

C3181

Biochemie I

12-Fotosyntéza

FRVŠ 1647/2012

Obsah

- Fotosyntéza, světelná fáze. Chlorofyly, struktura fotosyntetického centra. Komponenty přenosu elektronů (cytochromy, chinony, plastocyanin, ferredoxin), FS-2, FS-1, mechanismus syntézy ATP. Rovnice světelné fáze a její bilance.
- Temná fáze fotosyntézy (Calvinův cyklus), RUBISCO, mechanismus fixace CO₂.
- Typy fotosyntézujících organismů, další způsoby zachytu světla, chemotrofní asimilace C₁.
- Ekologický a technologický význam fotosyntézy, perspektivy.

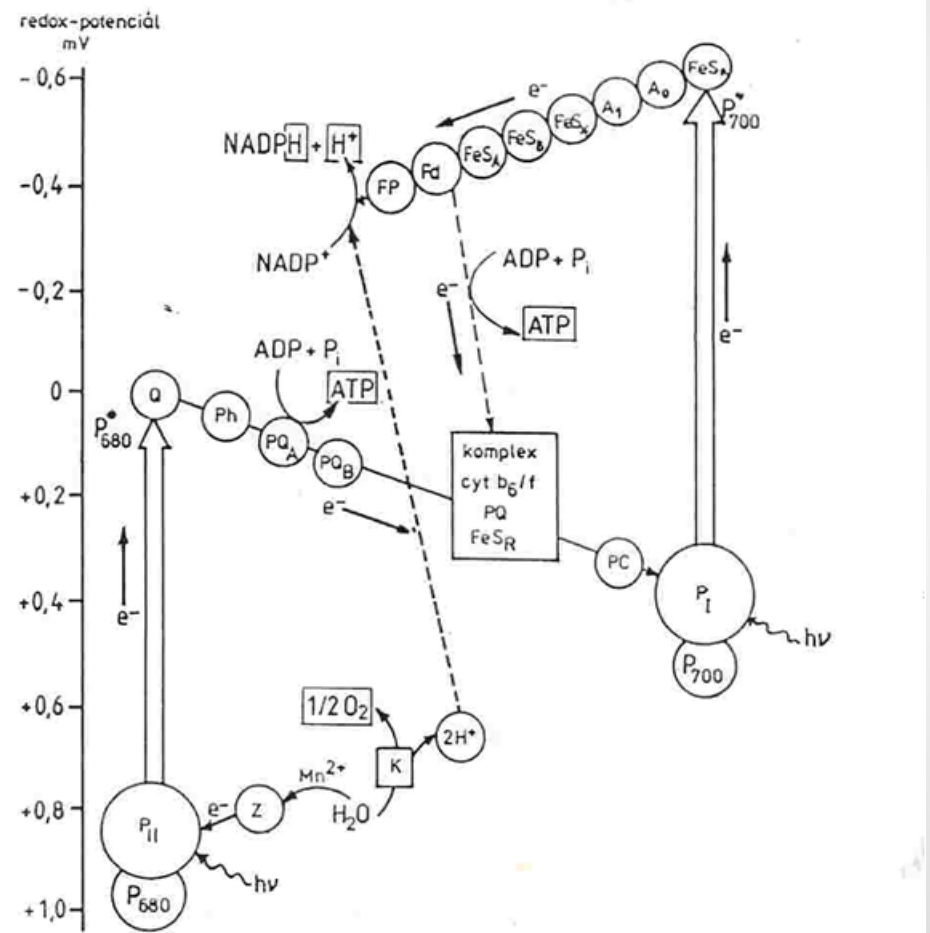
Obecně

- Sumárně $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$
- Endergonický pochod – nelze provést jednoduše
 - Opačný směr – jednoduchý – energie jako teplo
 - Využití energie uvolněné oxidací – složité pochody
- 2 fáze fotosyntézy
 - Světelná – tvorba ATP a NADPH (redukční ekvivalenty) – vyžaduje světelnou (alternativně jinou) energii
 - Temná – fixace a redukce CO_2 – využití ATP a NADPH – alternativní pochody

Světelná fáze

- Světelná fáze

- Tvorba NADPH a ATP
- Fotosyntetický elektronový transport – acyklický a cyklický
- Endergonický směr přenosu elektronů
- Donorem je voda – vysoká hodnota E^0 štěpicího enzymu
- Světelná energie přeměněna na změnu E^0 chlorofylu o ca 2x1 V



Světelná fáze

Komponenty fotosyntetického elektronového transportu

Komplexy fotosystémů I a II

- PSII a PSI s reakčními centry
- Primární e^- donory P680 a P700

(tvořeny Chl a), plastochinon

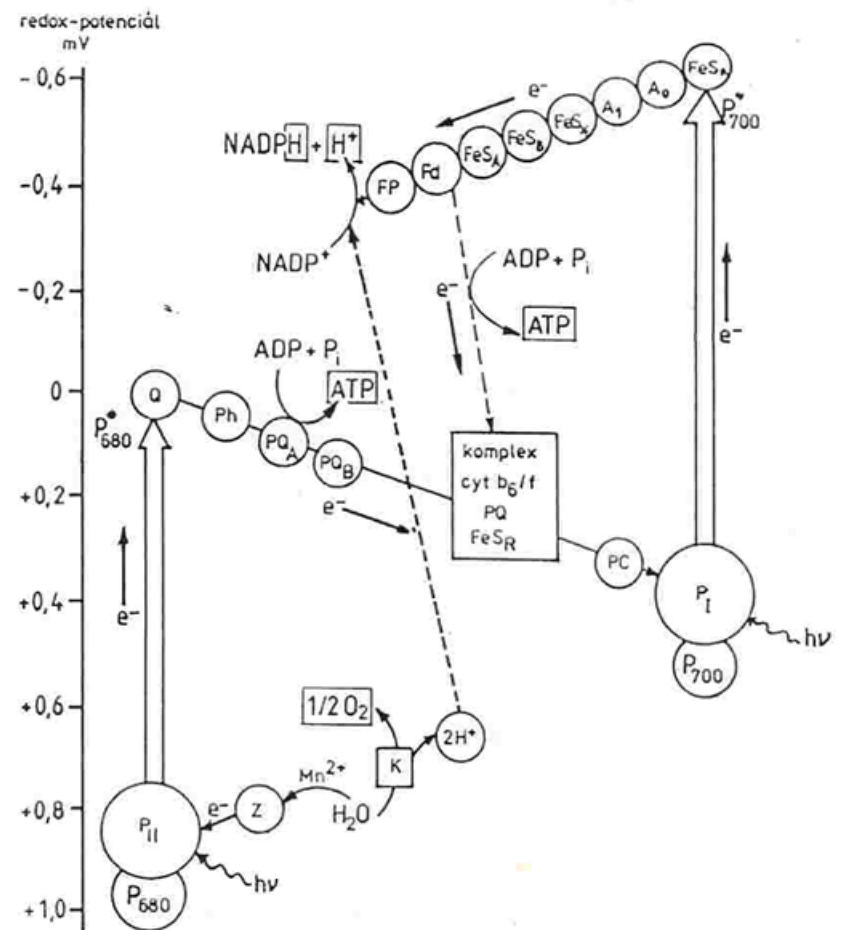
Komplex cyt b_6/f – translokace H^+

Spojovací přenašeče PQ a PC

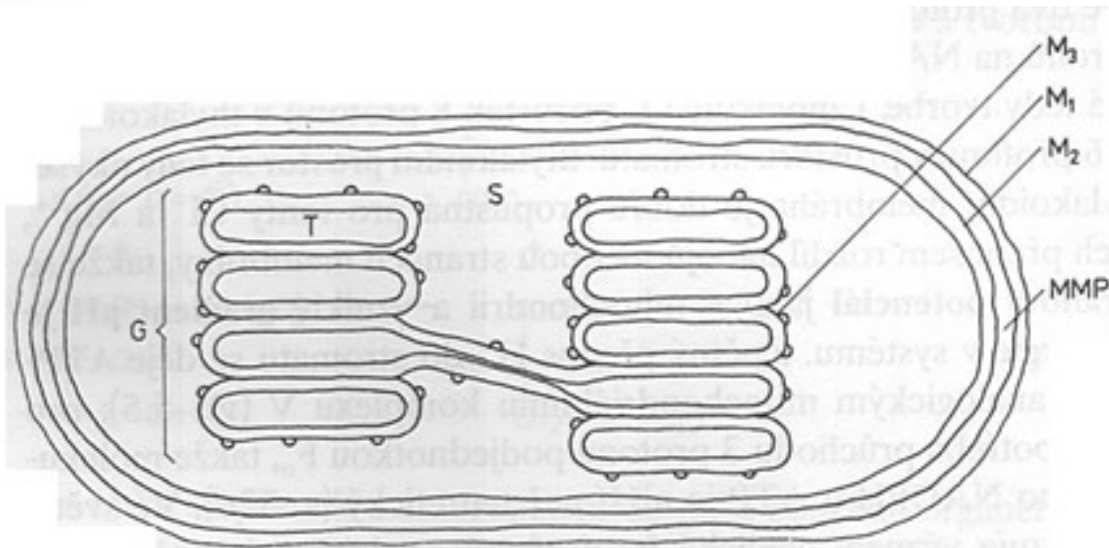
Centra redukce $NADP^+$

Feredoxin

$NADP^+$ reductasa (FMN)



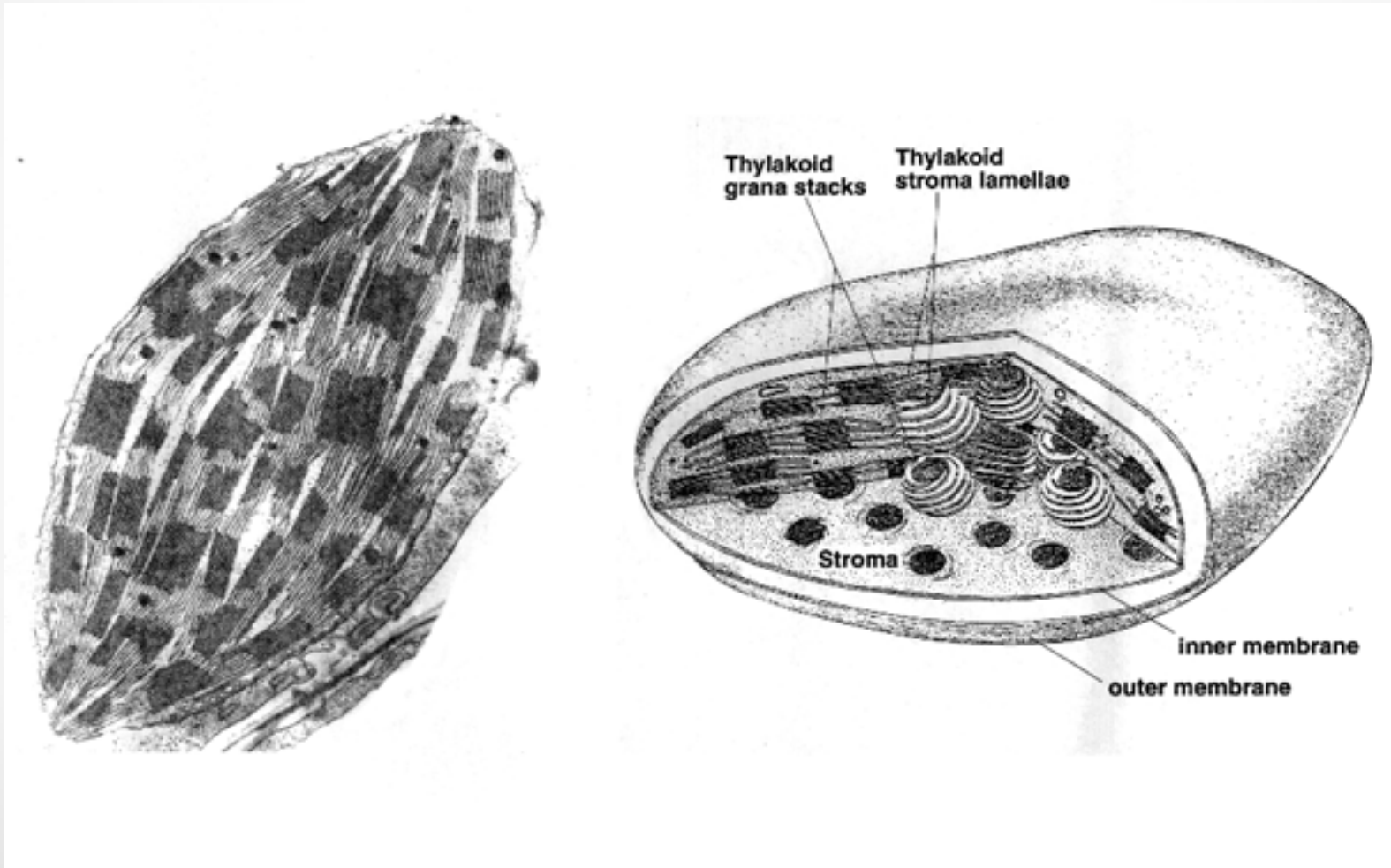
Lokalizace systému přenašečů



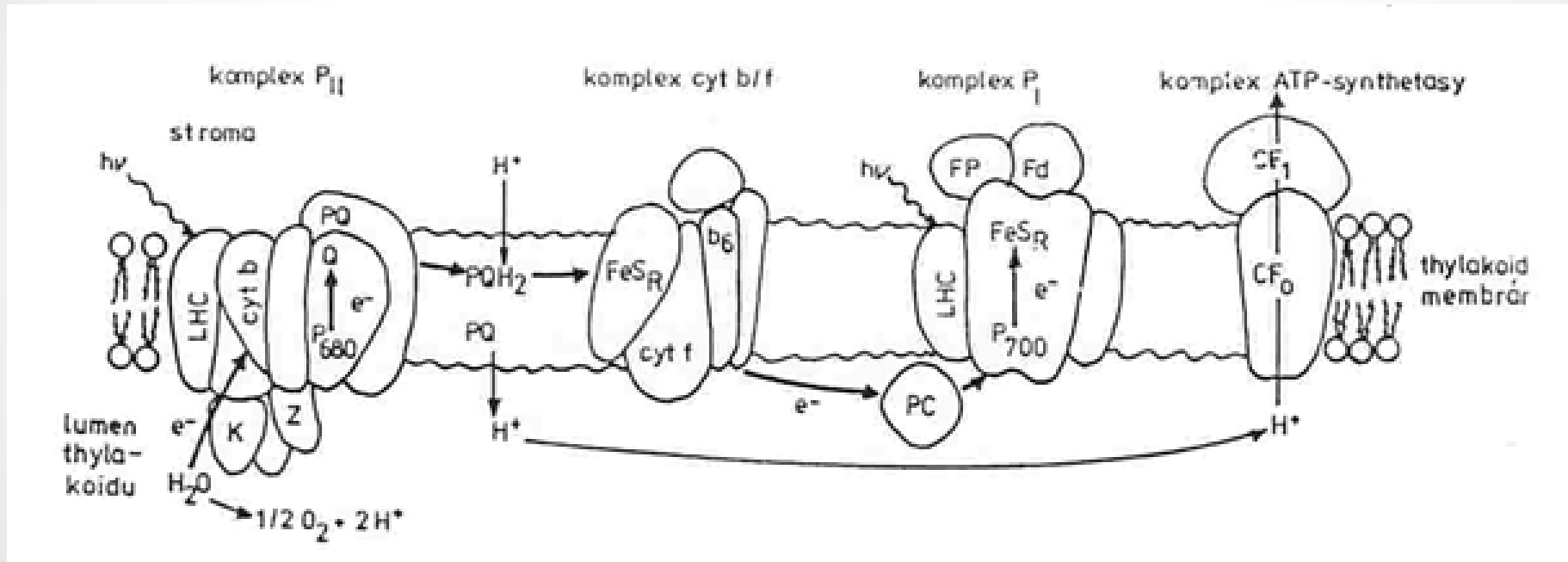
Schematický řez chloroplastem

(M₁ vnější membrána, M₂ vnitřní membrána, M₃ thylakoidní membrána, G grana, S stroma, T thylakoidní prostor, MMP mezimembránový prostor)

Lokalizace systému přenašečů



Struktura fotosyntetického řetězce transportu elektronů



- Translokace protonů
- Syntéza ATP
- Složení – komplexy PSII, cyt b₆f, PSI, navazuje CF₀CF₁ ATP syntetasa

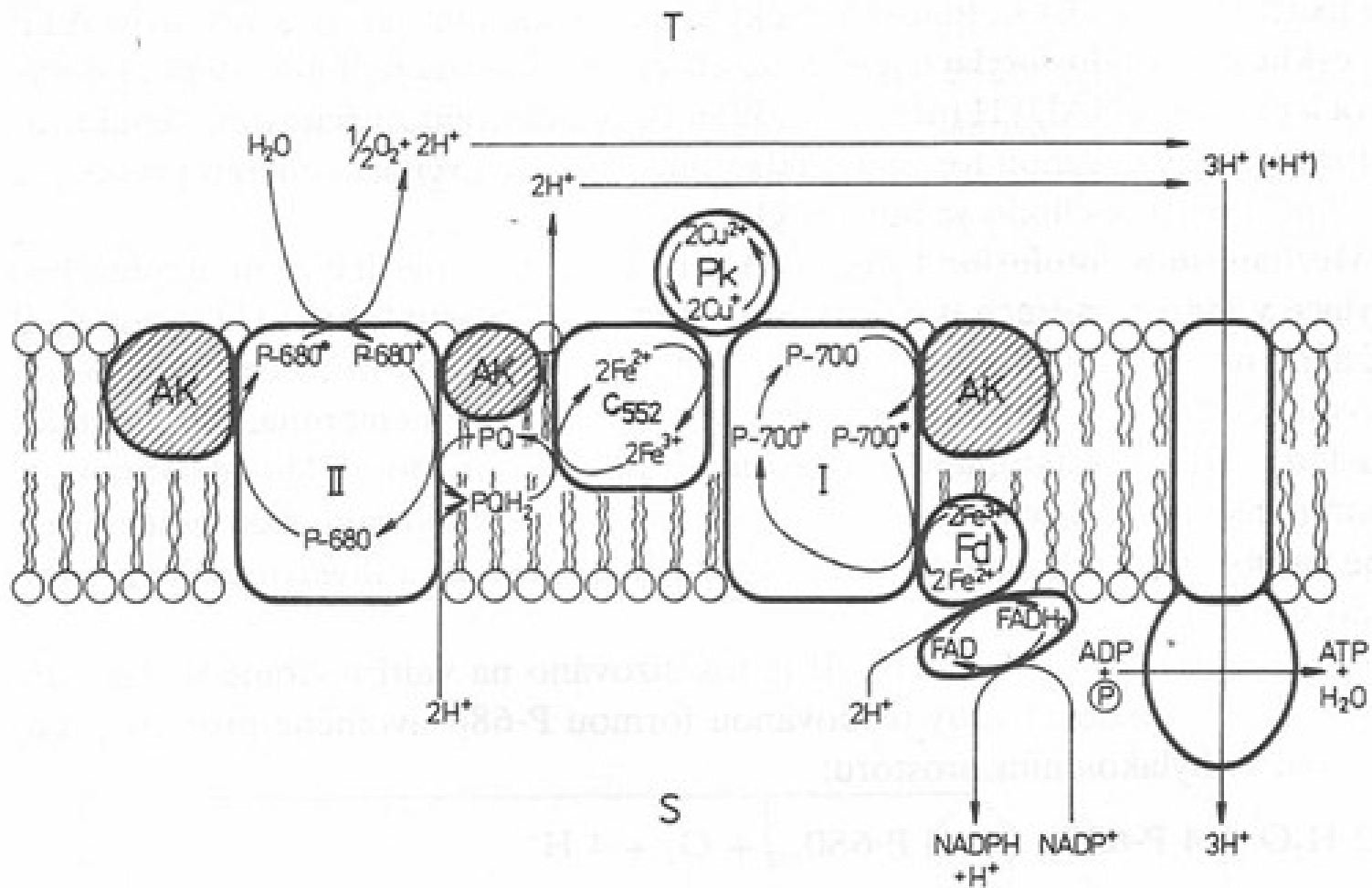

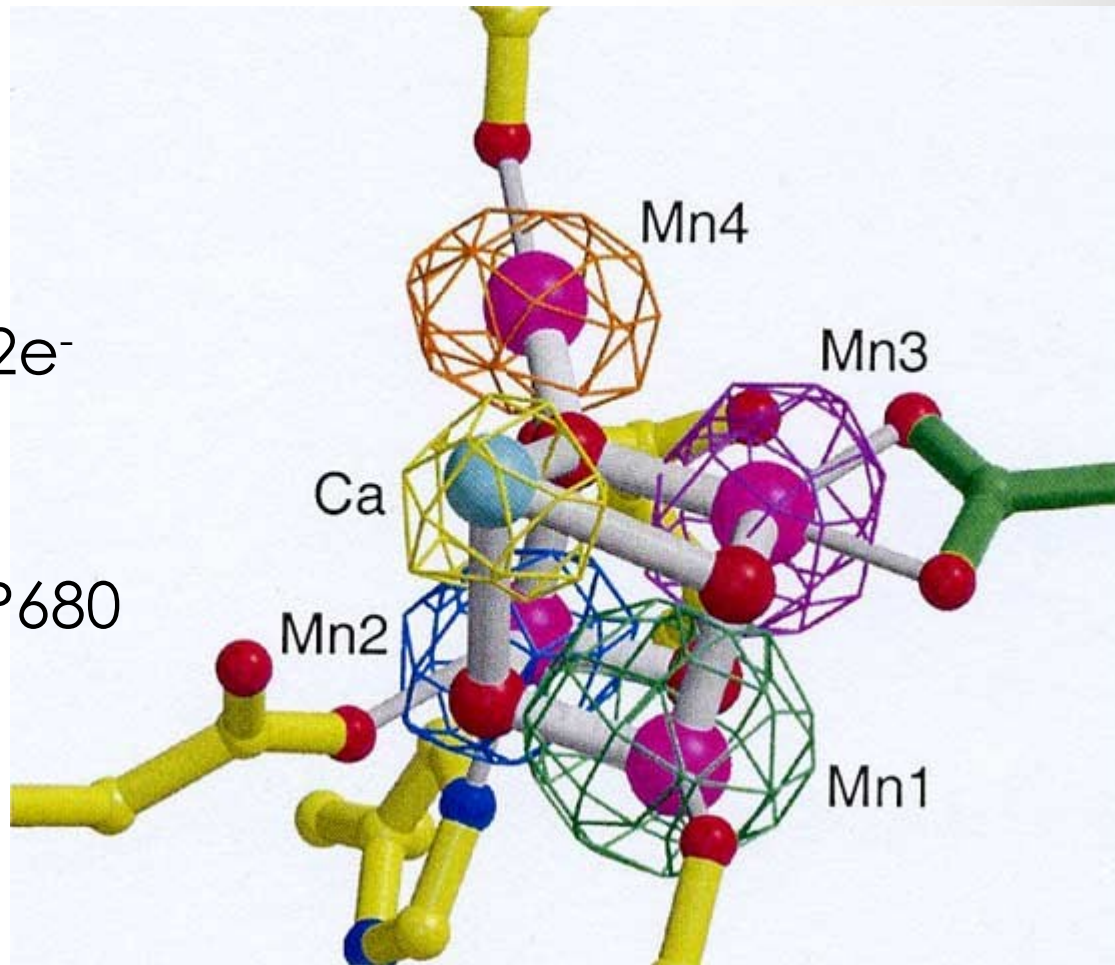


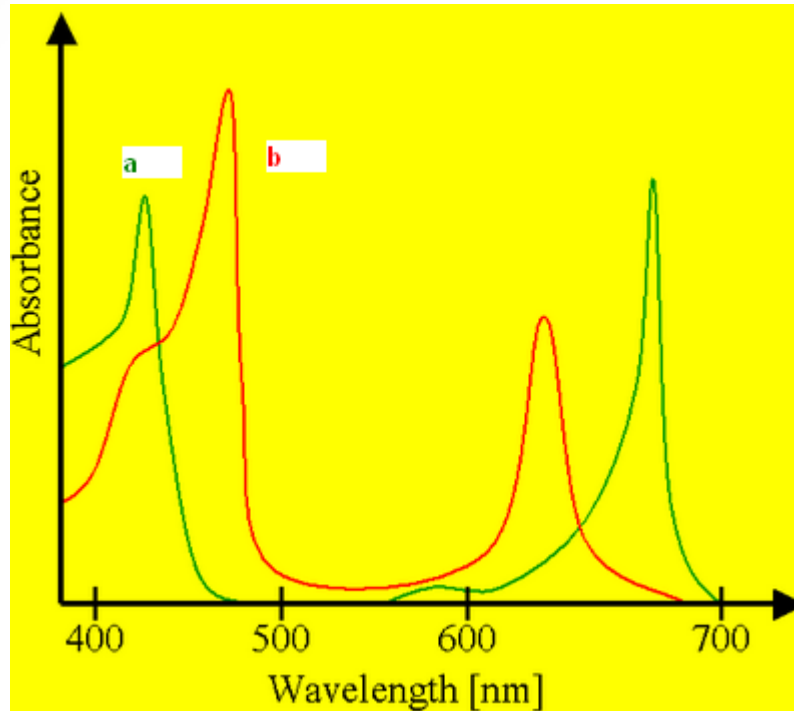
Schéma chemiosmotického mechanismu fotosforylace v thylakoidní membráně
 (T thylakoidní prostor, S stroma, AK anténové komplexy, I, II odpovídající fotosystémy, Fd ferredoxin, Pk plastocyanin, PQ plastochinon)

Štěpení vody

- Není to fotolýza
 - Enzym bez světla
- $\text{H}_2\text{O} = \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
- $E^{0'}$ ca +1 V
- 2e^- do reakčního centra PSII – redukce P680
- Aktivní centrum enzymu 

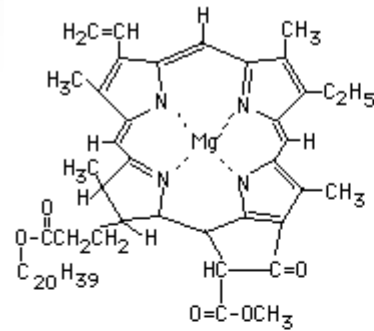


Sběr světla

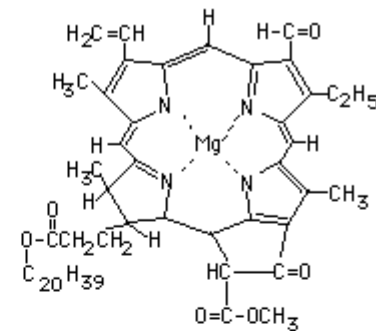


- Absorpční spektra chlorofylů
 - Nepokrývají celou oblast
 - Jediná molekula – malá plocha

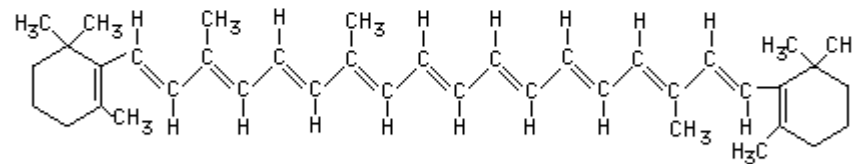
Sběr světla



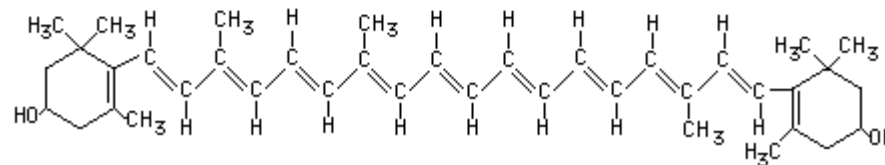
Chlorophyll a



Chlorophyll b



β-Carotene

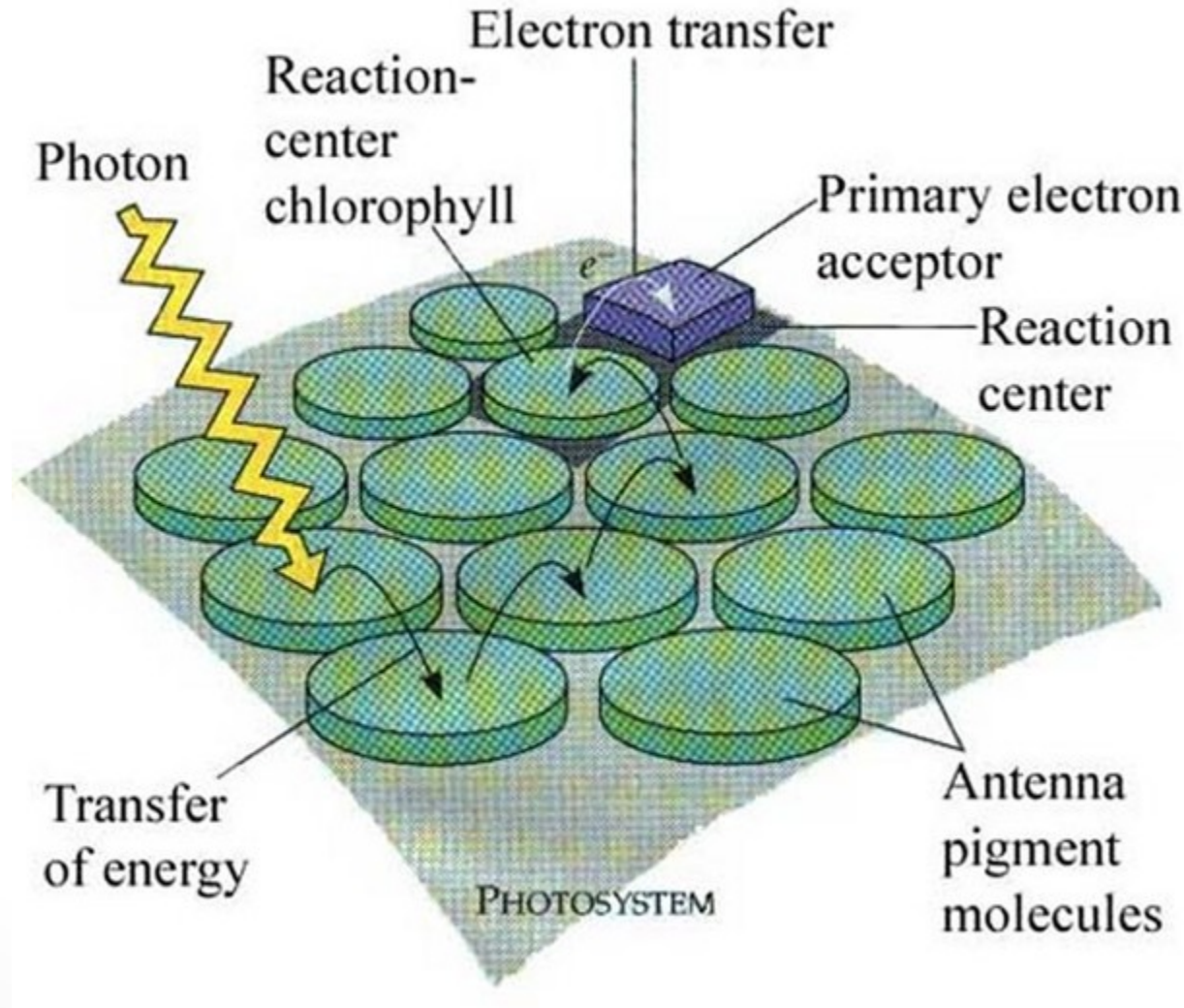


Lutein

- Pigmenty absorbující světlo
 - Pokrývají další oblasti spektra
 - Velké množství – efektivní záchyt

Sběr světla

- Anténní systém
- Organizované pigmenty
- Jednosměrný přenos energie



Sběr světla

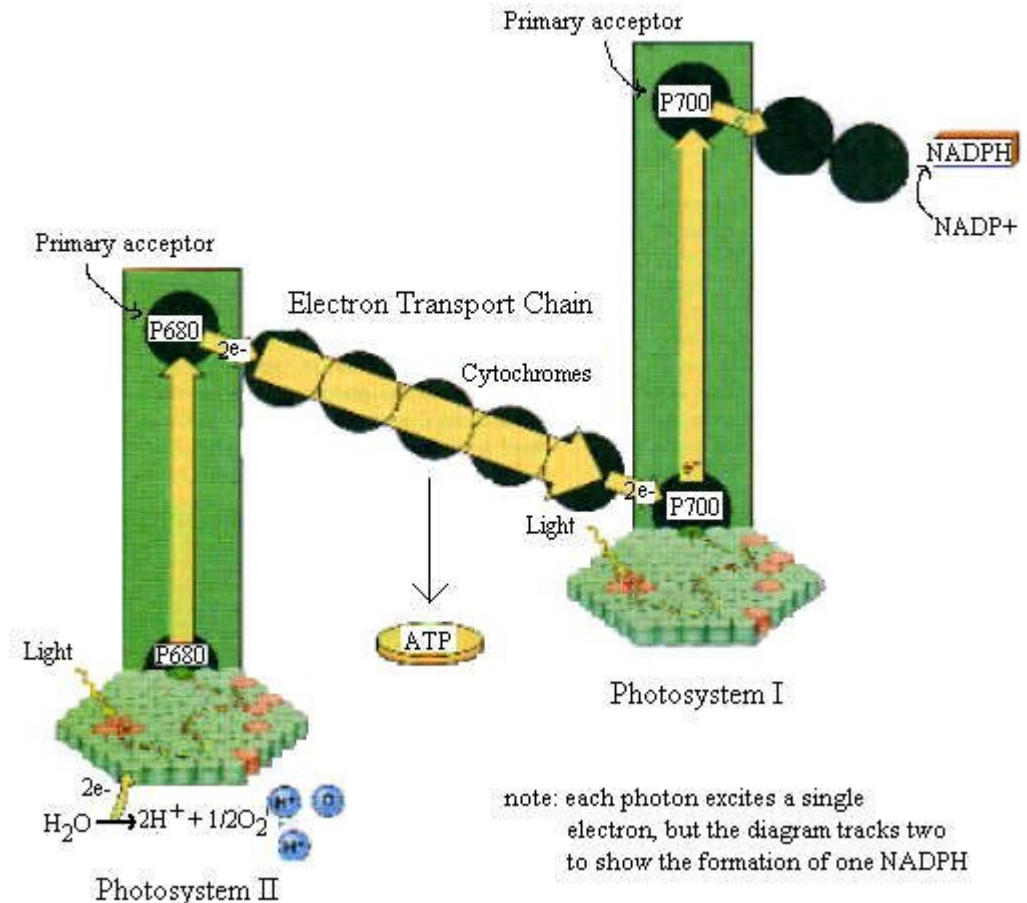
Složení fotosystémů I a II

Látka	Přibližný počet molekul
Fotosystém I	
anténové chlorofyly	200
karotenoidy	50
reakční centrum P-700	1
cytochrom c_{552}	1
plastocyanin	1
cytochrom b_{563}	2
ferredoxin	2
ferredoxin-NAD ⁺ -reduktasa	1
Fotosystém II	
anténové chlorofyly	200
karotenoidy	50
reakční centrum P-680	1
plastoquinon	4
manganaté ionty	6
cytochrom b_{559}	2

- Anténní systém – pomocné pigmenty
 - Efektivní záchyt světelné energie
 - Odlišné u různých typů organismů – bakterie, sinice

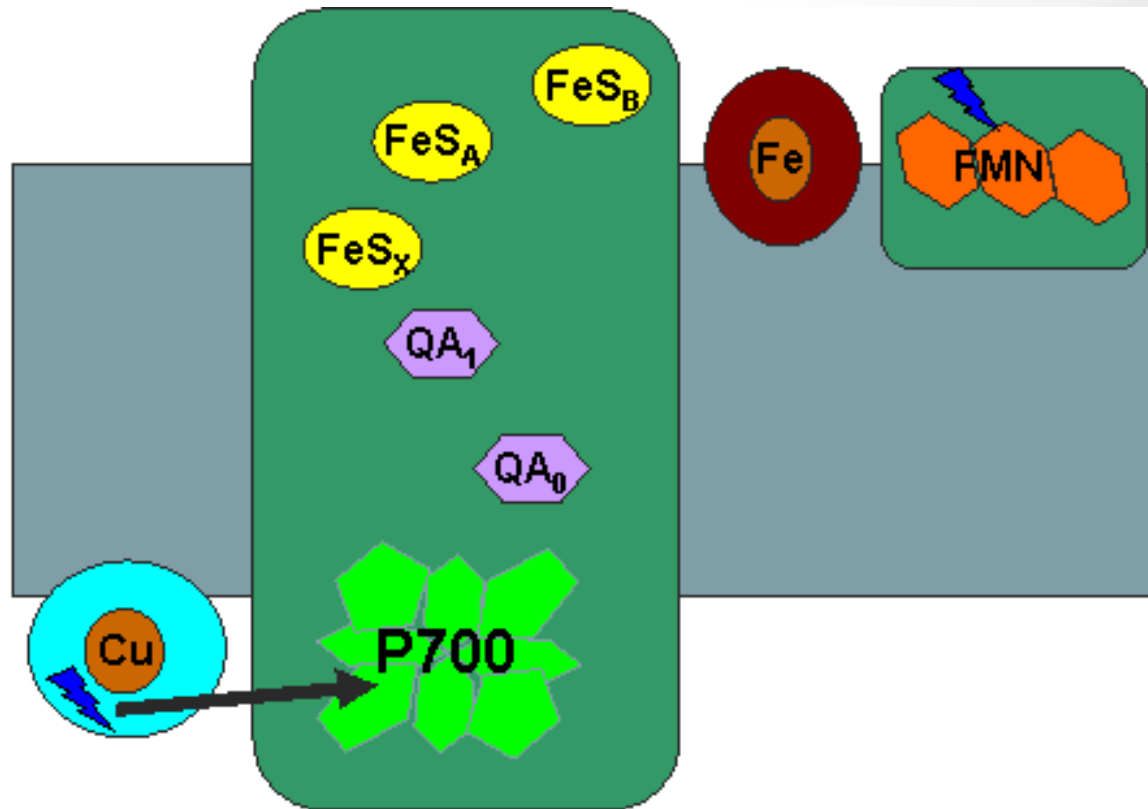
Využití světelné energie

- Kvantifikace
 - 1 foton – 1 e⁻
- Redukce NADP⁺
 - 2x2 fotony
- Syntéza ATP
 - 1 při necyklickém transportu e⁻ při redukci
 - Další cyklickým transportem e⁻
 - Potřeba více ATP než NADPH pro redukci CO₂
- b



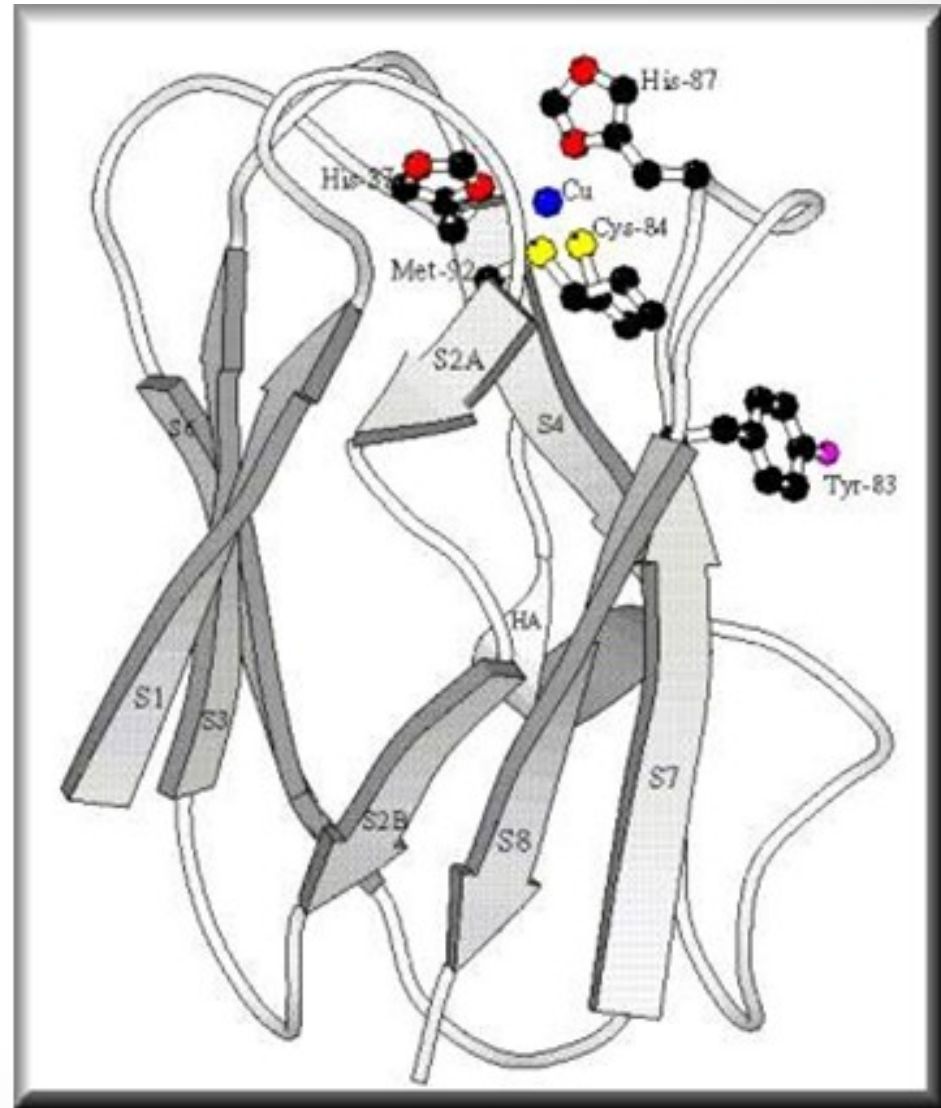
Redukce NADP⁺

- Finální krok
- Redukce PSI plastocyaninem
- Účast kofaktorů
 - Q a FeS centra
- Ferredoxin (Fe)
- NADP⁺ reduktasa
 - Kofaktor FMN

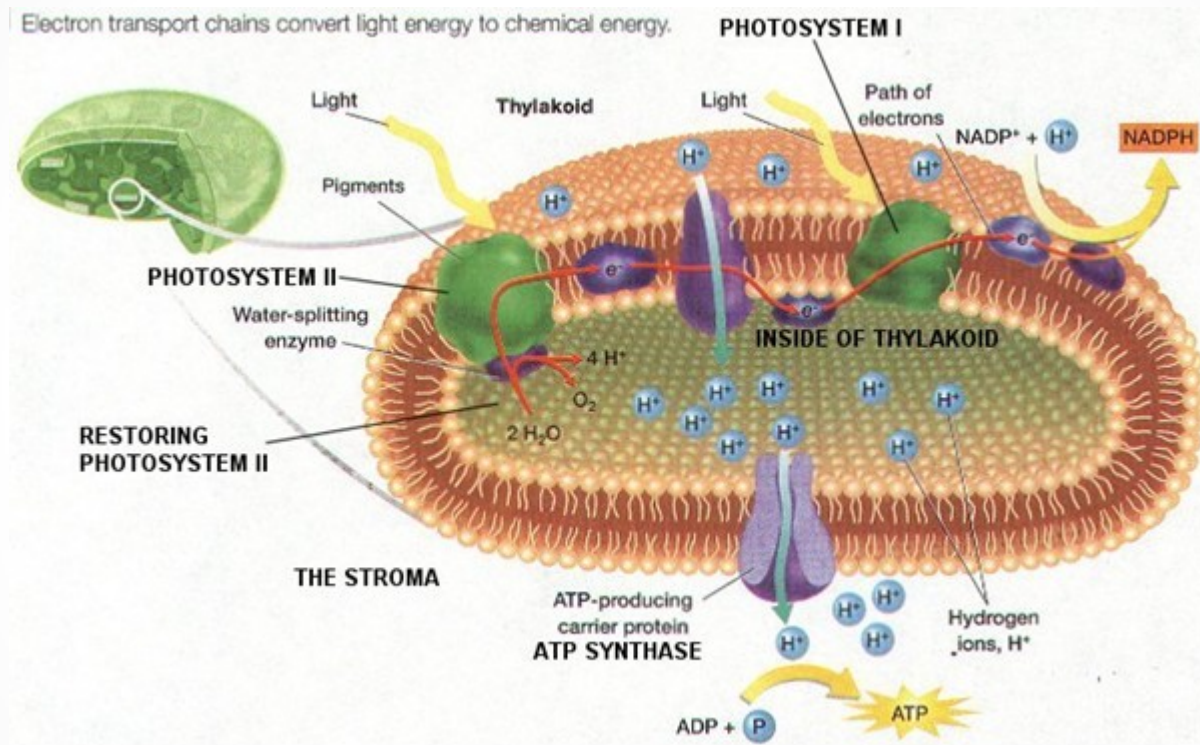


Plastocyanin

- Kuproprotein
- $E^0 = 370 \text{ mV}$, pro $\text{Cu(II)/Cu(I)} = 158 \text{ mV}$ modulace bílkovinou
- Funkcí podobný cyt c



Tvorba ATP



- Mechanismus jako u oxidační fosforylace

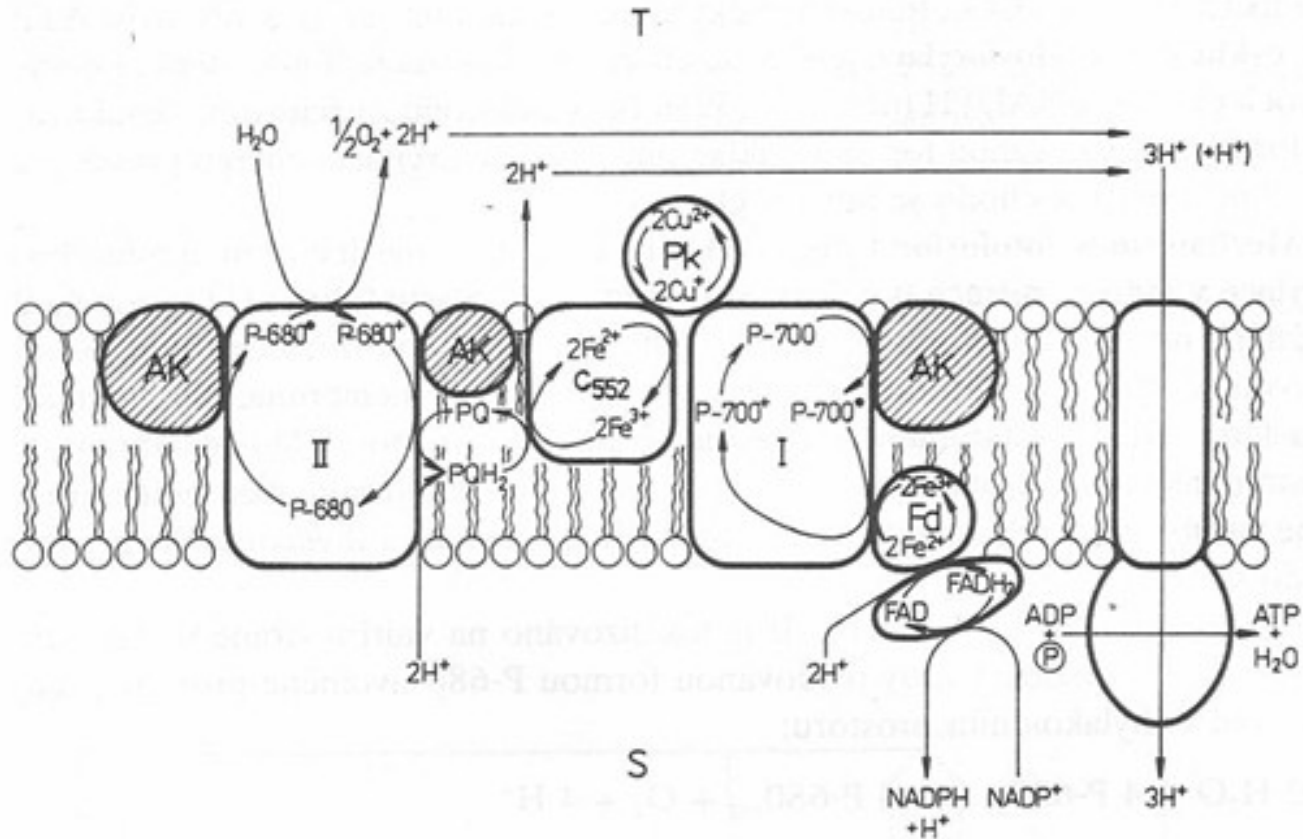
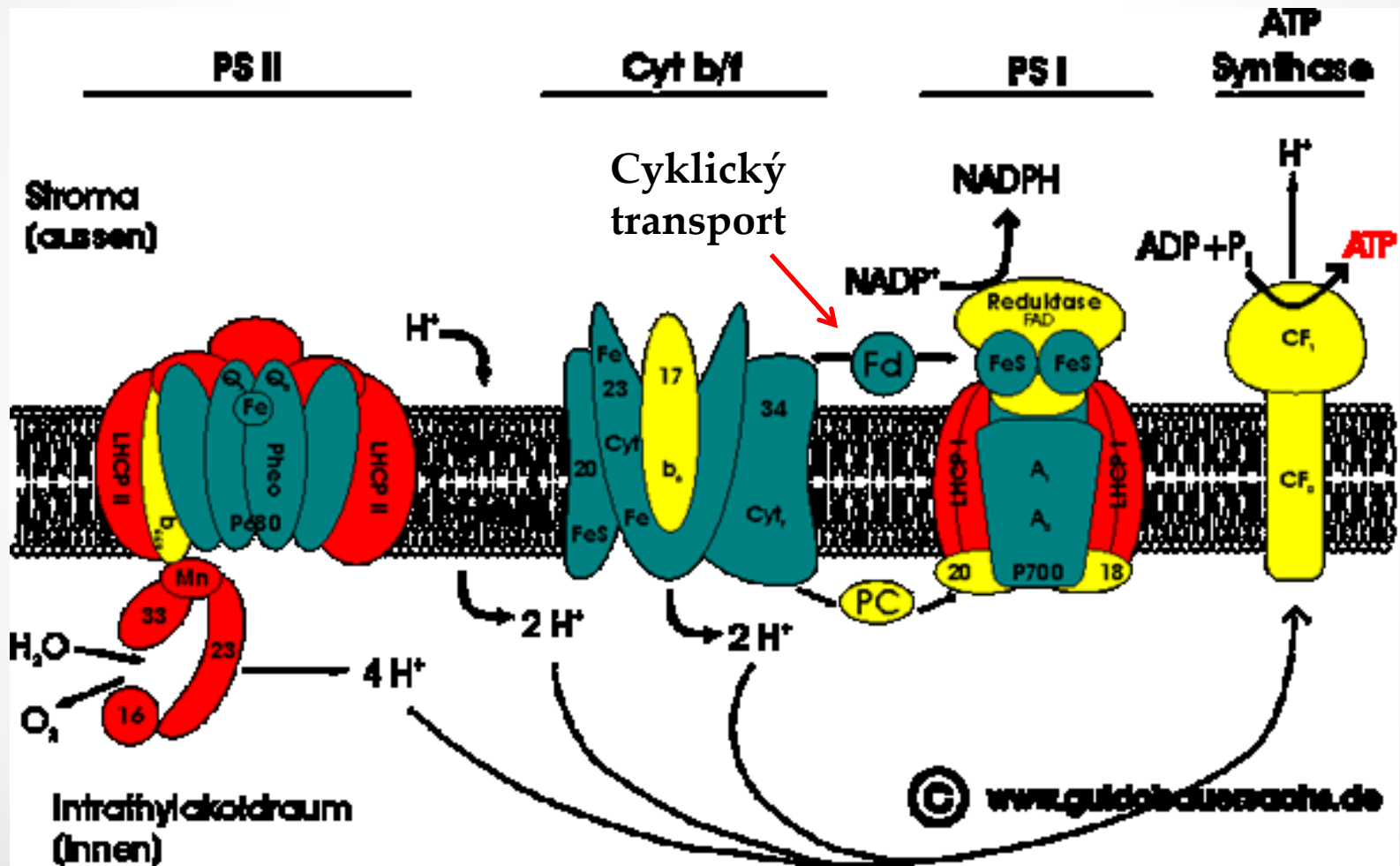


Schéma chemiosmotického mechanismu fotosyntézy v thylakoidní membráně
 (T thylakoidní prostor, S stroma, AK anténové komplexy, I, II odpovídající fotosystémy, Fd ferredoxin, Pc plastocyanin, PQ plastochinon)

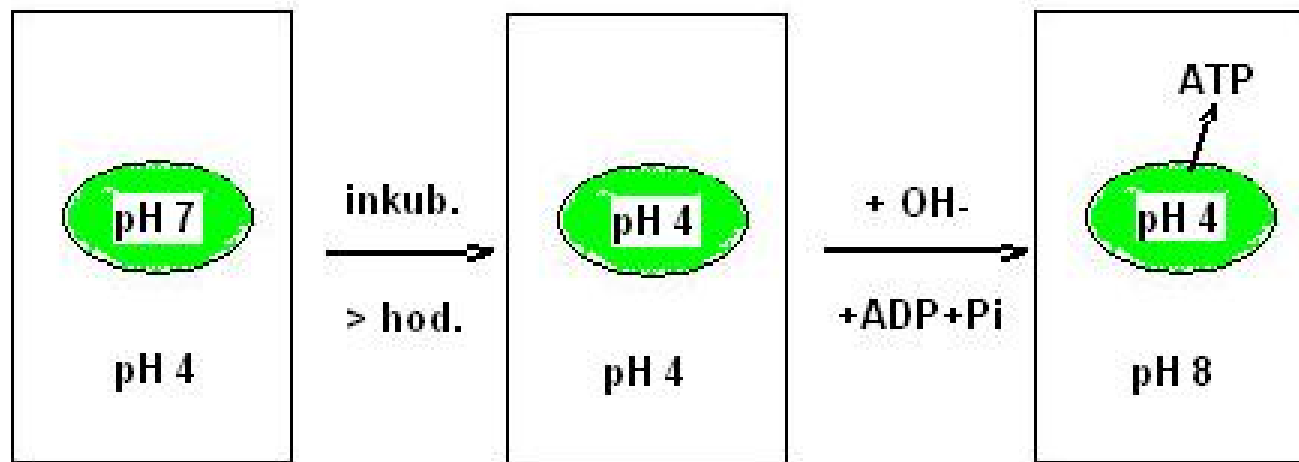
Struktura a funkce PS řetězce přenosu elektronů



Bilance přenosu e^-

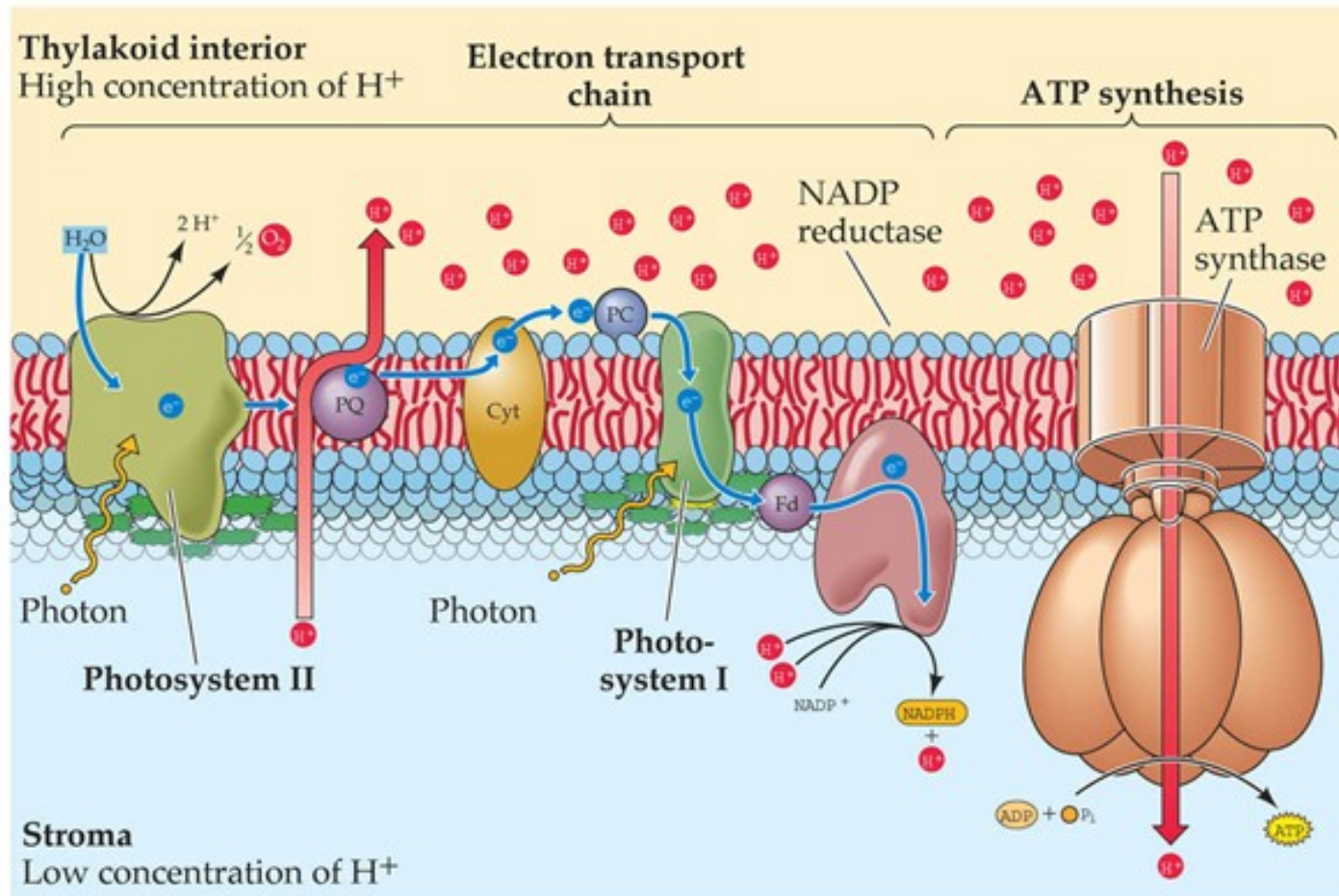
- $2 \text{H}_2\text{O} = \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ \text{ (do lumen)} + 4 e^-$
- $2 \text{H}^+ \text{ (ze stroma)} + 4 e^- + 2 \text{NADP}^+ = 2 \text{NADPH}$
- Potřeba 8 fotonů
 - Experimentálně 8 – 10 na 1 uvolněnou O_2
- 8 H^+ translokováno do lumen přes bf komplex
- Celkem 12 – tj. stačí na syntézu 4 ATP
- Protonmotivní síla téměř zcela záležitostí ΔpH
 - Díky propustnosti membrány pro Mg^{2+} a Cl^- je $\Delta\Psi$ blízka 0

Umělý systém syntézy ATP



- Experimentální průkaz tvorby ATP na konto ΔH^+
- První potvrzení chemiosmotické teorie – tylakoidy

Sumární schema světelné fáze

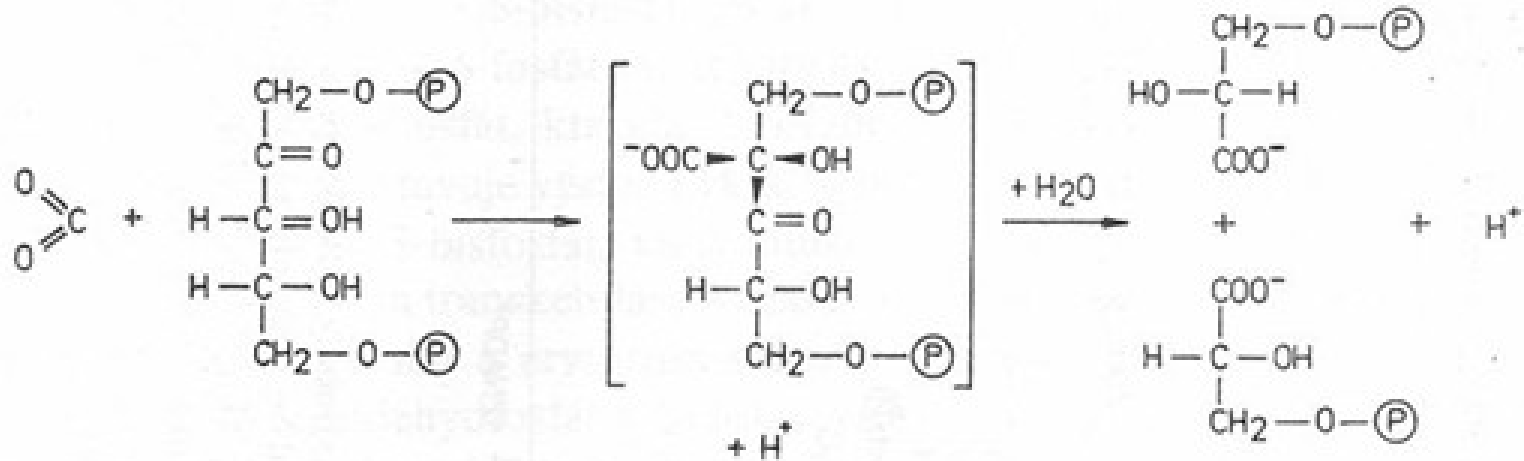


LIFE: THE SCIENCE OF BIOLOGY, Seventh Edition, Figure 8.11 Chloroplasts Form ATP Chemiosmotically
© 2004 Sinauer Associates, Inc. and W. H. Freeman & Co.

Temná fáze

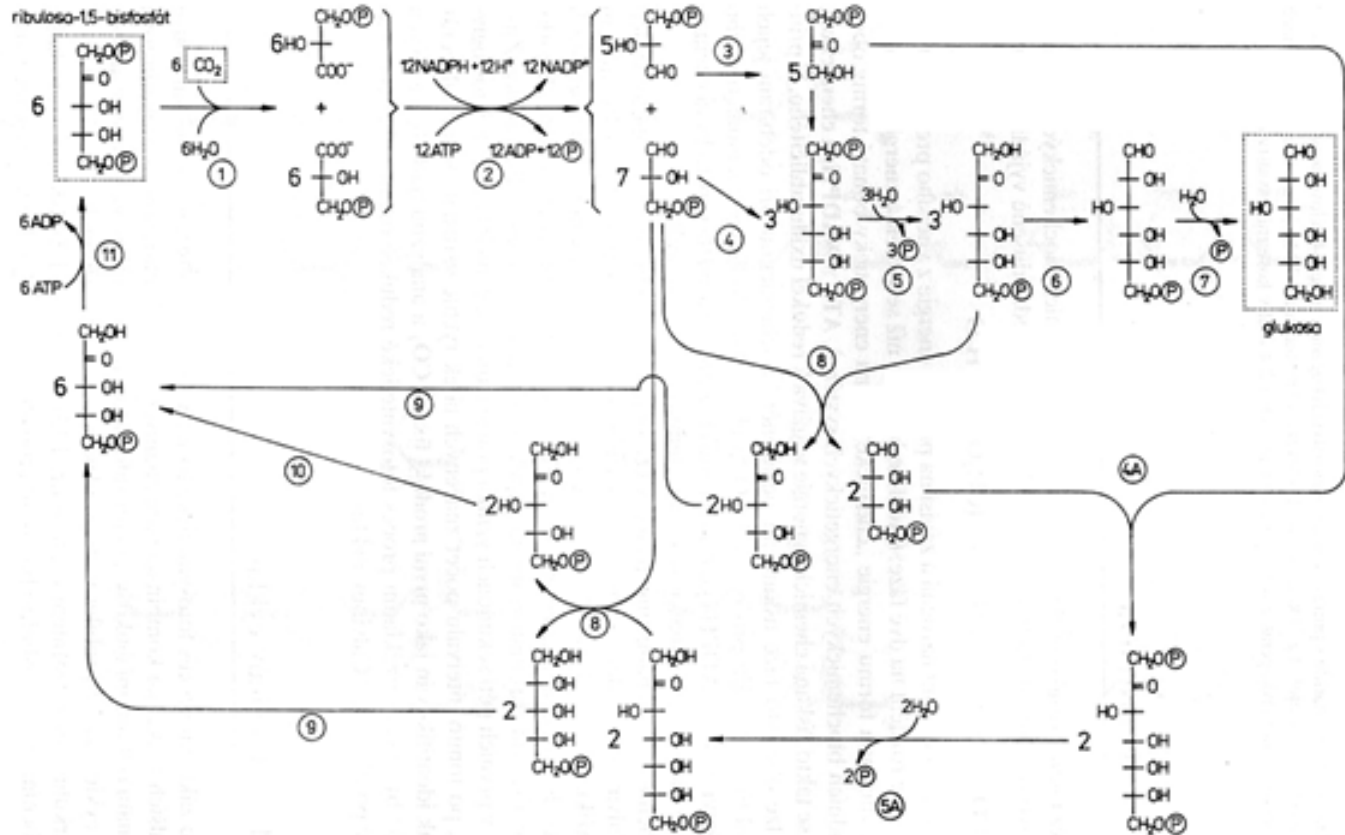
- Fixace a asimilace CO_2
 - Akceptor Ru-1,5-bisP
 - RUBISCO – ribulosabifosfát karboxylasa oxygenasa
- Redukce – form. $\text{CO}_2 + 4[\text{H}] = \text{HCOH} + \text{H}_2\text{O}$
 - Vznik GAP
 - Vyžaduje NADPH a ATP
 - Obrat glykolytické reakce GAPDH
- Regenerace akceptoru CO_2
 - GAPDH – fruktosa-1,6-bisfosfát
 - Obrat pentosového cyklu
 - Transaldolace a transketolace
 - $6 \text{CO}_2 + 6 \text{C}_5 = 6 \text{C}_6$
 - $5 \text{C}_6 = 6 \text{C}_5$ – další spotřeba ATP

Fixace CO₂



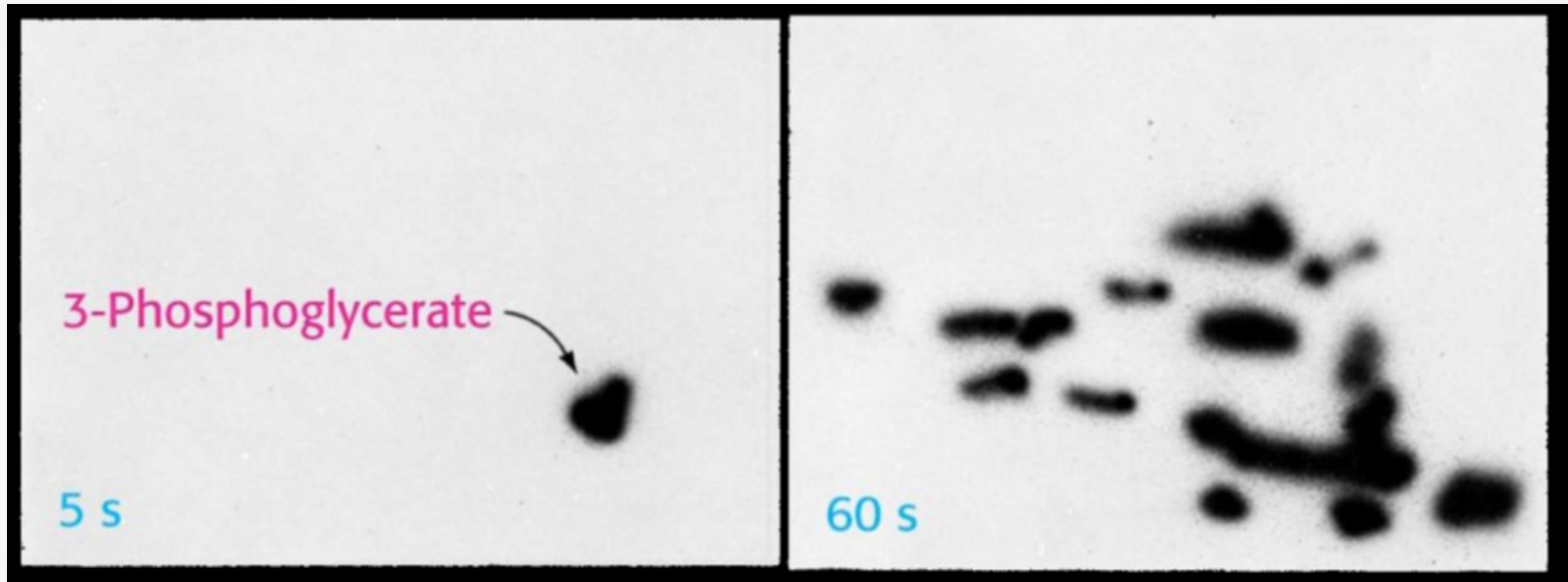
- Ribulosabisfosfát karboxylasa oxygenasa
 - Alternativně reaguje s O₂ - vzniká P-glykolát – disipace energie
 - Nejvíce syntetizovaná bílkovina v biosféře

Calvinův cyklus

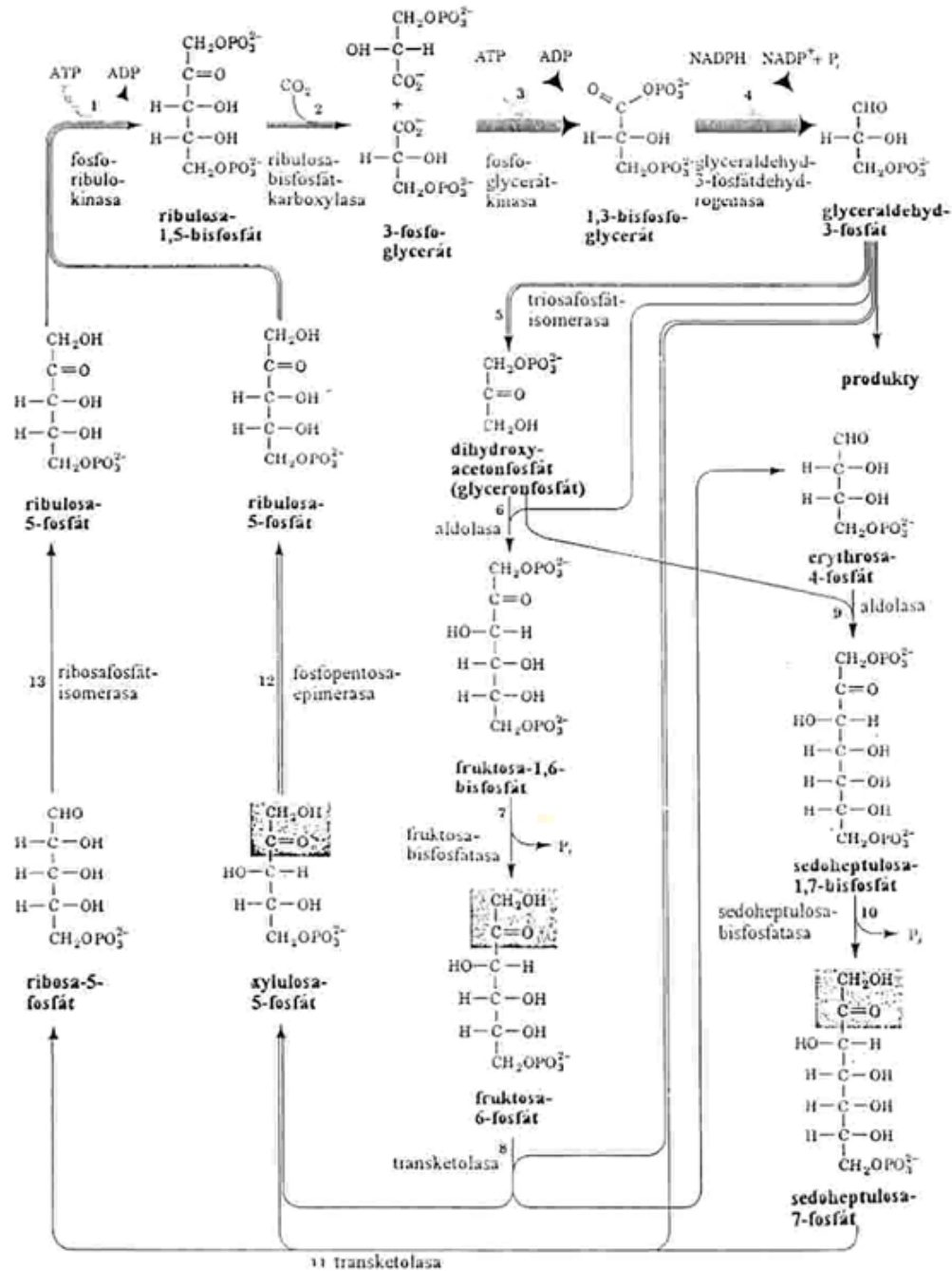


- Redukce 3PG a regenerace Ru1-1,5-bis P

Calvinův cyklus

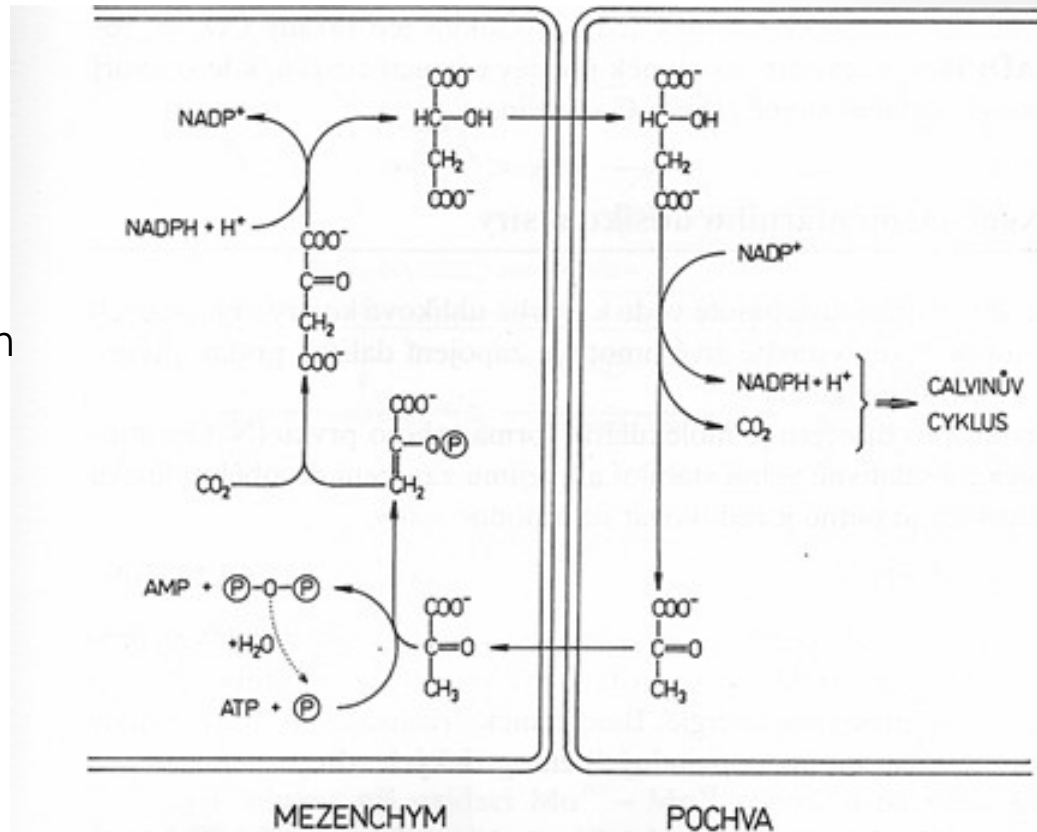


- Studován pomocí papírové chromatografie ^{14}C -metabolitů (špenát, *Chlorella*)
 - Melvin Calvin, James Bassham, Andrew Benson
 - UCB, NC 1961



C4 mechanismus

- Pomocný pochod záchytu CO_2
 - C4 rostliny v oblastech s vysokým slunečním svitem
 - Efektivnější záchyt CO_2
 - Probíhá v noci při uzavřených průduchách
 - omezení ztráty vody
 - Tvorba C4 metabolitů
 - malát, oxalacetát



Obr. 145 Schéma fixace CO_2 u (malátových) C_4 -rostlin