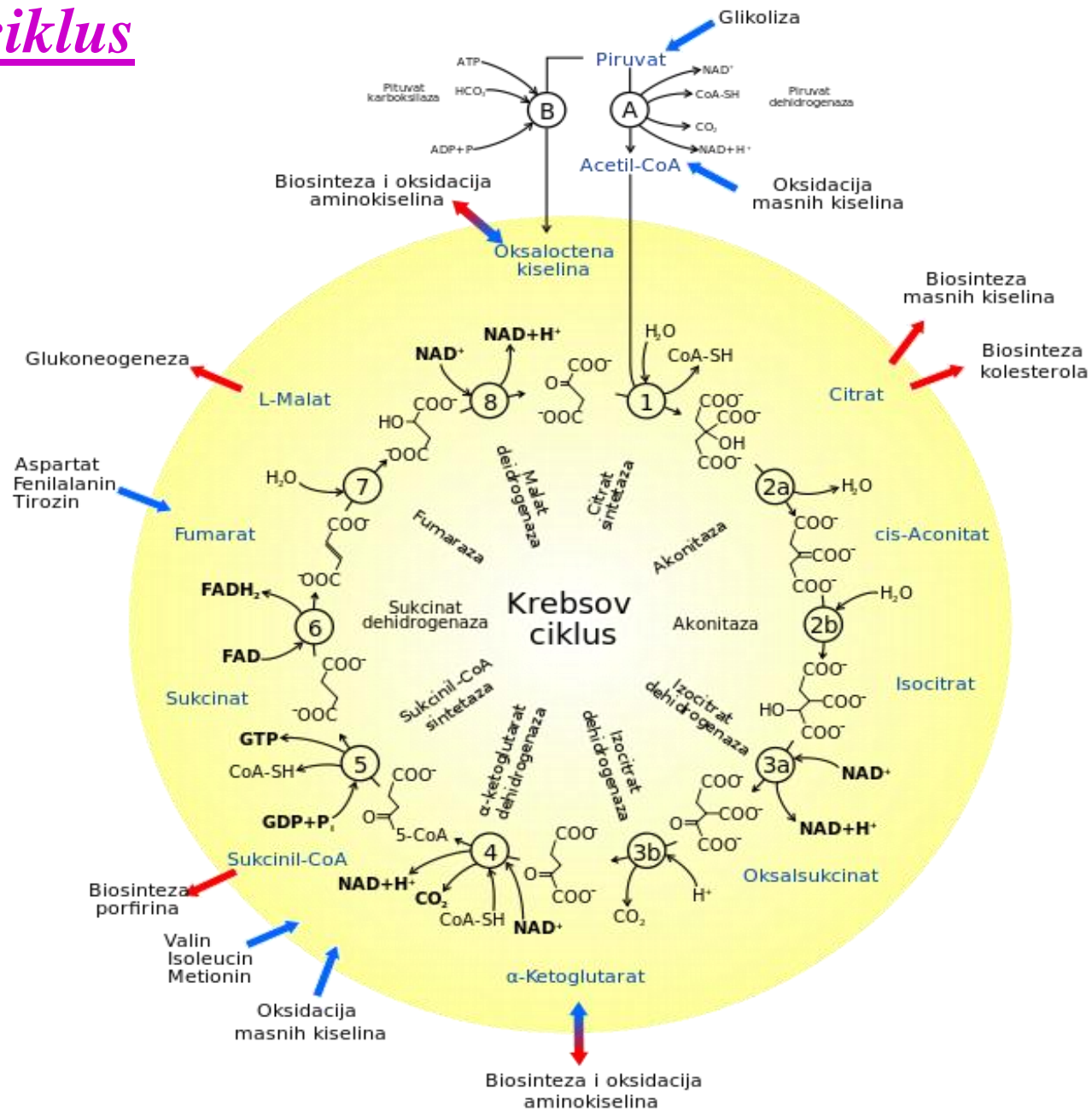


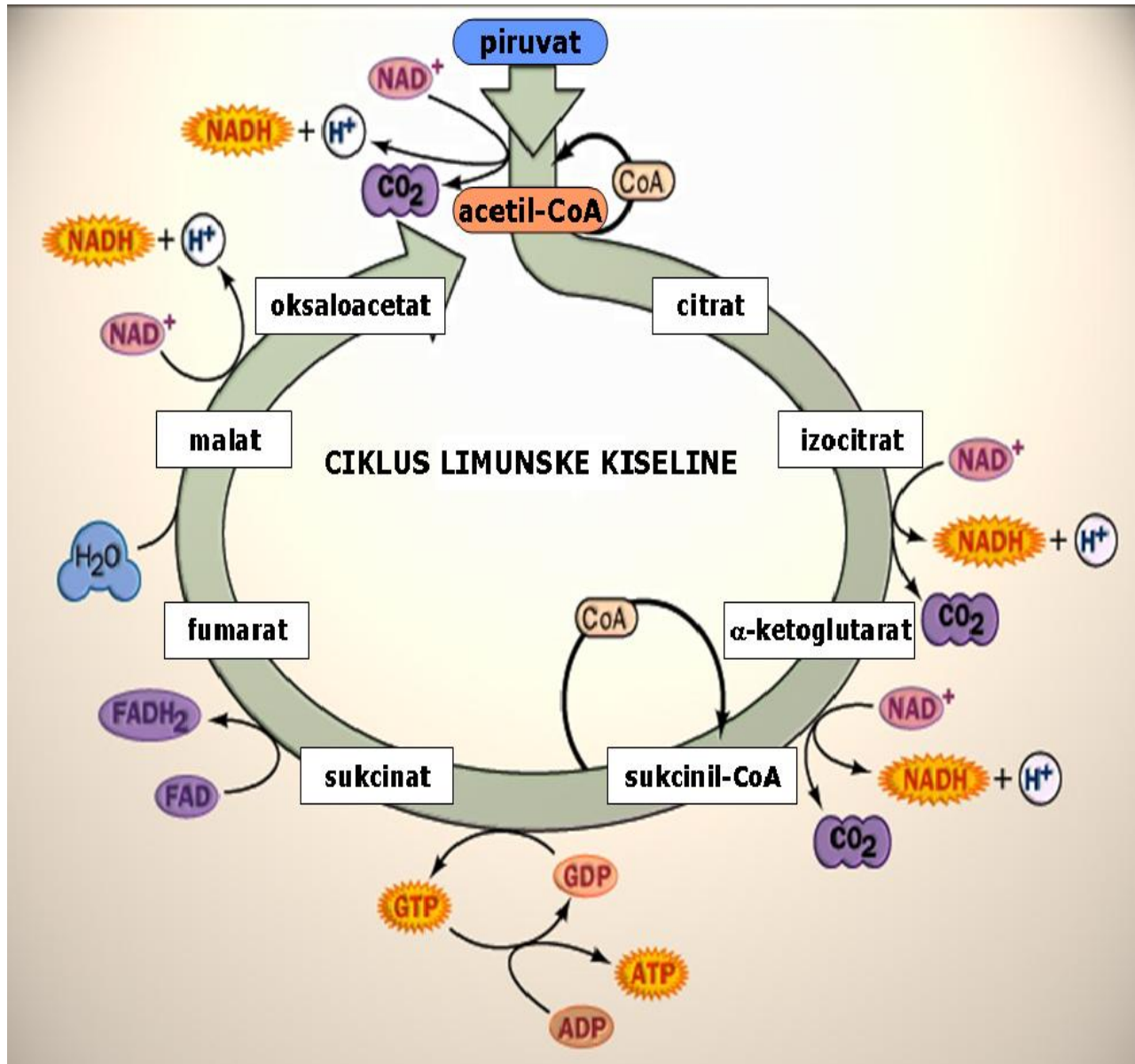
Prva reakcija u Krebsovom ciklusu je nastajanje limunske kiseline (citrata) pa je i naziv ciklus limunske kiseline!

Citrat - sintaza katalizuje ovu reakciju

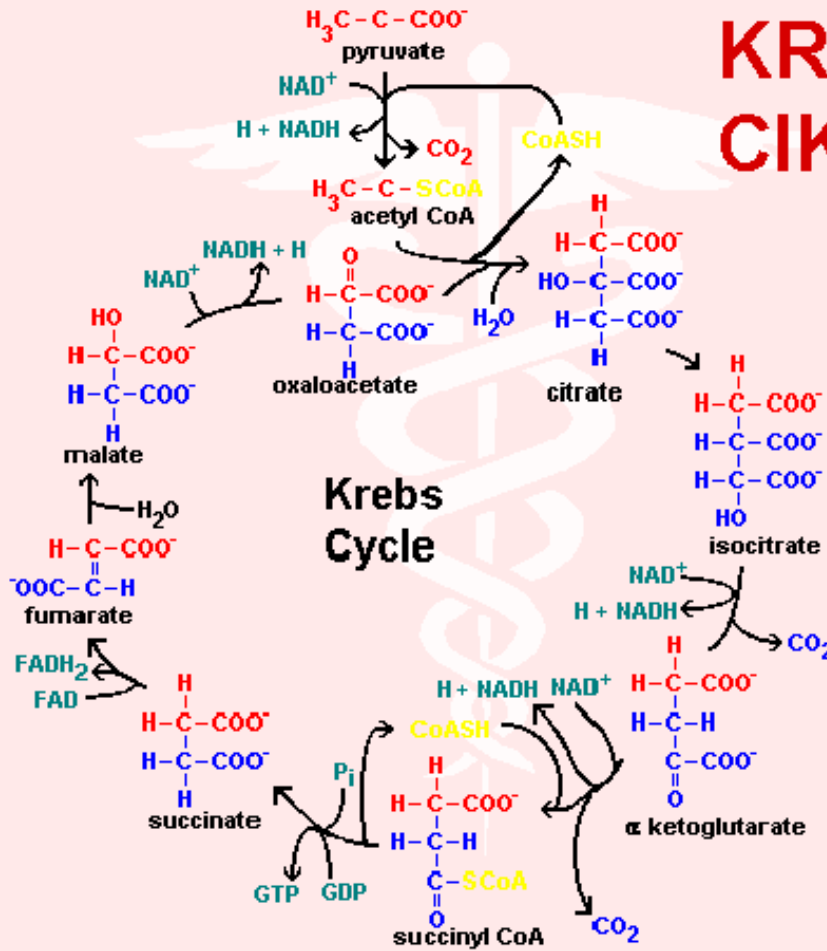


Krebsov ciklus





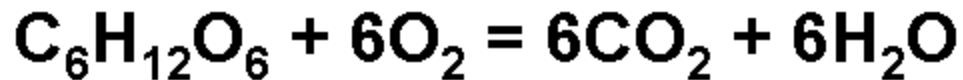
KREBSOV CIKLUS



- Ciklus limunske kiseline
- Ciklus trikarbonskih kiseline

Krebs Cycle

Oksidacija glukoze

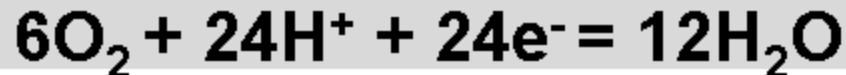


$$\Delta G^\circ = - 2823 \text{ kJ mol}^{-1}$$

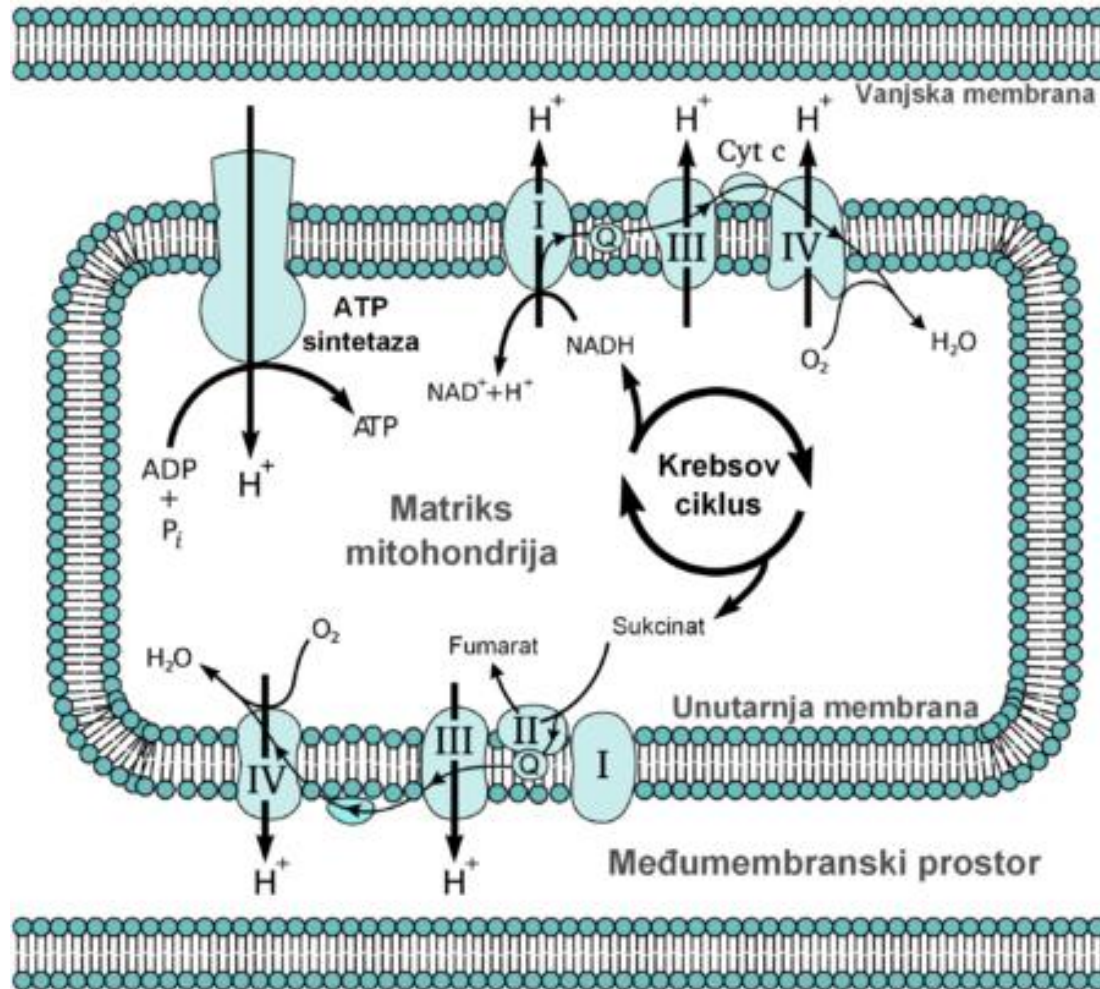
Reakcija oksidacije glukoze može se rastaviti:



Reakcija oksidacije: odvija se u CLK

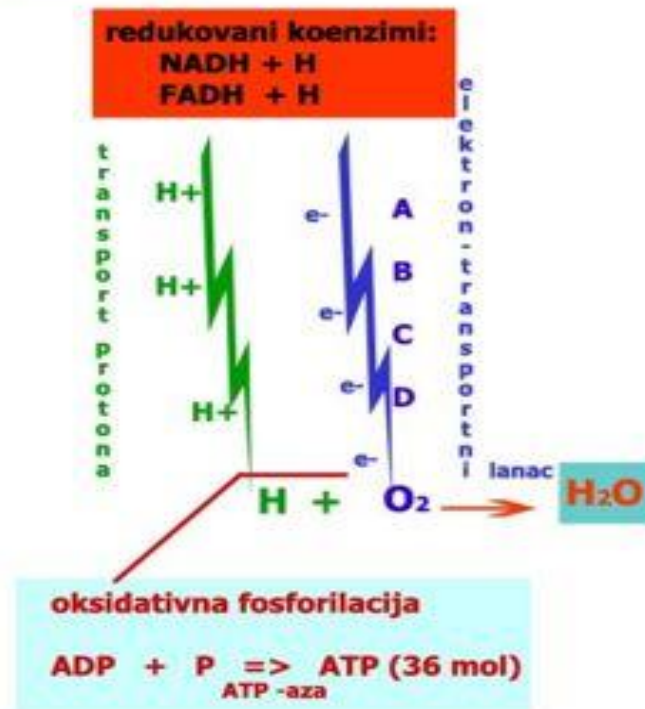


Reakcija redukcije: odvija se u lancu respiracije



Oksidativna fosforilacija

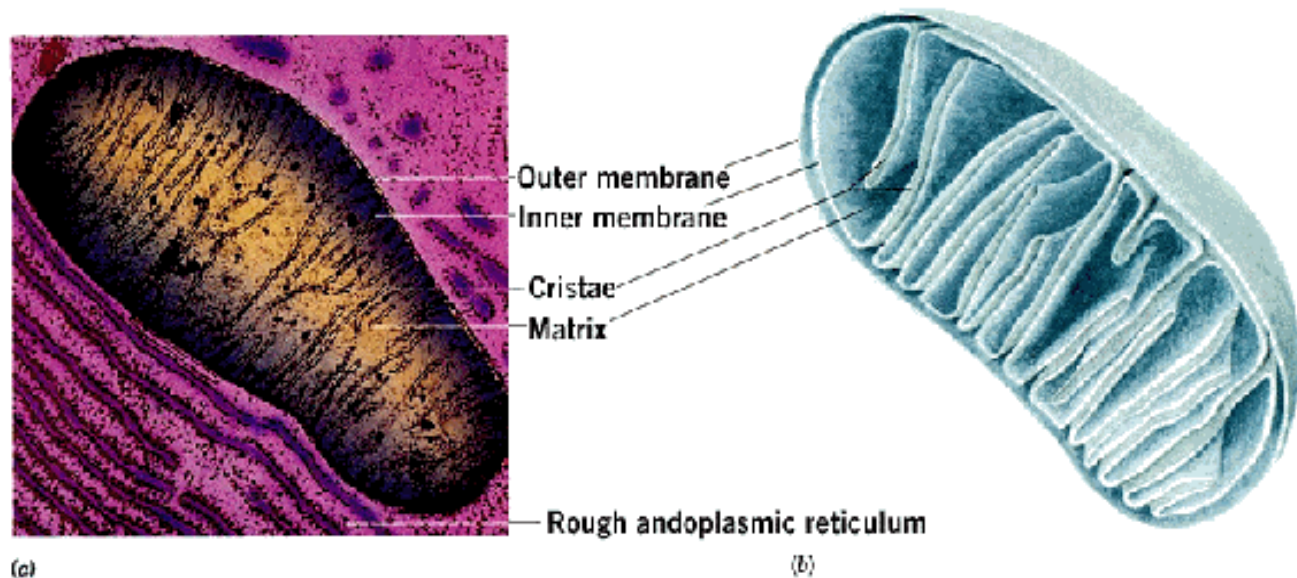
kriste mitohondrija



primarni davaoci elektrona: NADH₂, FADH₂

krajnji primalac elektrona O₂

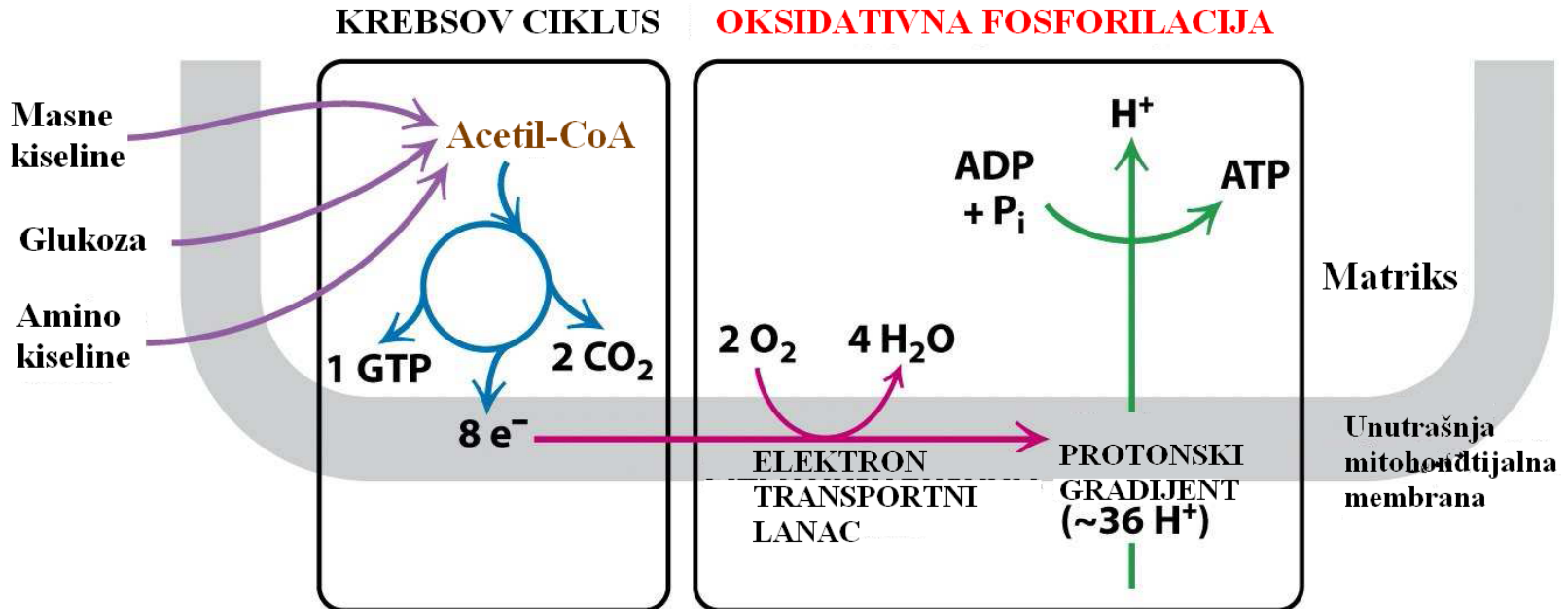
Oksidativna fosforilacija odvija se na unutarnjim membranama mitohondrija



Nastavak dobijanja energije iz glukoze se dešava u mitohondrijama

OKSIDATIVNA FOSFORILACIJA

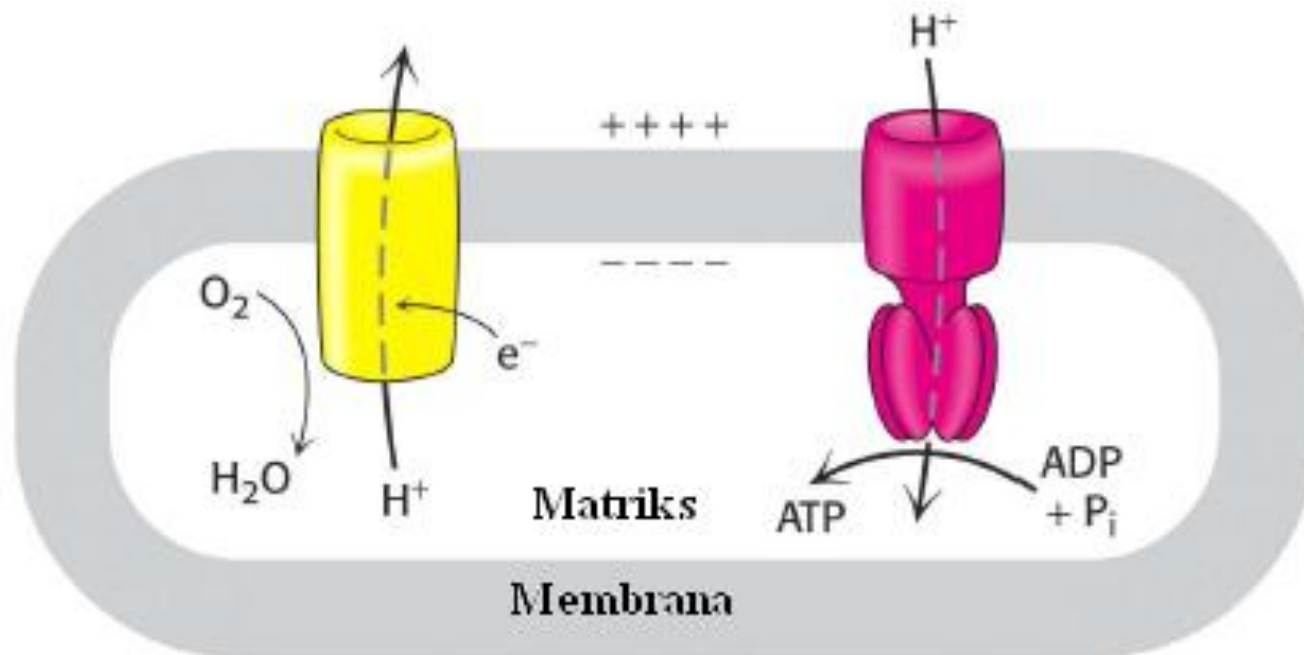
Elektroni iz Krebsovog ciklusa redukuju kiseonik postepeno oslobađajući energiju koja se koristi za stvaranje protonskog gradijenta na osnovu kojeg se vrši sinteza ATP. Redukcija kiseonika i sinteza ATP čine **oksidativnu fosforilaciju**.



Elektroni sa **NADH i FADH₂** se prenose na molekularni kiseonik

Potencijal prenosa elektrona sa NADH i FADH₂ se prevodi u potencijal prenosa fosfata na **ATP**

NADH je jako redukcionno sredstvo ($-E_0$) a **kiseonik** je jako oksidacionno sredstvo ($+E_0$)



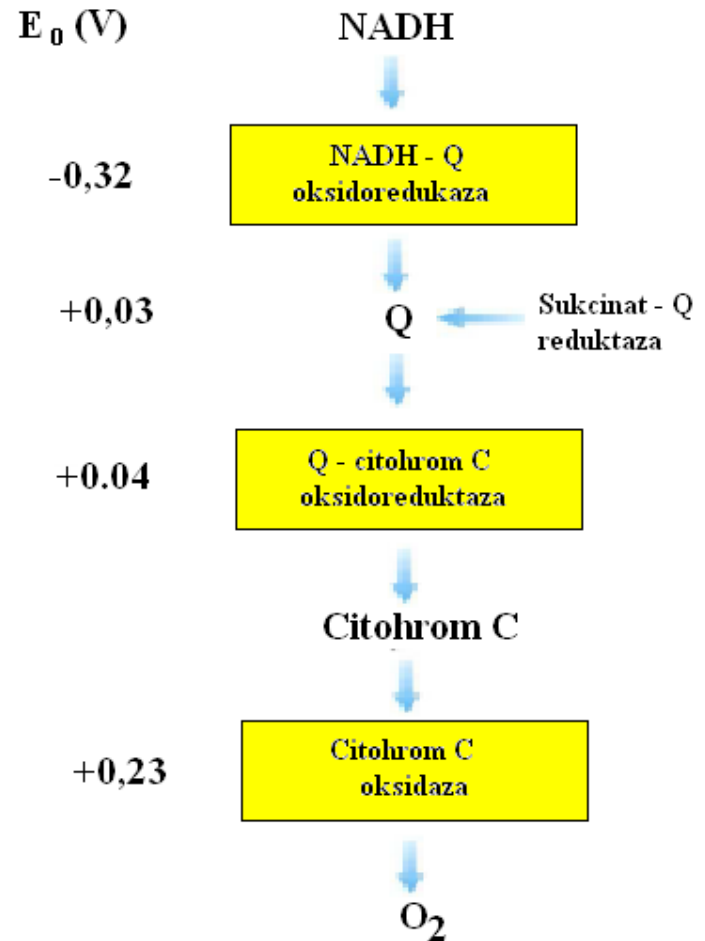
Respiratorni lanac se sastoji od 4 kompleksa
3 protonske pumpe i sukcinat- Q reduktaze

Označavaju se kao **I, II, III i IV**

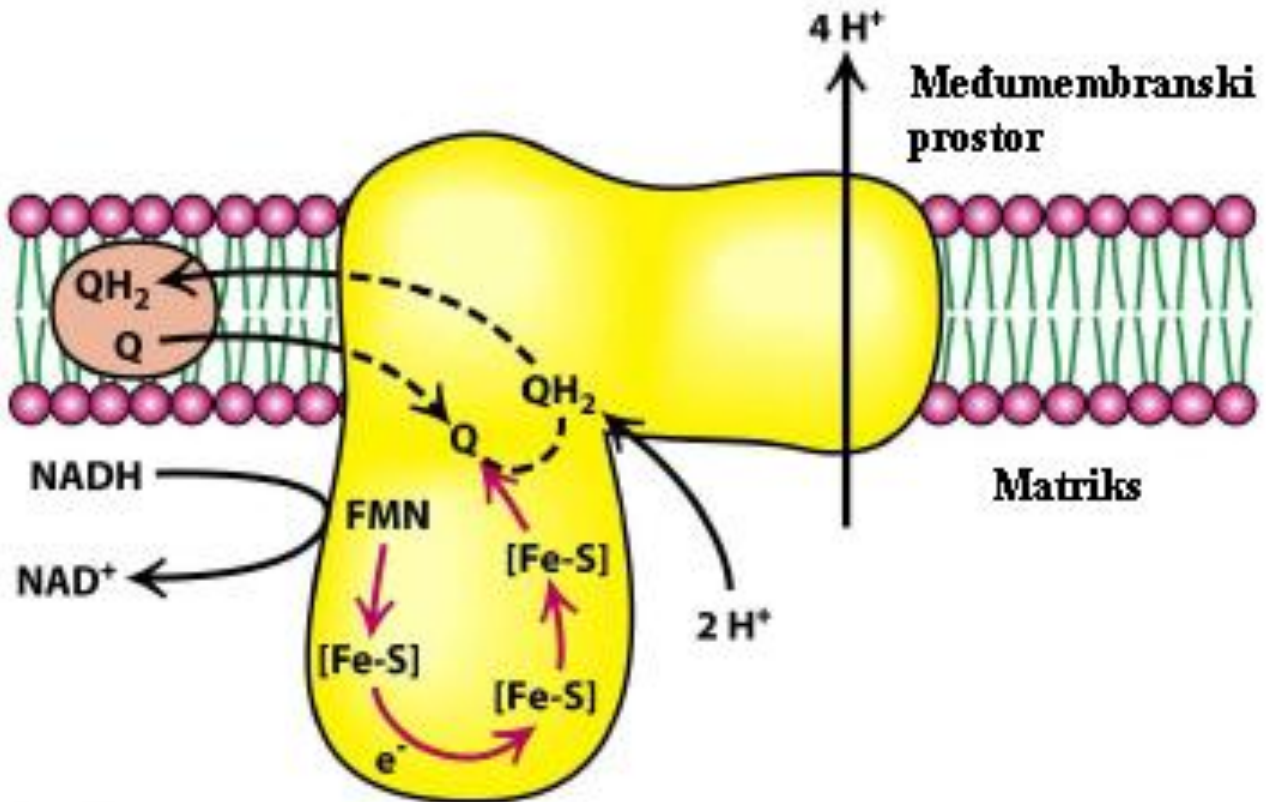
Jedino kompleks II nema funkciju protonske pumpe

Koenzim Q i citohrom C su mobilni prenosioци elektrona

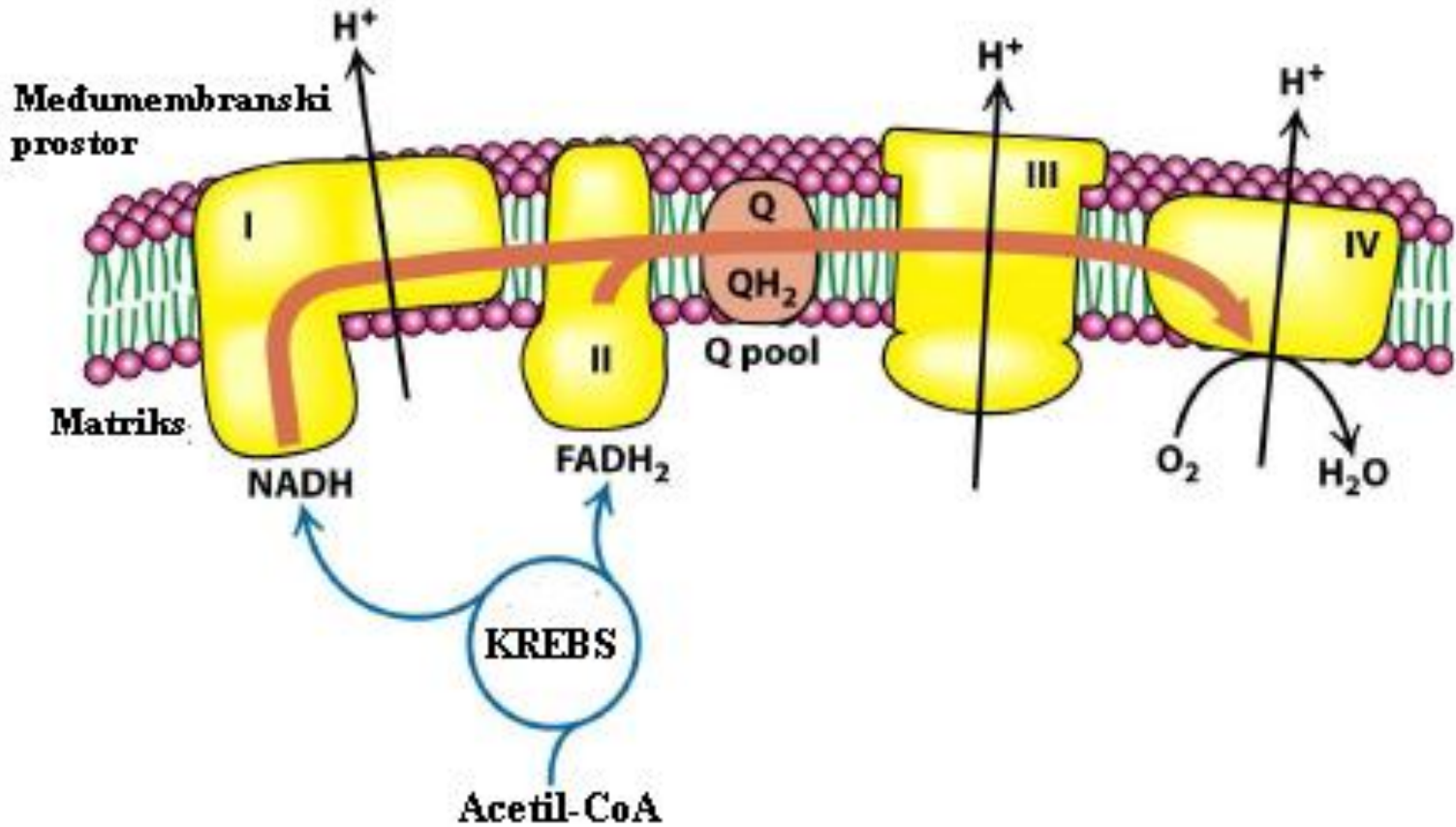
Respiratorni lanac



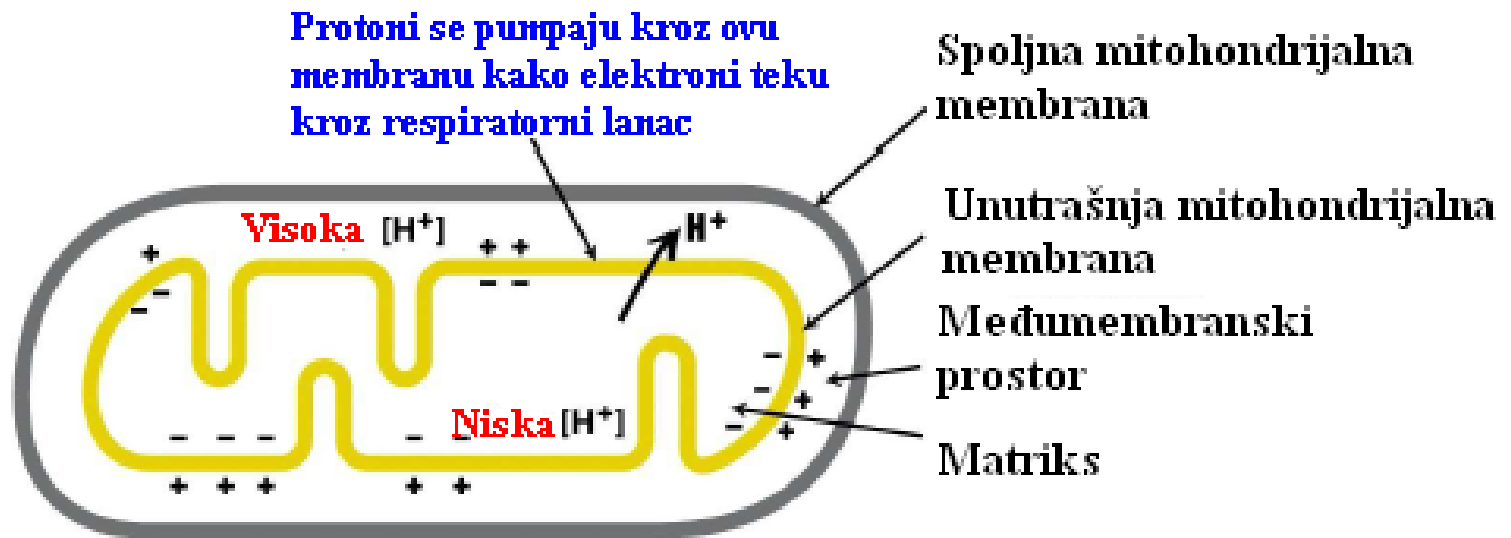
Na kompleksu I elektroni visokog potencijala se prenose sa NADH na koenzim Q uz transport 4 protona u međumembranski prostor



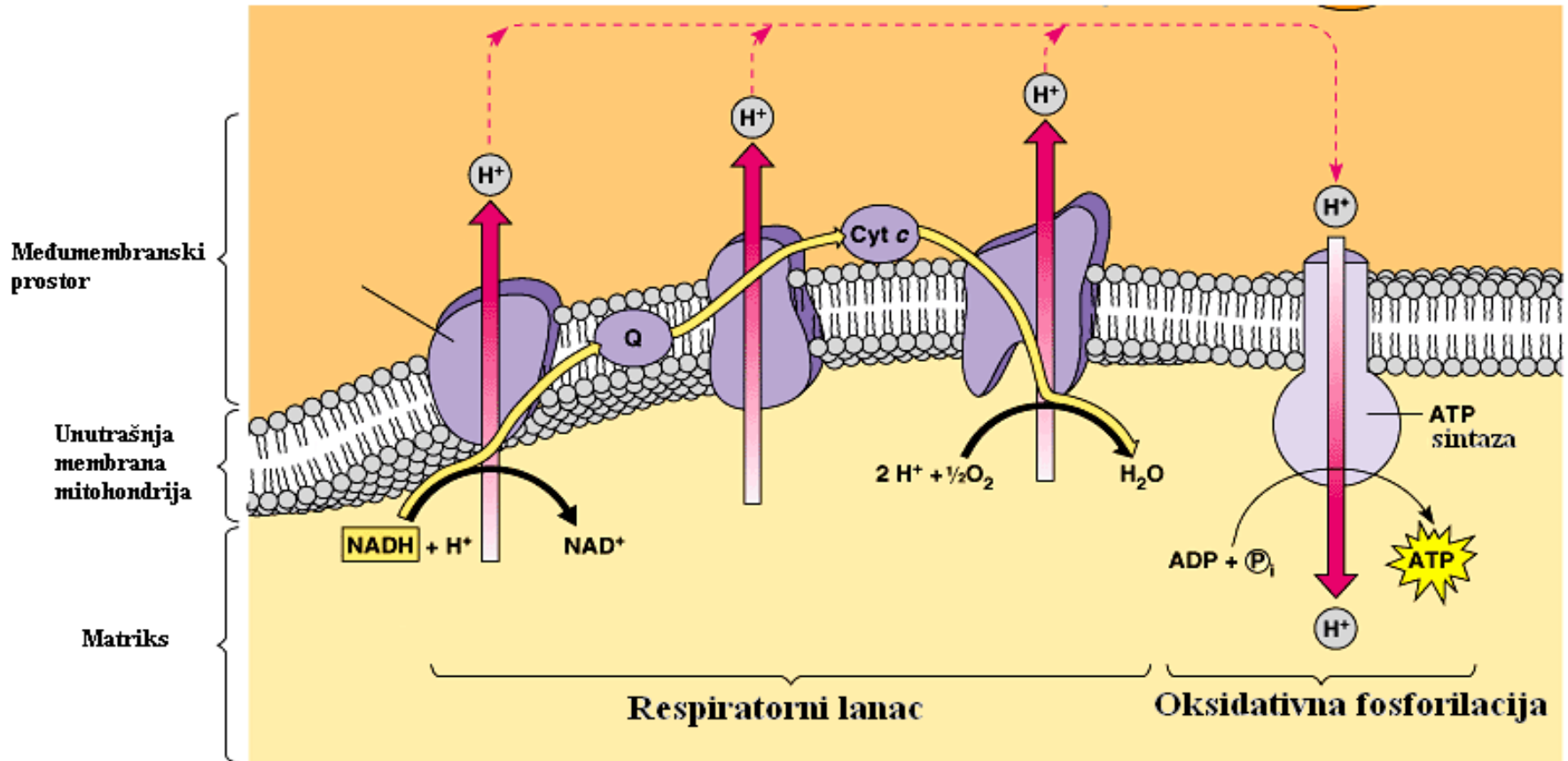
Respiratorni lanac – kompleksi II, III i IV



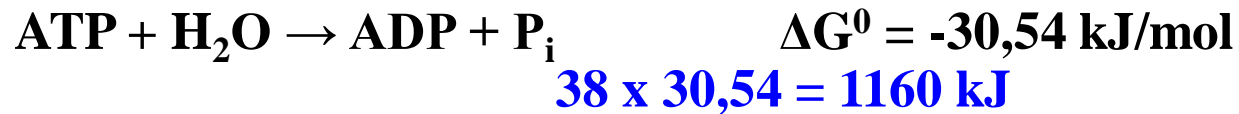
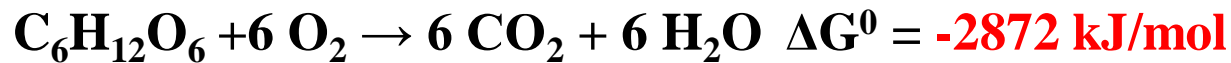
Gradijent protona daje energiju za sintezu ATP



Protoni se vraćaju u matriks uz sintezu ATP



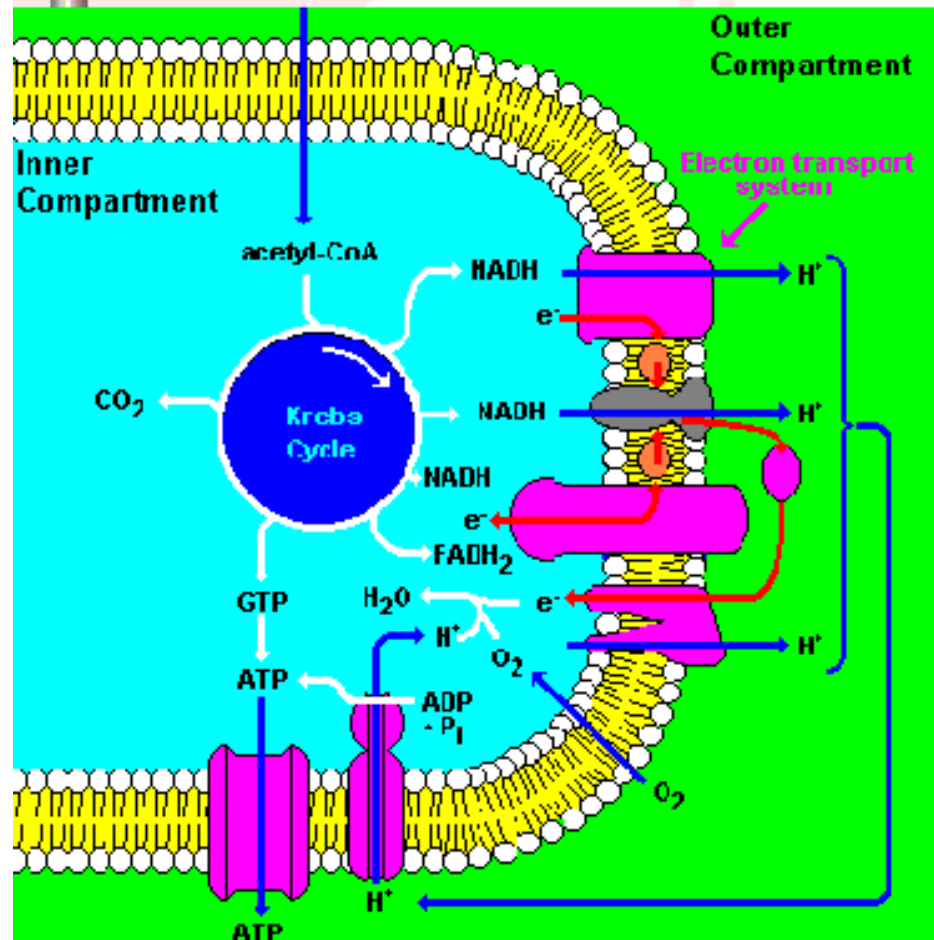
Bilans oksidacije glukoze



Efikasnost oksidacije iznosi 44% pri standardnim uslovima.

Pri fiziološkim uslovima ona iznosi od 44 – 64%.

OKSIDATIVNA FOSFORILACIJA



- Prijenos elektrona
- Protonski gradijent
- Oksidacija vodikovih iona
- Konačni produkti CO₂ i H₂O uz nastanak ATP