**6 CO2 + 12 H2O → C6H12O6 + 6 O2 + 6 H2O**

**Chloroplast**

* Elipsoid
* Dvě dvojité ochranné membrány
* Vnitřní thylakoidální membrána
* Naskládaná „úplně“ vnitřní membrána tvoří lamely => **thylakoidy**
	+ Dutina thylakoidů je **lumen**
	+ Membrány **thylakoidů**, které se dotýkají => **grana** (sloupec)
	+ 1Chloroplast má 10-100 **Gran**
		- Membrána thylakoidů je nepropustná pro protony
		- Tvořena fosfolipidy, sulfolipidy..
		- Mastné kyseliny v membráně jsou vysoce nenasycené (až 3 dvojné vazby) => membrána je fluidní
		- PSI PSII
		- Cytochromový komplex b6f a ATPsyntázy
* Výplň (kapalná) => **stroma** (obsahuje DNA, RNA, ribozomy, enzymy..)
* Pravděpodobně vznikl endosymbiózou

**Pigmenty**

* Chlorofyly jsou vázány v PSI a PSII
* Karotenoidy chrání fot. Aparát před vysokým ozářením vázány v PSI PSII, ve vnitřní membráně i ve vnější membráně

**Chlorofyl**

* Absorbují fotony v modré a červené oblasti spektra
* V zelené oblasti mají minimální absorpci => jsou **zelené**
* Cyklický tetrapyrol – porfyrin, jádra se značí A,B,C,D nebo I-IV
	+ V centru je Mg
	+ Konjugované dvojné vazby – π elektrony důležité pro absorpci fotonů
	+ Na pyrolovém jádru D je zbytekalkoholu – **fytolu (**$C\_{20}$**)** – hydrofobní a zakotvuje chlorofyl v membráně thylakoidu
* Váže se s proteiny nekovalentně – slouží k tomu histidinové zbytky (imidazolový kruh – pětičlenný heterocykl s dvěma N) v proteinech a Mg v chlorofylu

**Ostatní pigmenty**

* **Karotenoidy**
	+ Absorbují fotony v modré a fialové oblasti, jeví se jako žluté až oranžové
	+ Tetraterpeny ($C\_{40}$), lineární řetězec, konjugované dvojné vazby, na koncích cyklické struktury
	+ Jsou to uhlovodíky
* **Xantofyly**
	+ Kyslíkaté deriváty, O je vázán na koncové cykly
	+ **Xantofylový cyklus –** violaxantin =>anteraxantin=>zeaxantin
	+ **Zeaxantin** má schopnost měnit nadbytek energie na teplo – **disipace energie**

**PSII**

* Jádro (core komplex)
	+ Reakční centrum RCII
		- Hydrofobní proteiny, vážou asi 40 molekul *chlorofylu a* + beta karoten (anténní komplex jádra)
		- Tvořeno proteiny D1 a D2, na ten se vážou dvě molekuly *chlorofylu a* => specifický pár
		- V této pozici má chlorofyl absorpční maximum 680nm => P680 (pigment)
		- Na D1 a D2 jsou vázány 2 Feofytiny, atom Fe, dvě molekuly plastochinonu $Q\_{A }, Q\_{B}$
		- Na straně lumenu je asociován s **OEC**
			* Oxygen evolving komplex
			* Rozkládá vodu a uvolňuje kyslík
			* Je tvořen několika hydrofilními proteiny + kofaktory: 4 Mn, $Ca^{2+}$, $Cl^{-}$ (Mn pomáhají přenášet elektron, Ca a Cl stabilizují komplex)
	+ V jádru vázán cytochrom b559
* LHCII (light harvesting komplex) – periferní světlosběrný komplex = anténní komplex
	+ Tvoří obal jádra
	+ Obsahuje fotosyntetické pigmenty: karotenoidy, chlorofyly (jsou asociované se strukturními proteiny); s pigmenty jsou nekovalentně vázány =>**pigmentproteinové komplexy**
* Prostoupeny membránovými lipidy

**Cytochromový komplex b6f**

* **Cytochrom** je označení pro [bílkoviny](http://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%ADlkovina) vázané na [membrány](http://cs.wikipedia.org/wiki/Bun%C4%9B%C4%8Dn%C3%A1_membr%C3%A1na) a obsahující ve své [molekule](http://cs.wikipedia.org/wiki/Molekula) [hemové](http://cs.wikipedia.org/wiki/Hem) [skupiny](http://cs.wikipedia.org/wiki/Funk%C4%8Dn%C3%AD_skupina), které zajišťují přenos [elektronů](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektron) tak, že se navázané [ionty](http://cs.wikipedia.org/wiki/Ion) [železa](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDelezo) střídavě [redukují](http://cs.wikipedia.org/wiki/Redukce_%28chemie%29) a [oxidují](http://cs.wikipedia.org/wiki/Oxidace) z Fe2+ na Fe3+ a zpátky
* Tvořen: elektronové přenašeče: cytochrom $b\_{6}$ (typu b s dvěma hemy), cytochrom f (typu c), Rieskeho protein se strukturou Fe-S
* Vazebná místa pro Plastochinony: $Q\_{p}$ pro redukovaný plastochinon (leží v membránové vrstvě přilehlé k lumenu), $Q\_{n}$ pro oxidovaný plastochinon (v membráně u stromatu)

**PSI**

* Jádro (core komplex)
	+ Reakční centrum RC
		- 50 až 100 molekul *chlorofylu a* a Beta karoten + proteiny reakčního centra => anténní komplex jádra;
		- Karoteny mají funkci především ochrannou a strukturní
		- Tvořeno: Heterodimer hydrofobních proteinů psaA a PsaB, na stromatální straně má hydrofilní podjednotky PsaC a PsaD a na straně lumenu hydrofilní podjednotka PsaF. V jádru jsou ještě další podjednotky
		- Na PsaA a PsaB se váže dimer *chlorofylu a* = specifický pár
			* V tomto postavení má *chlorofyl a* absorpční maximum 700nm => P700
		- První akceptor elektronu: *chlorofyl a* ($A\_{0}$)
		- Přenašeče: Fylochinon ($A\_{1}$) = vitamin K1, centrum Fe-S
		- Další dvě Fe-S centra má podjednotka PsaC
		- PsaD interaguje s mobilním ferredoxinem
		- PsaF interaguje s plastocyaninem (donor elektronu P700)
* **LHCI** (light harvesting complex) – periferní světlosběrný komplex = anténní komplex
	+ Tvoří obal jádra
	+ Obsahuje fotosyntetické pigmenty: karotenoidy, chlorofyly (jsou asociované se strukturními proteiny); s pigmenty jsou nekovalentně vázány =>**pigmentproteinové komplexy**
* Prostoupeny membránovými lipidy

**ATPsyntáza**

* 9 různých podjednotek
* Dvě hlavní části: $CF\_{0}$ a $CF\_{1}$
	+ $CF\_{0}$ je integrální membránový protein, slouží jako **kanál** pro protony
		- Podjednotky I,II,III,IV
	+ $CF\_{1}$- katalytická část, hydrofilní hlava – vykukuje do stromatu
		- Podjednotky alfa, beta, gama, delta, epsilon
	+ Tři vazebná místa pro nukleotid – 3 konformační stavy
	+ Open Loose Tight

**Mobilní molekuly**

* **Plastochinon PQ** – přenašeč elektronu v membráně thylakoidu, je silně hydrofobní a proto je držena v membráně
	+ $PQH\_{2}$ **– semiplastochinol** – když probehne oxidace na obou atomech kyslíku
* **Plastocyanin PC –** malý hydrofobní protein, obsahuje dva atomy Cu, přenáší jeden elektron
	+ Oxidovaný se váže k cytochromovému komplexu (na straně lumenu)
	+ Redukovaný se váže k PSI
* **Ferredoxin** – malé proteiny, obsahují jedno nebo dvě Fe-S centra, přenášejí elektron

**Přenos elektronu fotosyntetickým aparátem**

* Karotenoidy absorbovanou energii přenesou na chlorofyly (z modré a fialové oblasti spektra)
* Chlorofyly absorbují ze dvou oblastí spektra – modré+fialové a v červené
	+ Dva typy excitovaných stavů – modrý má vyšší E
* Energie se mezi pigmenty přenáší **Indukční resonancí** (Försterův přenos energie)
	+ Potřeba minimální vzdálenosti molekul, správná prostorová orientace
	+ To zajišťuje anténní komplexy a jádra fotosystémů
	+ Energie se přenáší až s 95% účinností
* Směrem k reakčnímu centru množství energie potřebné k excitaci pigmentu postupně klesá **(vlnová délka absorpčního maxima stoupá)** => na periferii LHC je více *chlorofylu b*, v reakčním centru je *chlorofyl a*, ten je excitovaný nižší energií. => zajištění **jednosměrného přenosu** energie do RC
* V RC se mění energie záření na energii redoxních reakcí
* V RC: *chlorofyl a* se excituje –> uvolní elektron –> *chlorofyl a* se oxiduje, první elektronový akceptor se redukuje
* Oxidovaný *chlorofyl a* přijme elektron od příslušného donoru a může se dále excitovat

**Necyklický přenos elektronu:**

* Z PSII je přenášen elektron Plastochinonem (PQ) na cytochromový komplex, pak Plastocyaninem (PC) na PSI.
* Energie ze všech pigmentů PSII je přenesena do RCII, předána jedné molekule *chlorofylu a* => excitace => *chlorofyl* $a^{\*}$(změní se redoxní potenciál – stane se negativním: z +1,1V na -0,6V) => elektron přejde na molekulu **feofytinu**(má vyšší afinitu k $e^{-}$ než molekula chlorofylu) => oddělení náboje = předání elektronu z *chlorofylu a* (donor)na Feofytin(akceptor) => *chlorofyl a* se oxiduje na *chlorofyl* $a^{+}$, feofytin se redukuje na $feofytin^{-}$
	+ Energie elektromagnetického záření se mění na fotochemickou, dojde k uvolnění elektronu, poté je to energie oxidačně redukčních reakcí
	+ Chlorofyl a + hv –> chlorofyl $a^{\*}$ (excitace)
	+ Chlorofyl $a^{\*}$ + feofytin –> chlorofyl $a^{+}$ + $feofytin^{-}$ (fotochemická reakce)
* Elektron putuje:
	+ Feofytin => Fe => Plastochinon $Q\_{A}$, ta je vázaná na D2 (má klednější redoxní potenciál než feofytin), $Q\_{A}$ se redukuje na $Q\_{A}^{ -}$ –> elektron je transportován na $Q\_{B}$(vázaný na D1) –> redukovaný semichinon $Q\_{B}^{ - }$, ten přijme další elektron od feofytinu – vznik $Q\_{B}^{ 2-}$, poté přijme ještě 2 $H^{+}$ ze stromatu – plastochinol $PQH\_{2}$ => uvolní se do membrány (je slabě vázán), na jeho vazbné místo naskočí další molekula PQ které jsou v přebytku a mají vyšší afinitu k vaz.místu (vytěsní $PQH\_{2}$) => putuje k **cytochromovému komplexu** $b\_{6}f$=> váže se na místo $Q\_{p}$ (na thylakoidální straně membrány), jeden elektron => **Rieskeho protein** => **cytochrom f** => **plastocyanin PC**
	+ druhý elektron redukuje cytochrom $b\_{l}$ (Low potential) na $b\_{h}$ (High potential) => elektron z cyt.$b\_{h}$ redukuje PQ na semichinon $PQ^{-}$ => elektron z dalšího $PQH\_{2}$ to redukuje na $PQ^{2-}$=> +2 protony ze stromatu => $PQH\_{2}$=> ta se uvolní, vazebné místo $Q\_{n}$ obsadí další molekula PQ => $PQH\_{2}$ se naváže na $Q\_{p}$ , protony jsou uvolněny do lumenu. Celý proces se opakuje. **=> Q cyklus**
* Plastocyanin je donorem elektronu pro PSI (přenáší elektron z cytochrom.komplexu na PSI)
* Podobně jako v PSII, energie z pigmentů v LHCI je přenesena do RCI => excitace *chlorofylu a* ze specifického páru (P700) => uvolní se elektron =>akceptorová molekula *chlorofylu a* ($A\_{0}$); oxidovaný chlorofyl přijme elektron z plastocyaninu => *Chlorofyl a* přejde do základního stavu
* Redukovaný *chlorofyl a* $A\_{0}^{ -}$ => předá elektron do RCI => akceptor $A\_{1}$ Fylochinon (vitamin K1) => elektron na $F\_{X}$ (Fe-S, PsaC a další podjednotky $F\_{A}$, $F\_{B}$) => elektron se v membráně posune z oblasti blízko lumenu do oblasti blíže stromatu => z centra $F\_{B}$ => **ferredoxin** (mobilní molekula) => uvolnění do stromatu (v redukovaném stavu)

**Cyklický přenos elektronu**

Elektron se vrací na cytochromový komplex $b\_{6}f$, projde Q cyklem a vrací se (nese ho plastocyanin) na specifický pár chlorofylu v RCI. Není to úplně do detailů probádané.

Zpět k přenosu elektronu

* **Ferredoxin**  je silné redukční činidlo, ve stromatu redukuje NADP+
* **FNR** – ferredoxin-NADP+reduktáza => NADPH$ $ + $H^{+}$
	+ Jsou potřeba dva elektrony a jeden protom
	+ NADPH je velmi důležité v sekundární fázi fotosyntézy
	+ Vzniká pouze při necyklickém přenosu elektronu
* Ferredoxin také poskytuje elektrony pro redukci nitritového aniontu $NO\_{2}^{ -}$ na kation amonný; pro redukci síranového aniontu.

**Zpět k vodě a OEC (PSII)**

* Oxidovaný chlorofyl a v RCII musí přijmout jeden elektron aby se dostal do základního stavu=> **fotolýza vody** v **OEC**
	+ Elektrony z  [H](http://cs.wikipedia.org/wiki/Vod%C3%ADk)2[O](http://cs.wikipedia.org/wiki/Kysl%C3%ADk) se dočasně vážou => **kumulace náboje**, díky **manganovému klastru** (4 atomy Mn stabilizovány díky proteinům OEC, Ca2+ a Cl-)
	+ Elektrony jsou transportovány přes zbytek **tyrozinu** (na proteinu D1) na chlorofyl a v RCII
	+ Manganový klastr reaguje s dvěma molekulami vody (odebere 4e a 2 $H^{+}$) => $O\_{2}$ + $2H^{+}$ to se uvolní do lumenu
	+ Díky kumulaci je zabráněno vzniku kyslíkových radikálů
	+ $H^{+}$ zůstavají v lumenu

**Syntéza ATP**

* Přip.: membrána thylakoidu je nepropustná pro protony
* Při rozkladu vody a při transportu elektronu plastochinonem se vytvoří rozdíl v koncentraci protonů => rozdíl pH => rozdíl náboje => vznik gradientu a náboje na membráně => vytvoření potenciální protonmotorické síly => využito k syntéze ATP z ADP a Pi (Phosphate inorganic – anion kyseliny fosforečné)
* **Fotofosforylace**, katalyzovaná **ATPsyntázou:**
* Dvě hlavní části: $CF\_{0}$ a $CF\_{1}$
	+ $CF\_{0}$ je integrální membránový protein, slouží jako **kanál** pro protony
		- Podjednotky I,II,III,IV
	+ $CF\_{1}$- katalytická část, hydrofilní hlava – vykukuje do stromatu
	+ Tři vazebná místa pro nukleotid – 3 konformační stavy
	+ Open Loose Tight
	+ **O => L => T => O => …**
	+ **O**  - naváže se ADP a Pi
	+ **L** – ADP a Pi volně vázány
	+ **T** – nukleotid je pevně vázán => **ATP**
	+ **O** – ATP se uvolní (do stromatu)
	+ Konformační změny jsou způsobeny podjednotkou gama – rotuje (díky proudu protonů)
* Ve stromatu vodíky tvoří s OH- vodu