

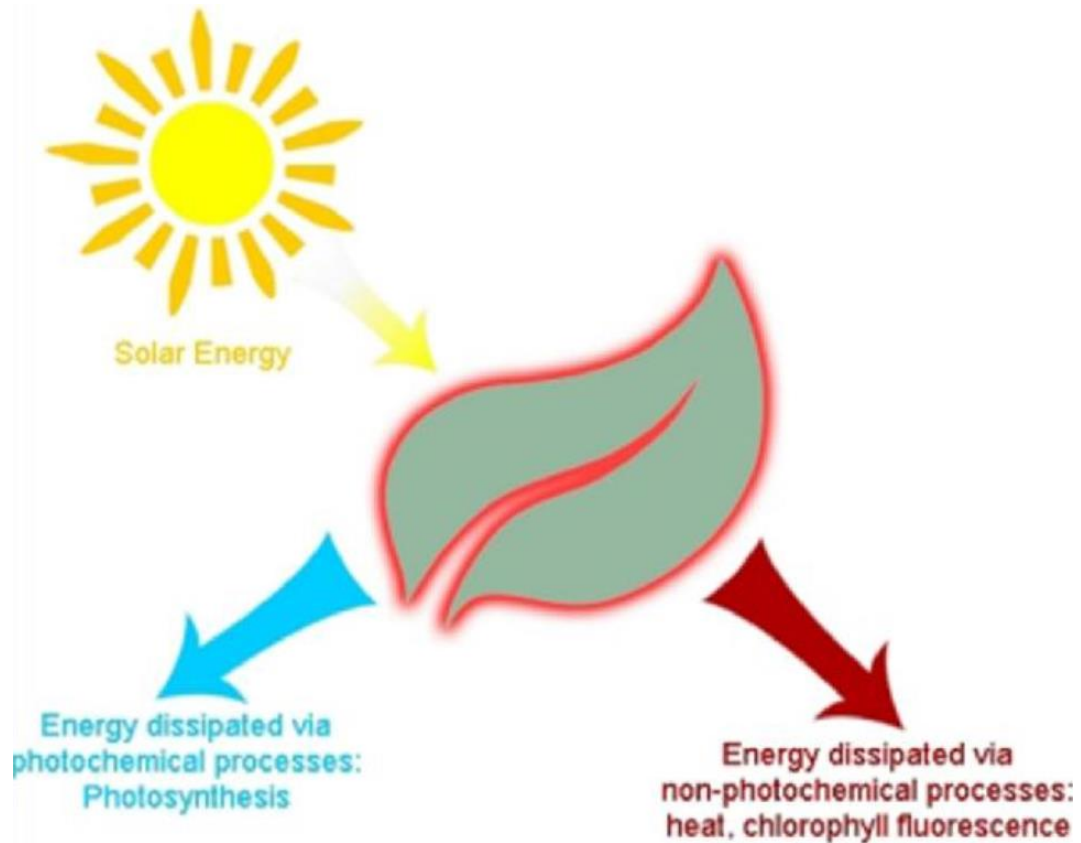
Metabolizmus rastlín

Formy energie v systéme:

- Žiarivá energia
 - Energia chemických väzieb
 - Teplo
-
- Všetky procesy v rámci metabolizmu (a kolobehu látok všeobecne) poháňa slnečná energia

- Syntéza látok (anabolizmus) – energia sa spotrebováva (napr. fotosyntéza)
- Rozkladné procesy (katabolizmus) – energia sa uvoľňuje (napr. dýchanie, horenie, hnilobné procesy)

Využitie svetelných kvánt



Užitočné materiály:

„Hračkárska“ fotosyntéza:

<https://www.youtube.com/watch?v=zxhgNmaCVAM>

Fotosyntéza (titulky, AJ):

<https://www.youtube.com/watch?v=g78utcLQrJ4>

https://www.youtube.com/watch?v=iLDbW_XvxHQ

Cyklická/necyklická fotofosforilácia počas primárnej fotosyntézy (AJ):

<https://www.youtube.com/watch?v=Es43i8Jl06w>

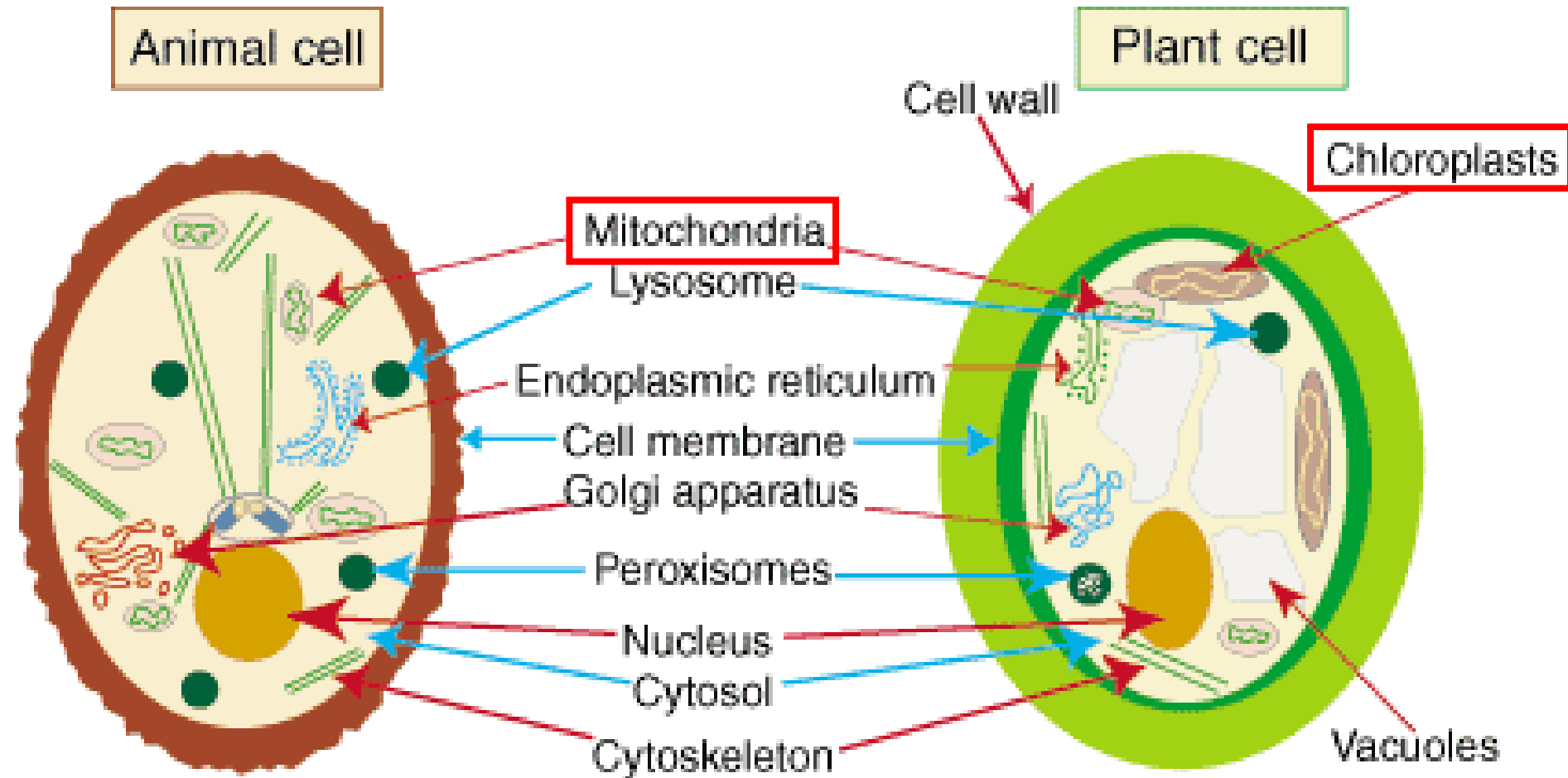
Respirácia (AJ):

<https://www.youtube.com/watch?v=b1gEvZzqyxE>

Príjem vody rastlinou:

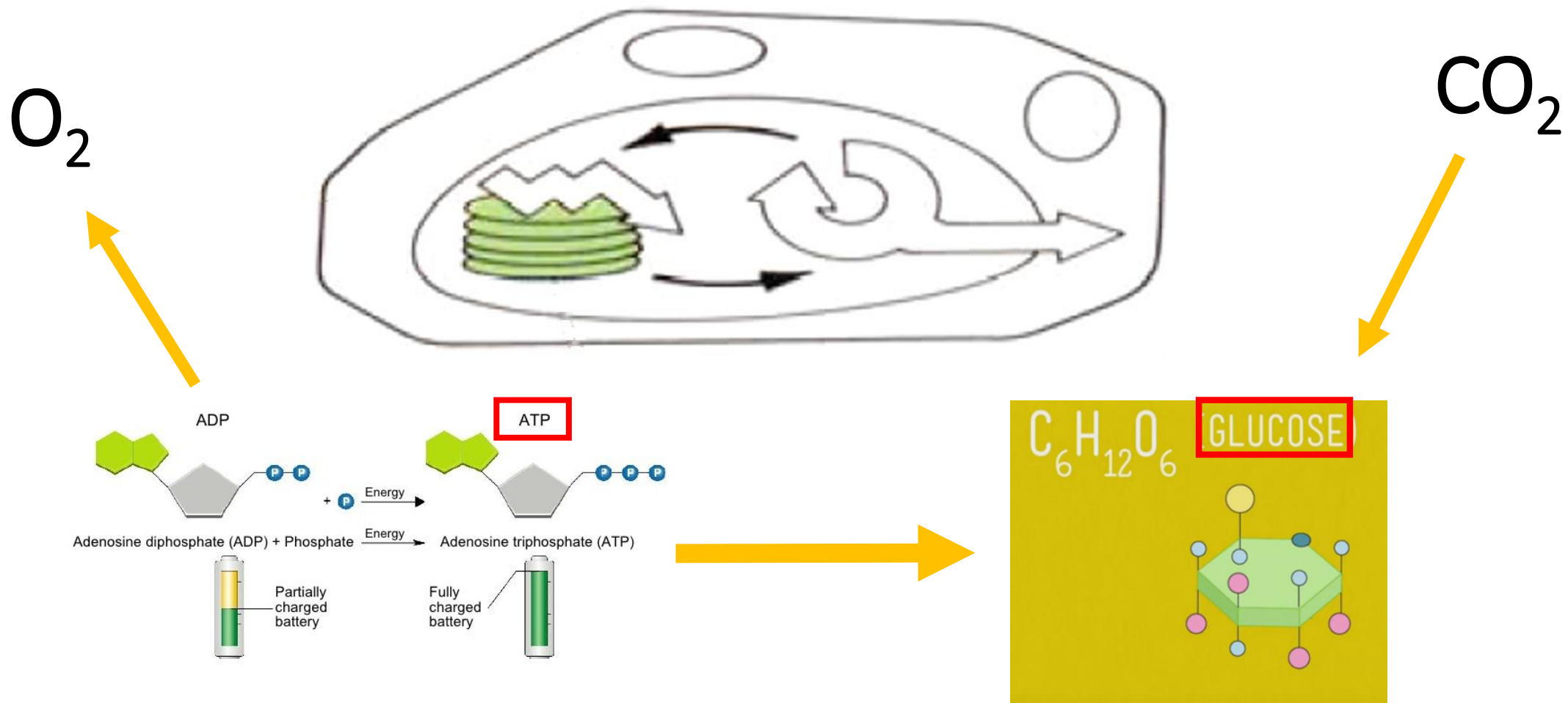
https://www.youtube.com/watch?v=LHsTX8Z9B0g&feature=em-upload_owner

[Výkladový slovník \(Olšovská a kol. 2008\)](#)

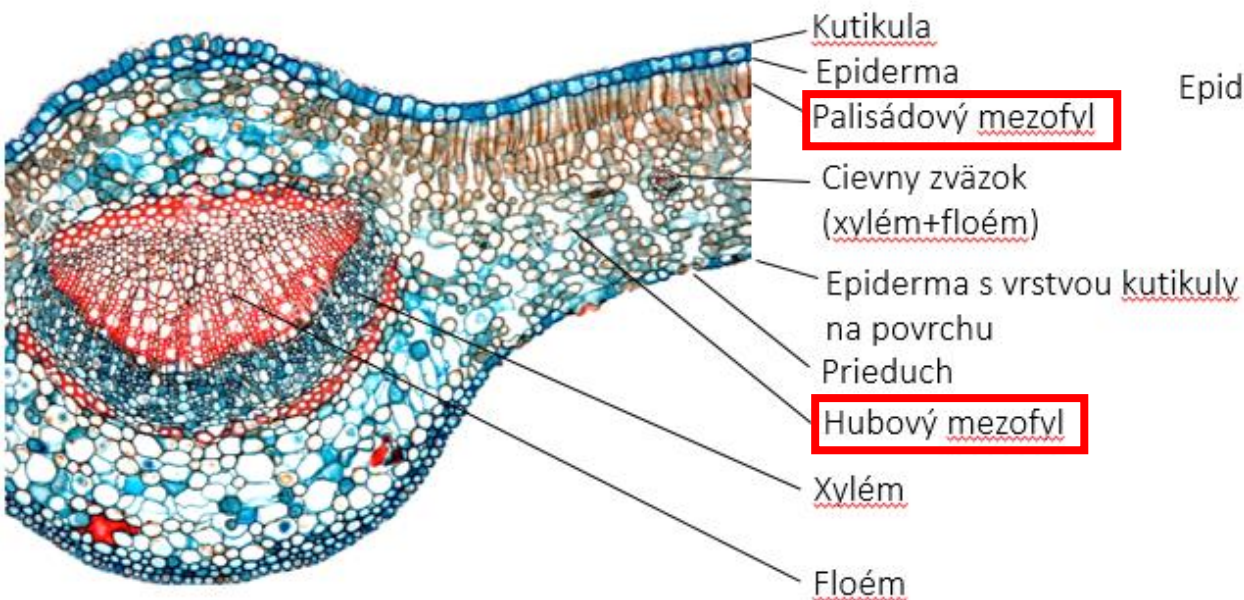




Fotosyntéza



Anatómia na úrovni asimilačných orgánov



Priečný rez hlavnou žilnatinou listu

Epiderma s kutikulou na povrchu

Živičný kanálik

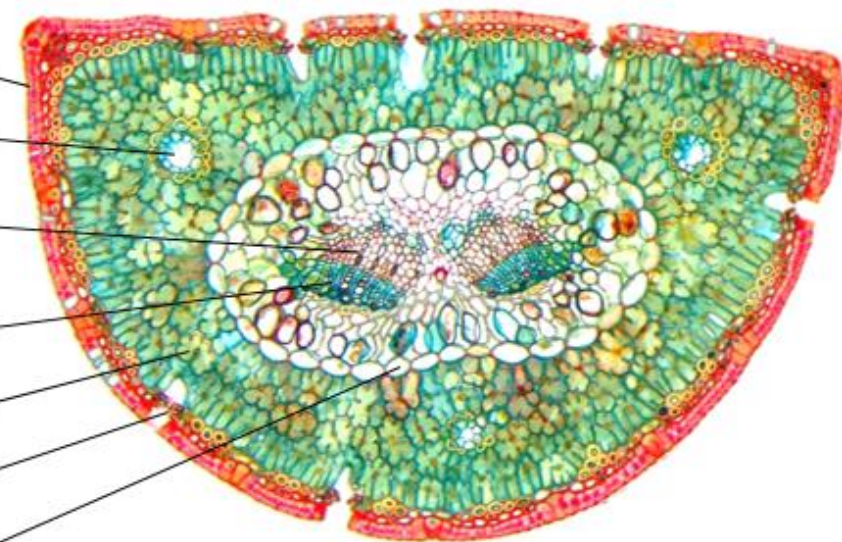
Xylém

Floém

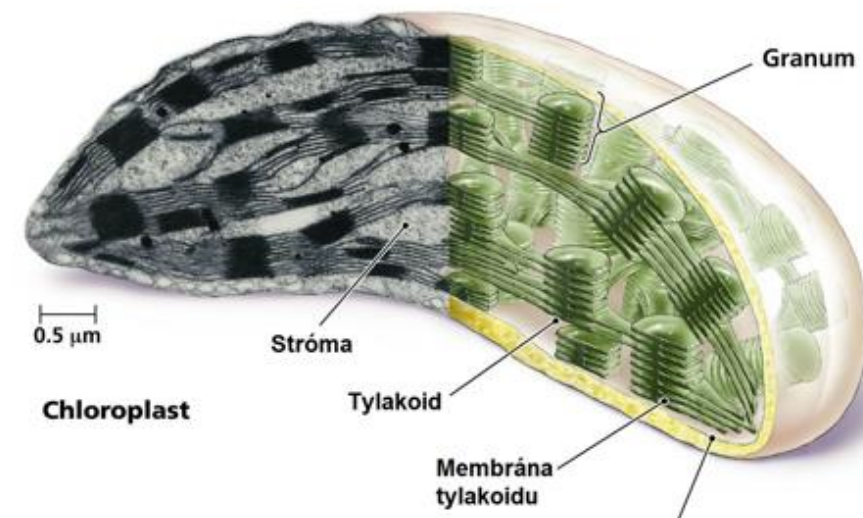
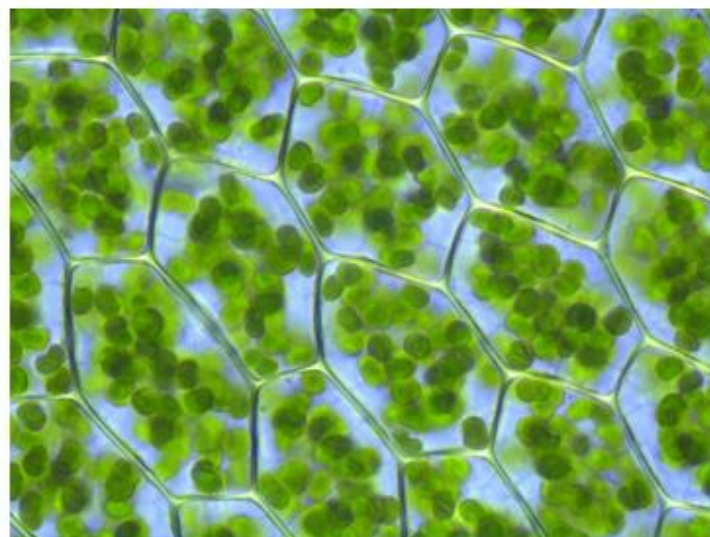
Mezofyl

Prieduch

Endoderma

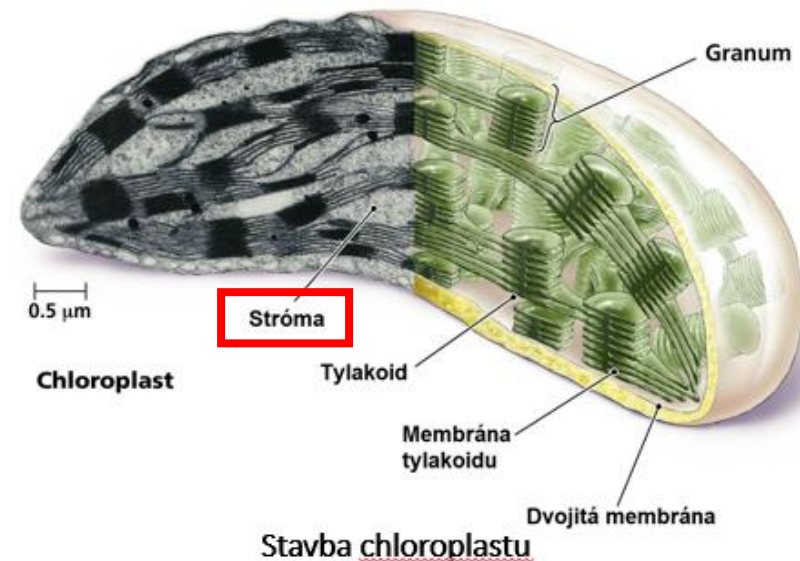
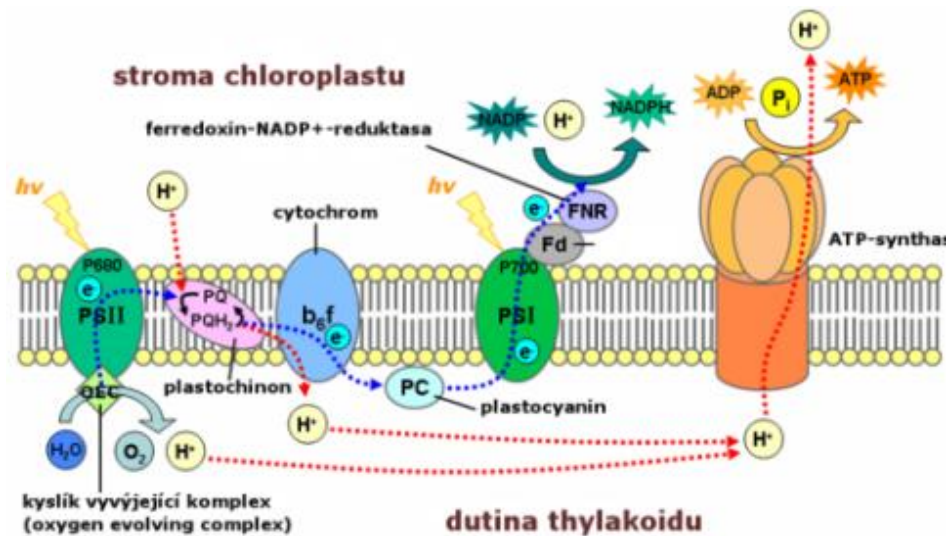


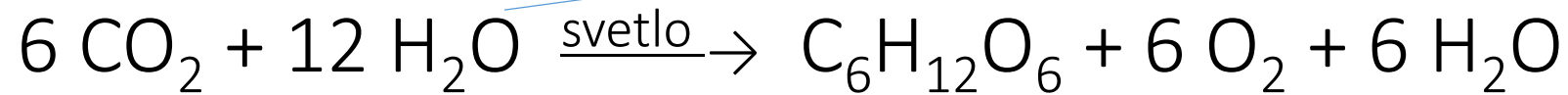
Priečný rez ihlicou



Primárna fáza (svetelná, tj. využitie svetla) aj sekundárna fáza fotosyntézy („tmavá“, spracovanie CO_2) prebieha v **mezofyle** listov tvorenom bunkami s početnými **chloroplastami** (organely), ktoré obsahujú zelené farbivo **chlorofyl**. Primárna fáza prebieha na **membráne tylakoidov**, sekundárna (tmavá) fáza prebieha v **stróme** chloroplastov (hmota v vnútri chloroplastu).

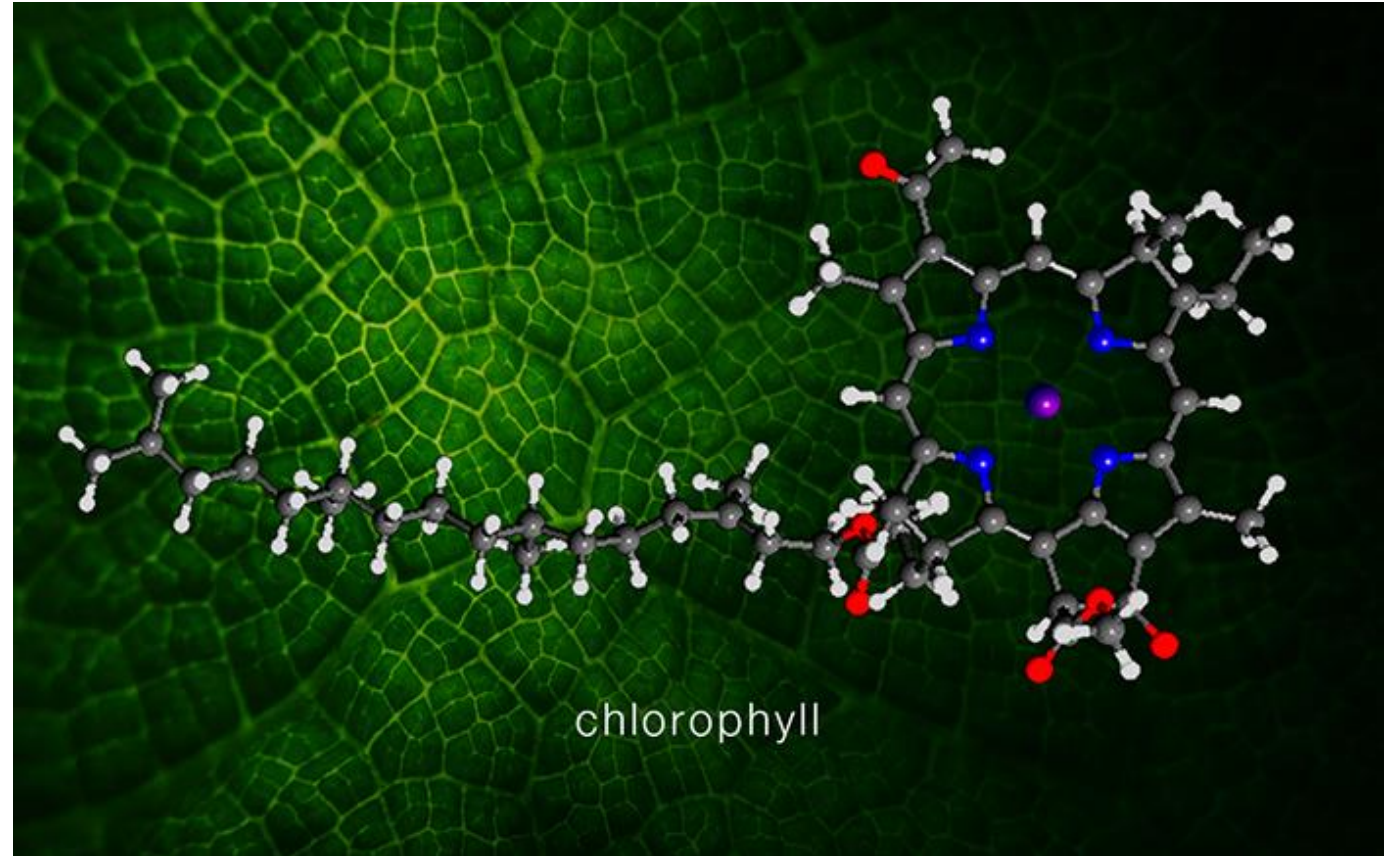
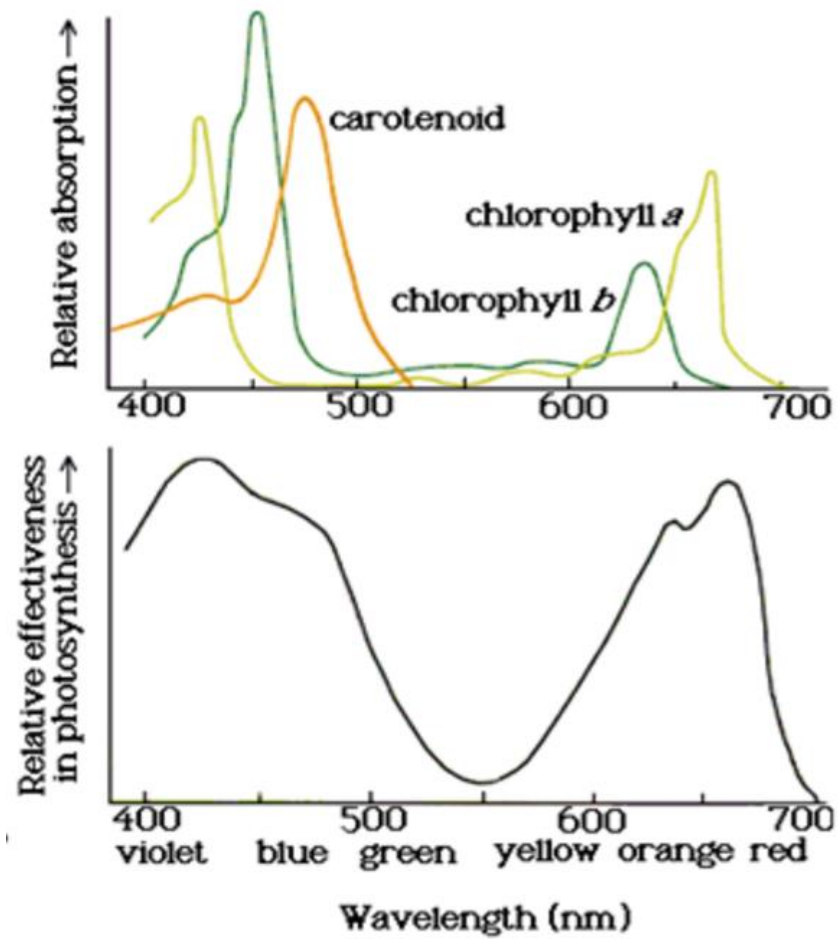
Membrána tylakoidov + stróma chloroplastu – lokalizácia fotosyntézy:



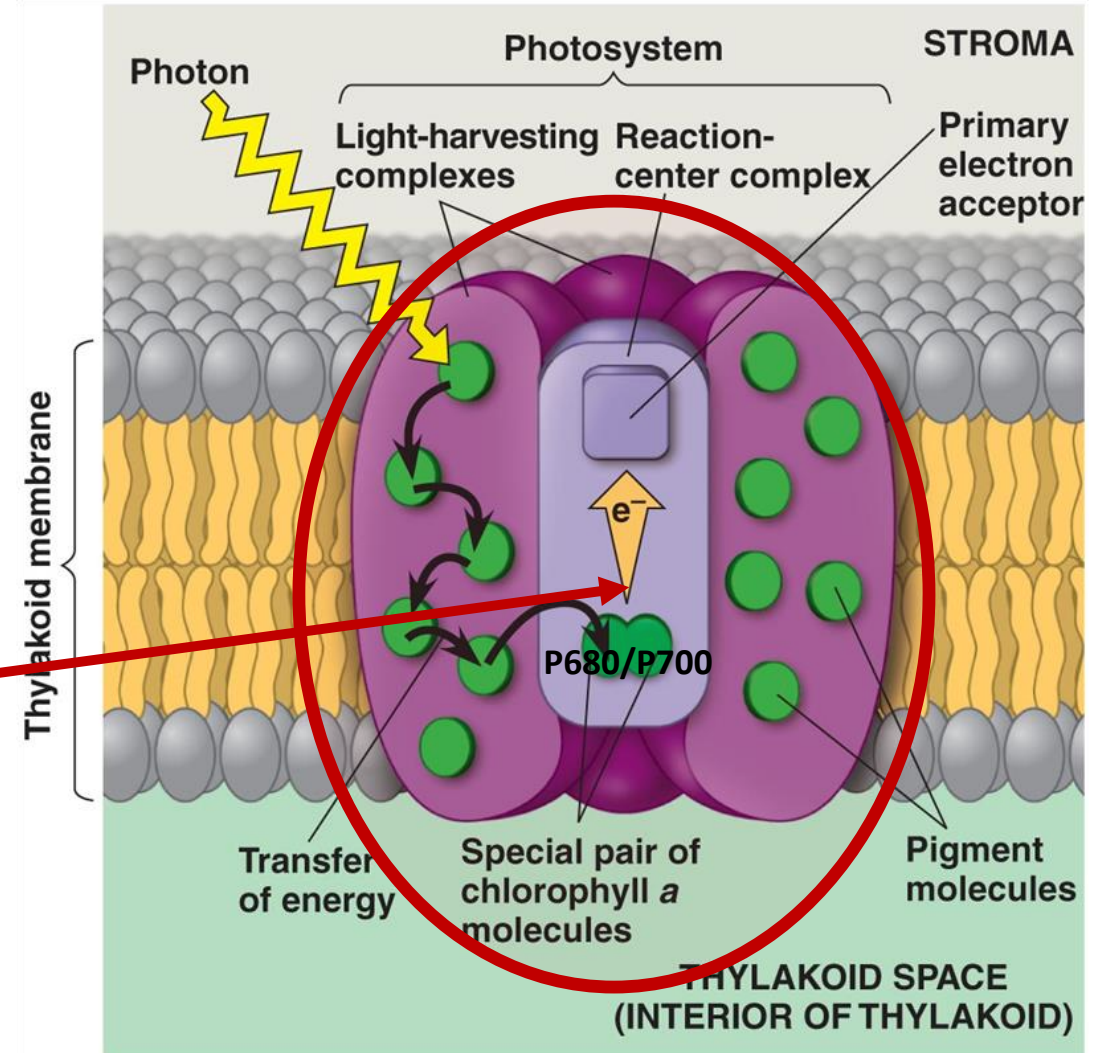
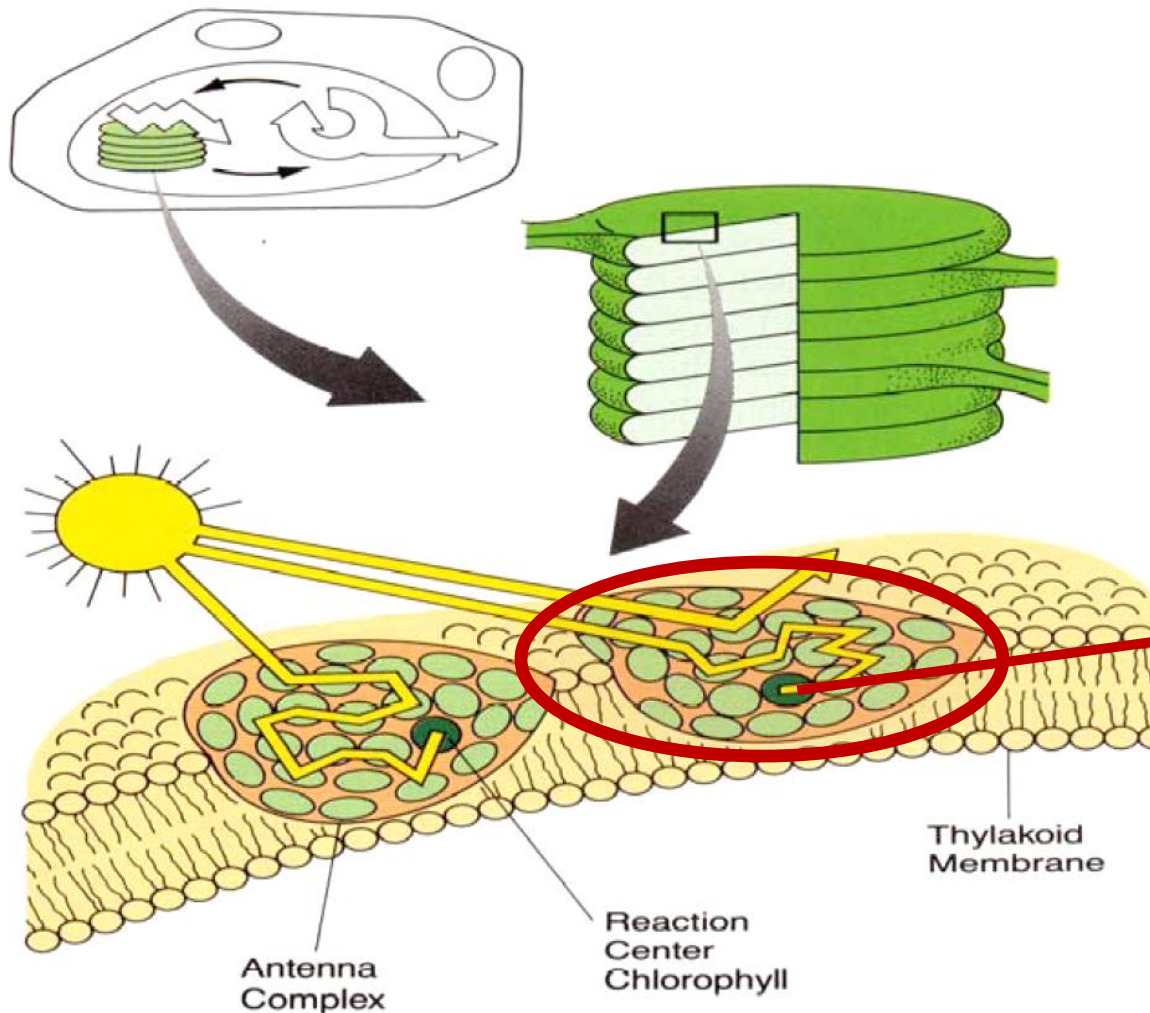


- **Podmienky fotosyntézy:** chloroplast, svetlo, H_2O , CO_2
- Svetelná, primárna fáza – premena svetelnej energie na energiu chemickej väzby: vznik **ATP** (adenozíntrifosfát z ADP v procese fotosyntetickej fotofosforylácie), vznik **NADPH₂** z NADP, vznik **O₂** z rozkladu vody (fotolýza), **H₂O**.
 - Membrány grán tylakoidov
- Tmavá, sekundárna fáza závislá od produktov predošlej fázy – fixácia uhlíka a premena anorganického uhlíka (CO_2) na organický (sacharidy): **Calvinov-Bensonov cyklus** pre väčšinu u nás rastúcich tzv. C3-rastlín.
 - Stróma chloroplastov

Primárna fáza fotosyntézy



Na membráne tylakoidu sa predovšetkým nachádzajú tzv. fotosystémy (PSII a PSI) s reakčným centrom uprostred = proteíny + pigmenty s aktívnym chlorofylom *a* (P700 alebo P680) v centre

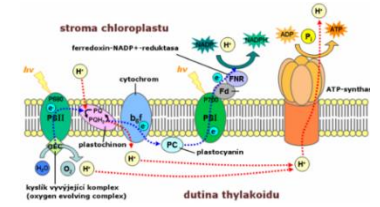


V reakčnom centre PSI aj PSII sú chlorofyly *a* s mierne odlišným maximom pre absorpciu (700 a 680 nm)

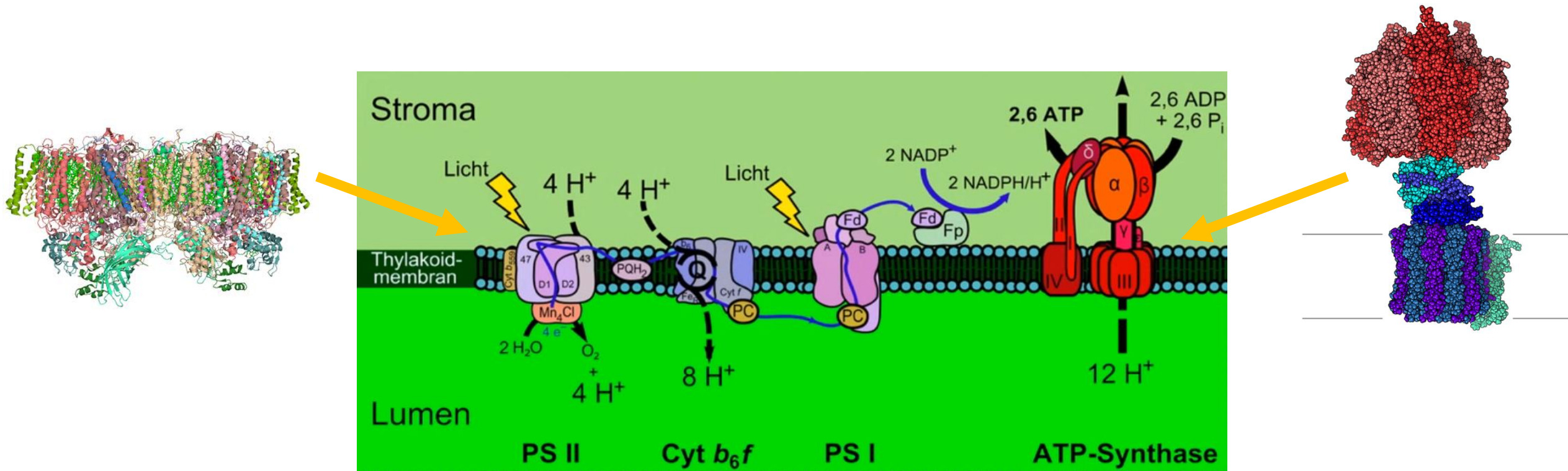
Primárna (svetelná) fáza:

- **cyklická fotofosforilácia** (k pigmentu sa vracia pôvodný elektrón): zapája sa len fotosystém I, vzniká len **ATP**
- **necyklická fotofosforilácia** (k pigmentu sa vracia elektrón z vody): zapája sa PSI aj PSII, vzniká **ATP a NADPH₂ + O₂** a voda

<https://www.youtube.com/watch?v=Es43i8Jl06w>



- Pri transporte elektrónu vzniká protónový gradient (**chemiosmóza**) – vzniká ATP
- Pri necyklickej FF vzniká okrem ATP tiež NADPH₂ po zachytení druhého fotónu



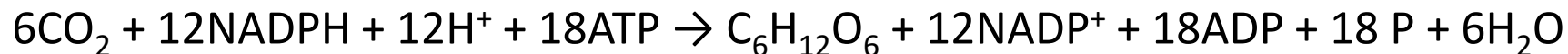
Okrem fotosystémov sa na membráne nachádza aj systém prenášačov elektrónov a tzv. ATP-syntáza

Sekundárna (tmavá) fáza fotosyntézy

Fixácia CO₂ prebieha v tzv. **Calvinovom-Bensonovom** cykle. Sú známe 3 cesty karboxylácie: C3, C4, CAM cesta

A. Väčšina u nás rastúcich rastlín sú tzv. C3-rastliny:

1. Naviazanie CO₂ na akceptor (substrát) – **RuBP** za prítomnosti katalyzátora **Rubisco**
2. Rozpad produktu na 2 molekuly **PGA** (každá molekula obsahuje 3 atómy uhlíka – preto C3 rastliny).
3. Kaskáda reakcií, pri ktorých z PGA vzniká **GAP** (vznik vyžaduje NADPH₂ a ATP)
4. GAP sa použije na tvorbu potrebných látok, napr. cukrov, mastných kyselín, aminokyselín atď. Najčastejšie sa ale vytvára **glukóza**, resp. sacharóza. Monosacharidy môžu byť premenené na sacharózu resp. škrob, čo sú polysacharidy ktoré slúžia pre transport resp. ako zásobné látky.



RuBP = ribulóza-1,5-bisfosfát; Rubisco = ribulóza-1,5-bisfosfát-karboxyláza-oxygennáza; PGA = 3-fosfoglycerát; GAP = glyceraldehyd-3-fosfát

- <http://www.johnkyrk.com/photosynthesisdark.html>
- **Fotorespirácia C3 rastlín (glykolátový cyklus) – nemá nič spoločné s bunkovou respiráciou!!!**
- Uvoľňovanie CO₂ na svetle u C3 rastlín
- Príčinou je naviazanie **kyslíka** na akceptor CO₂ - **RuBP**
- Meraná hodnota spotreby CO₂ u C3 rastlín = CO₂ spotrebované pri karboxylácii mínus CO₂ vyprodukované v procese fotorespirácie, preto ak:

karboxylácia - spotreba CO ₂	10
fotorespirácia - produkcia CO ₂	2
čistá fotosyntéza (čistý úbytok CO ₂)	8

B. C4 cesta (Hatch-Slackov cyklus)

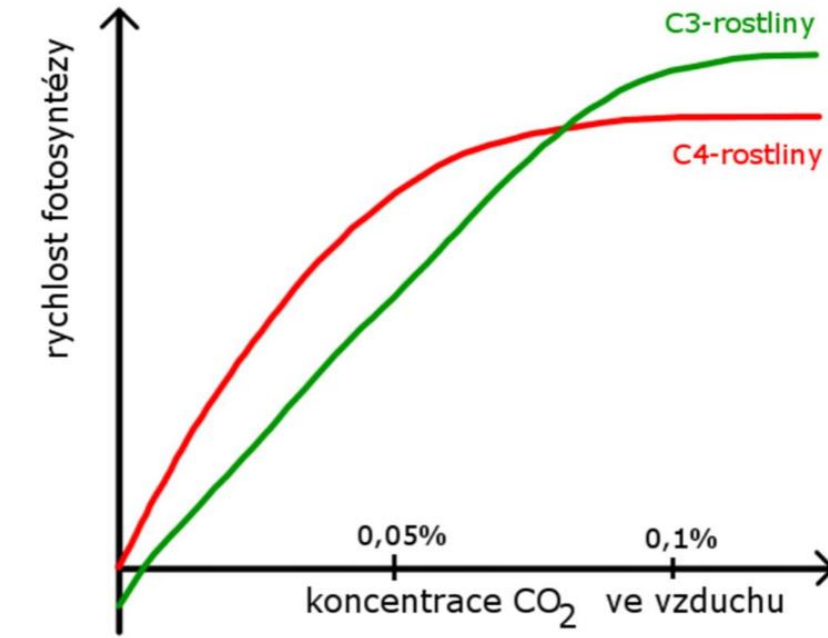
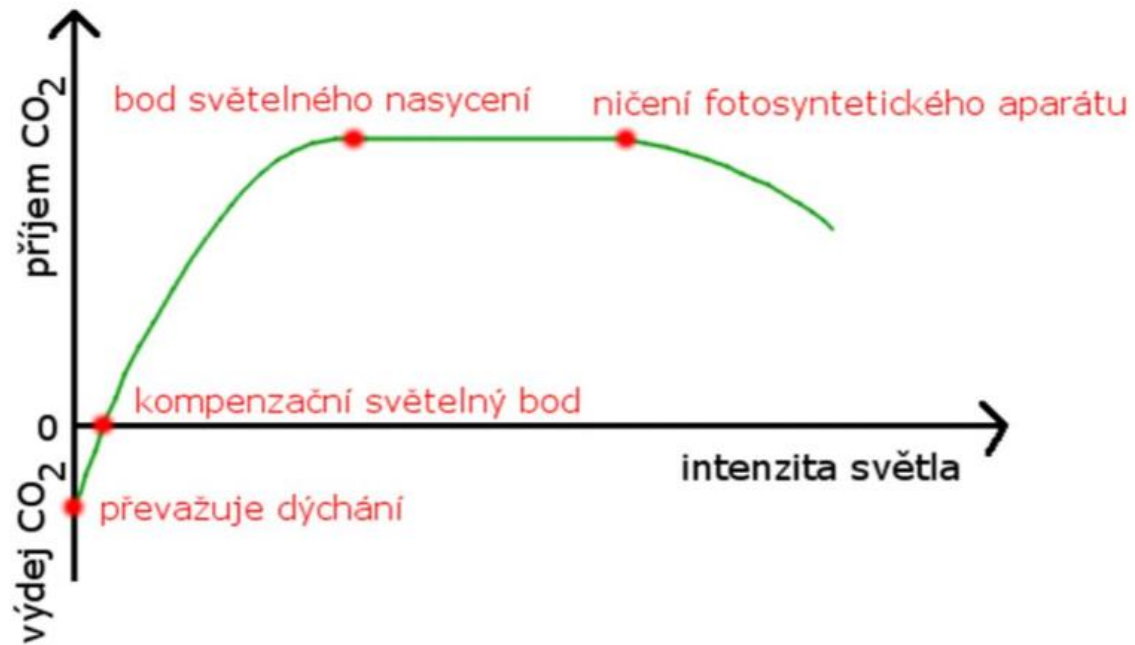
- prvým produktom fixácie nie je PGA s tromi atómami uhlíka, ale **OAA** so štyrmi atómami uhlíka – preto C4
- Z OAA vzniknutý **malát** resp. **asparát** nie je ďalej spracovávaný v mezofyle, ale je transportovaný do chloroplastov v bunkách pošiev cievnych zväzkov. Tu sa štiepia a uvoľnené CO_2 je zachytávané a vstupuje do Calvinovho cyklu.
- Výhody:
- C4 rastliny dokážu viazať CO_2 aj pri veľmi nízkej koncentrácii,
- CO_2 uvoľnený pri fotorespirácii je opäť zachytený a spracovaný, tj. fungujú hospodárnejšie.

C. CAM cesta

- Je modifikácia C4 cesty pre rastliny rastúce v podmienkach extrémneho sucha
- **Len tu sa viaže CO_2 v noci, cez deň sa prieduchy zatvárajú**, malát je hromadený vo vakuole
- Cez deň prebieha Calvinov cyklus

OAA = kyselina oxaloctová; malát = kyselina jablčná; asparát = kys. asparágová

Závislost rychlosti asimilácie uhlíka od intenzity žiarenia a koncentrácie CO_2



Výskum zvýšenej koncentrácie CO₂ na dreviny

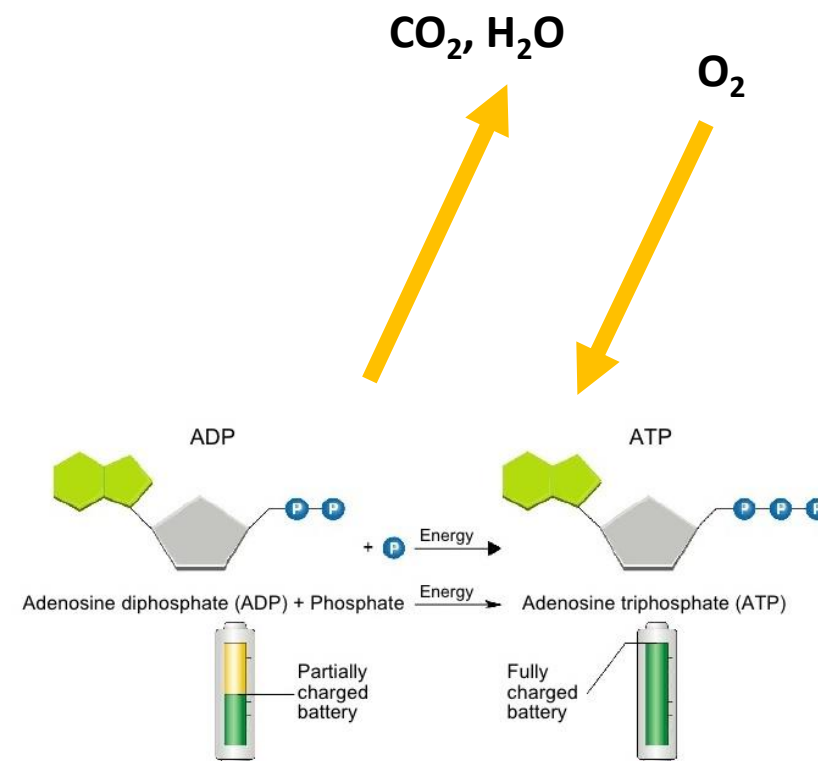
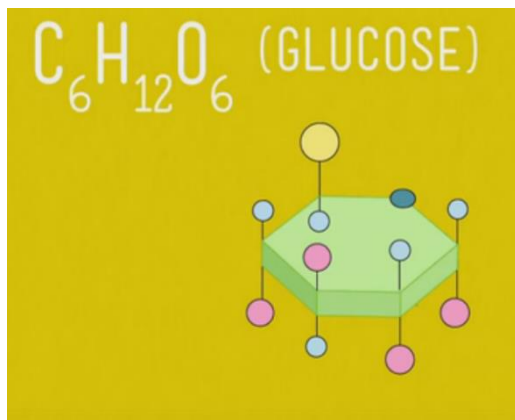


Chemosyntéza

- Taktiež autotrofný spôsob výživy (vid' str. 89):
- Oxidácia rôznych látok, napr.: nitrifikačné, vodíkové, metánové, sírne, železité, mangánové baktérie



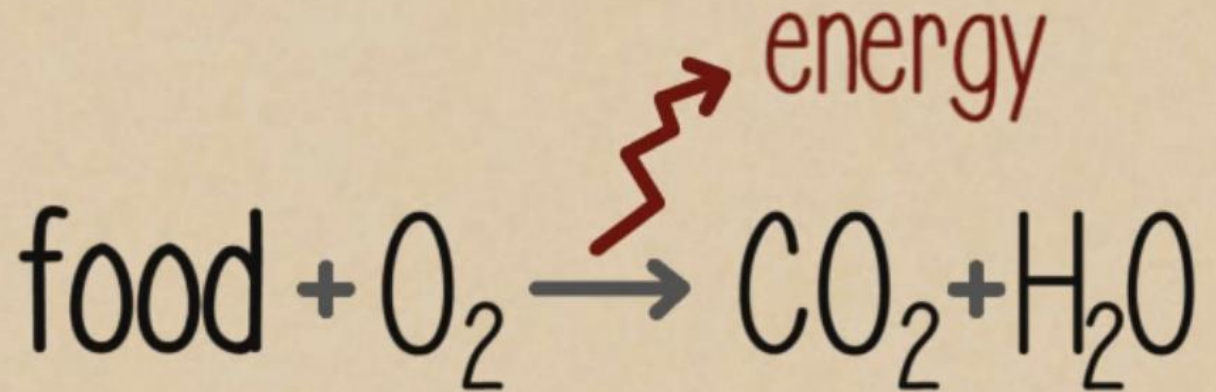
Dýchanie = bunková respirácia



udržiavacie (denné)
rastové (nočné)



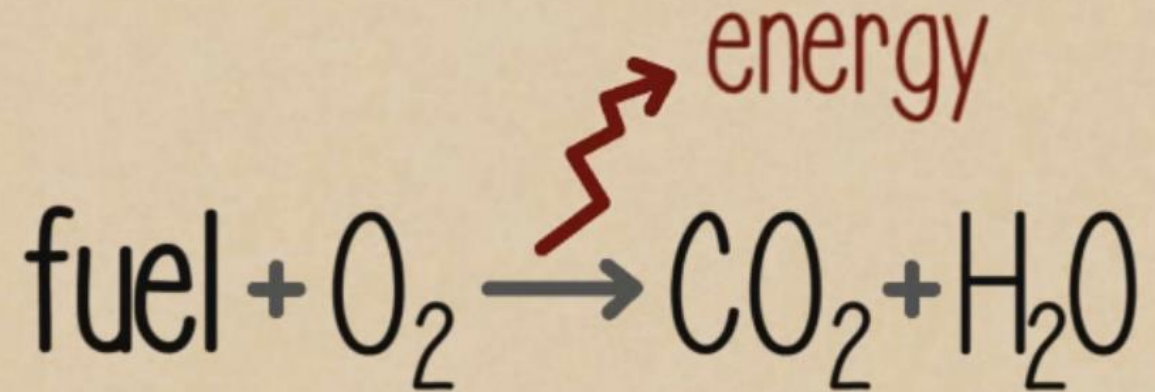
RESPIRATION



enzymes

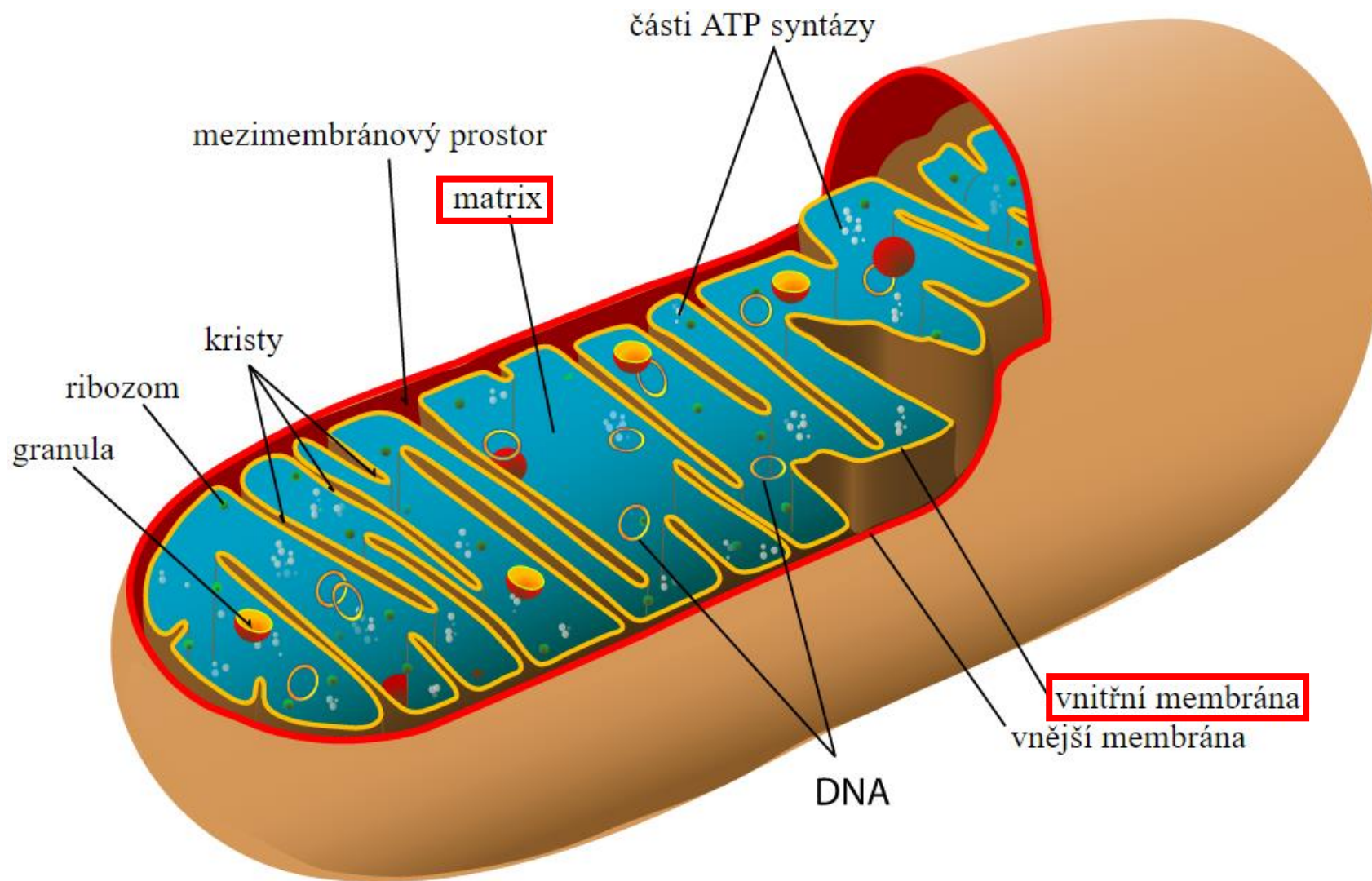


COMBUSTION



~~catalyst~~

Stavba mitochondrie

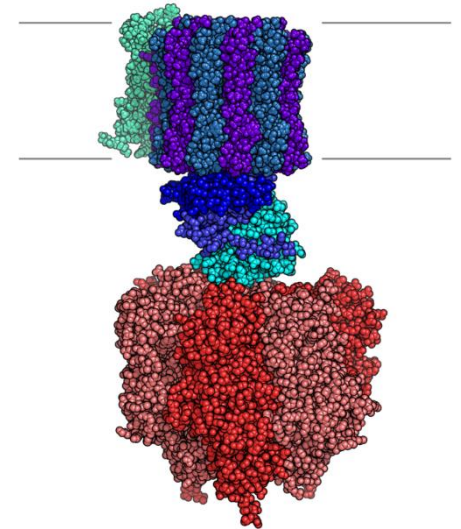
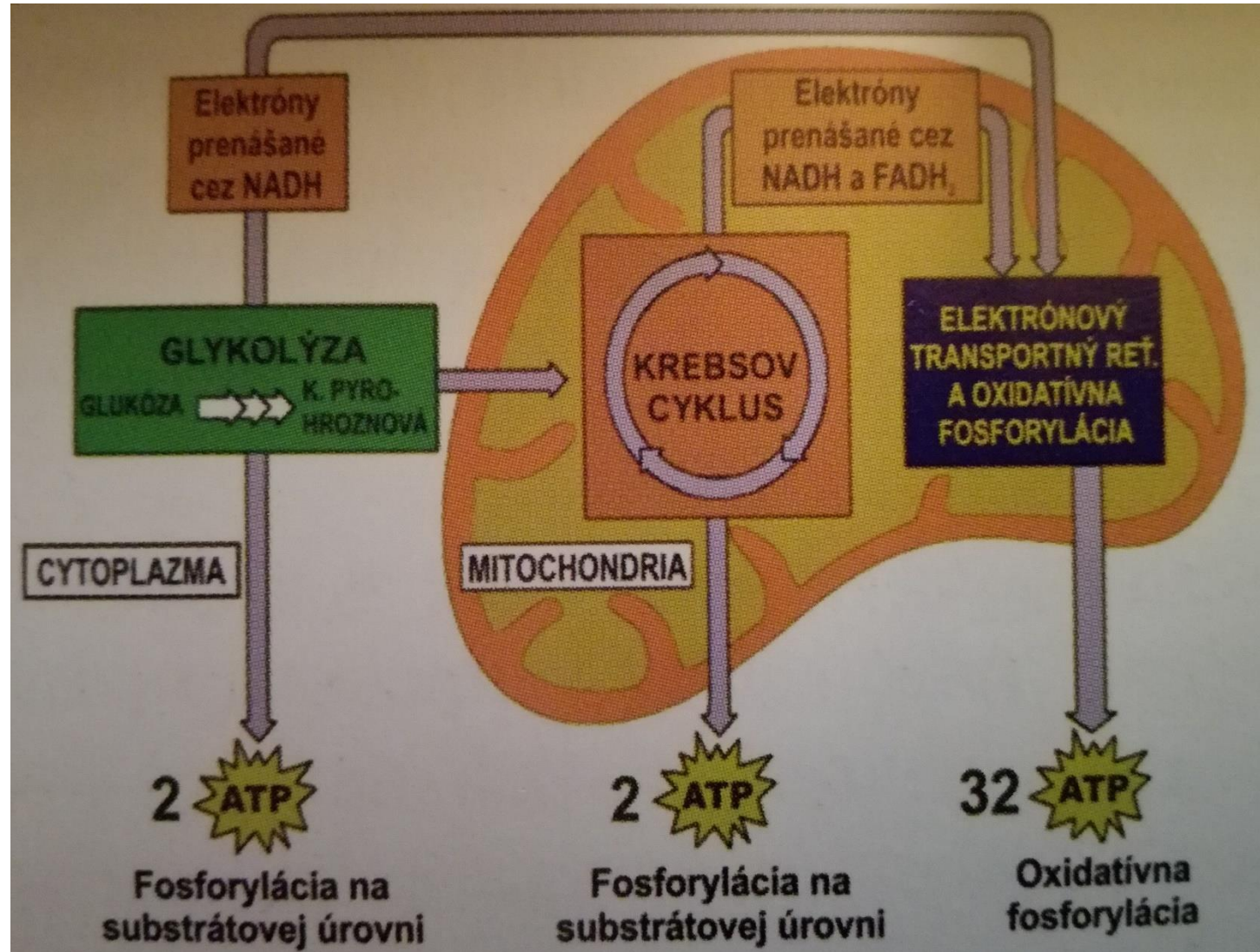


Vznik ATP počas dýchania (oxidačná fosforylácia)

Bunková respirácia zahŕňa procesy (fázy):

- **Glykolýza:** cytoplazma bunky; prebieha bez spotreby kyslíka, rozkladom glukózy vzniknú 2 molekuly **pyruvátu** (kyseliny pyrohroznovej), redukuje sa NAD^+ za vzniku **NADH**, vznikajú **2 molekuly ATP**
- **Rozklad pyruvátu:** tvorba **acetyl CoA** z pyruvátu, ten vstupuje do citrátového cyklu v mitochondrii
- **Krebsov (citrátový) cyklus:** matrix mitochondrie; vzniká **citrát** (kyselina citrónová); uvoľní sa **CO₂ a voda**, energia je viazaná v: **NADH a FADH**, ktoré nesú elektróny do tretieho kroku; vznikajú **2 molekuly ATP**
- **transport elektrónov:** transport vnútornou membránou v mitochondriách, spotrebuje sa O_2 , vzniká **voda** a **32 molekúl ATP** využívajúc pumpovanie protónov a ich následný presun cez ATP-syntázu (podobne ako pri fotofosforilácii v primárnej fáze fotosyntézy)
- CO_2 sa teda uvoľňuje v Krebsovom cykle a O_2 sa spotrebuje pri transporte elektrónov a vo výsledku vzniká $2+2+32$ molekúl ATP

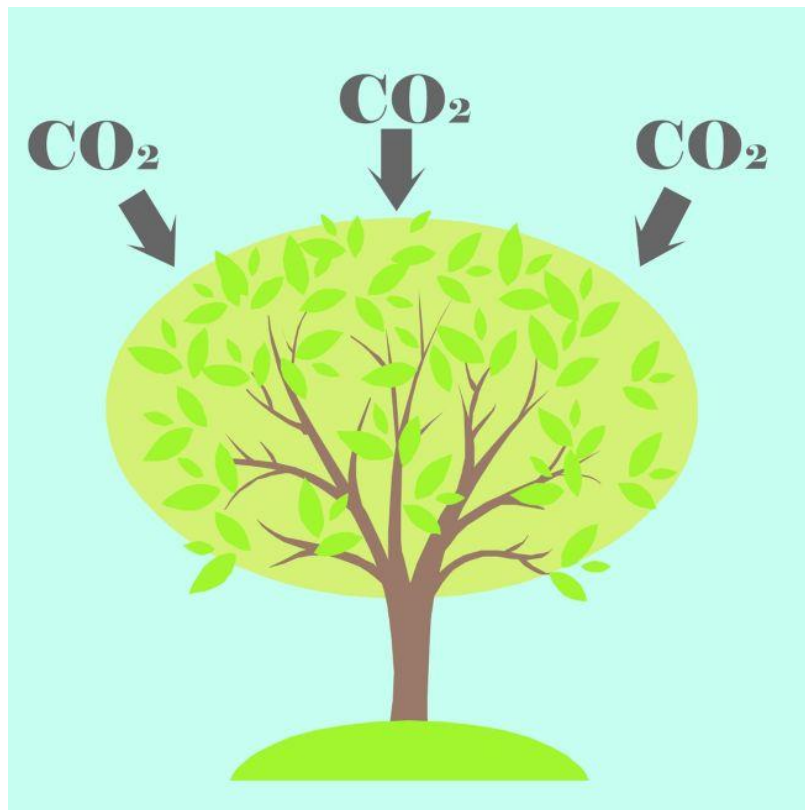
Schéma priebehu aeróbnej respirácie



Anaeróbne dýchanie (bez prístupu kyslíka)

- Tvorba malého množstva ATP bez prístupu vzduchu.
- Akceptorom elektrónov **nie je** kyslík ale napr. nitrátové alebo sulfátové ióny.
- Najčastejšie je však jedinou fázou AD glykolýza a následná regenerácia NAD^+ , vtedy hovoríme o **fermentácii**.
- Fermentáciou sa tvoria fermentačné produkty ako etanol, kyselina mliečna, maslová a pod., regeneruje NAD^+ , vzniká ATP

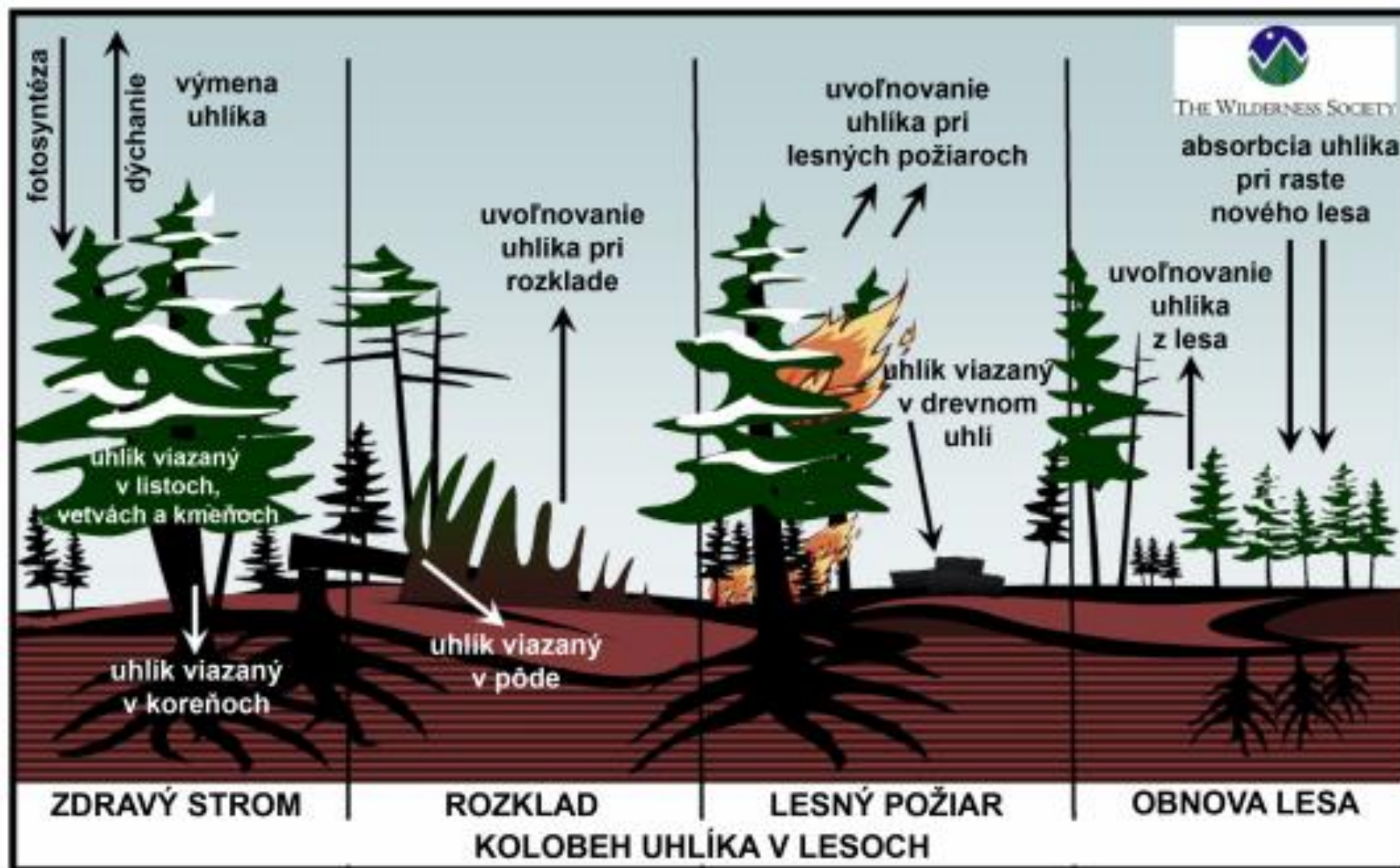
Čistý výnos fotosyntézy: $P_N = P_G - R_D - R_L$



?

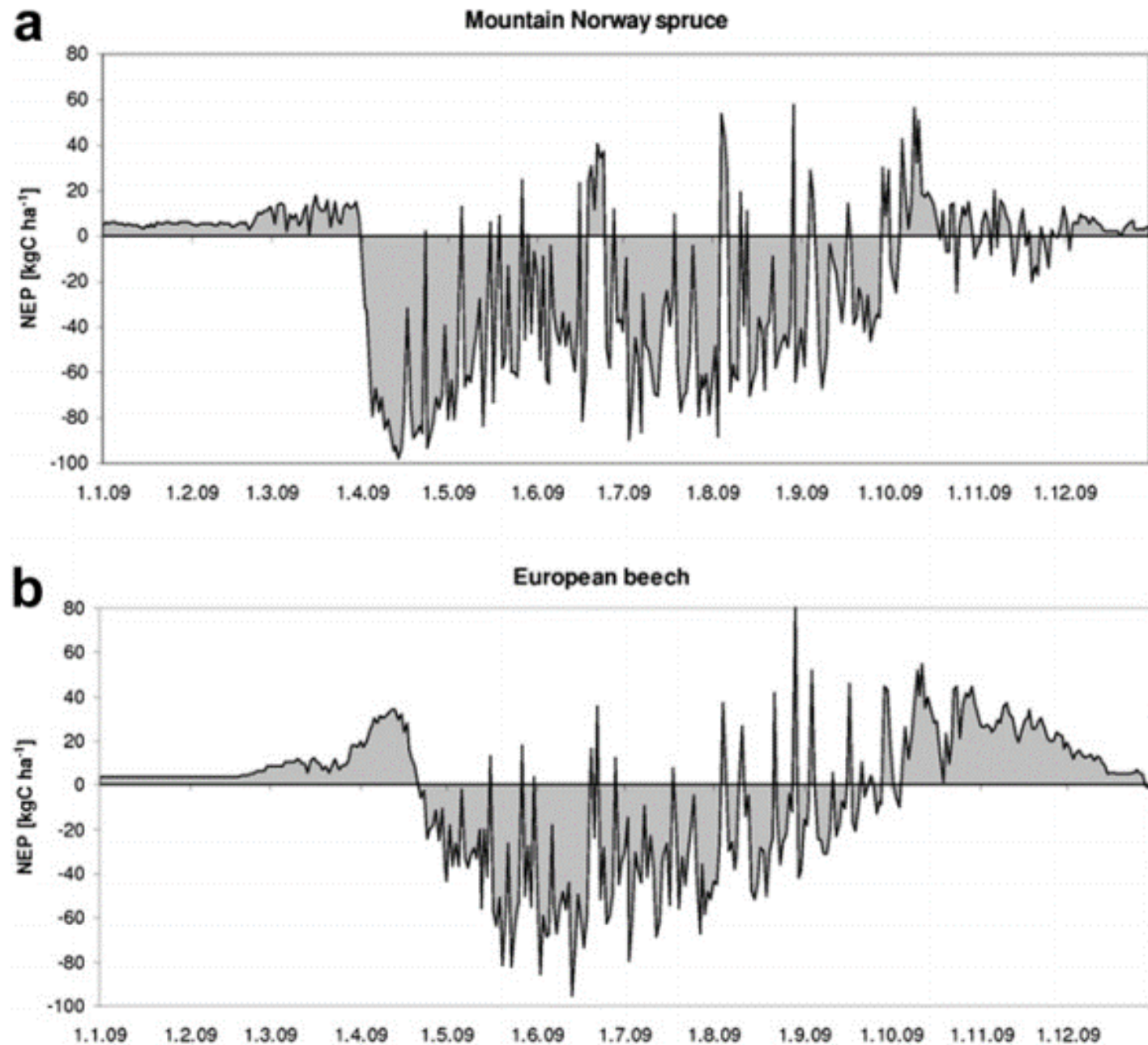
Súčasne s fotosyntetickou asimiláciou CO_2 prebiehajú procesy, pri ktorých sa CO_2 uvoľňuje: bunková respirácia (dýchanie, R_D) a fotorespirácia R_L .

Cyklus uhlíka v lesnom poraste

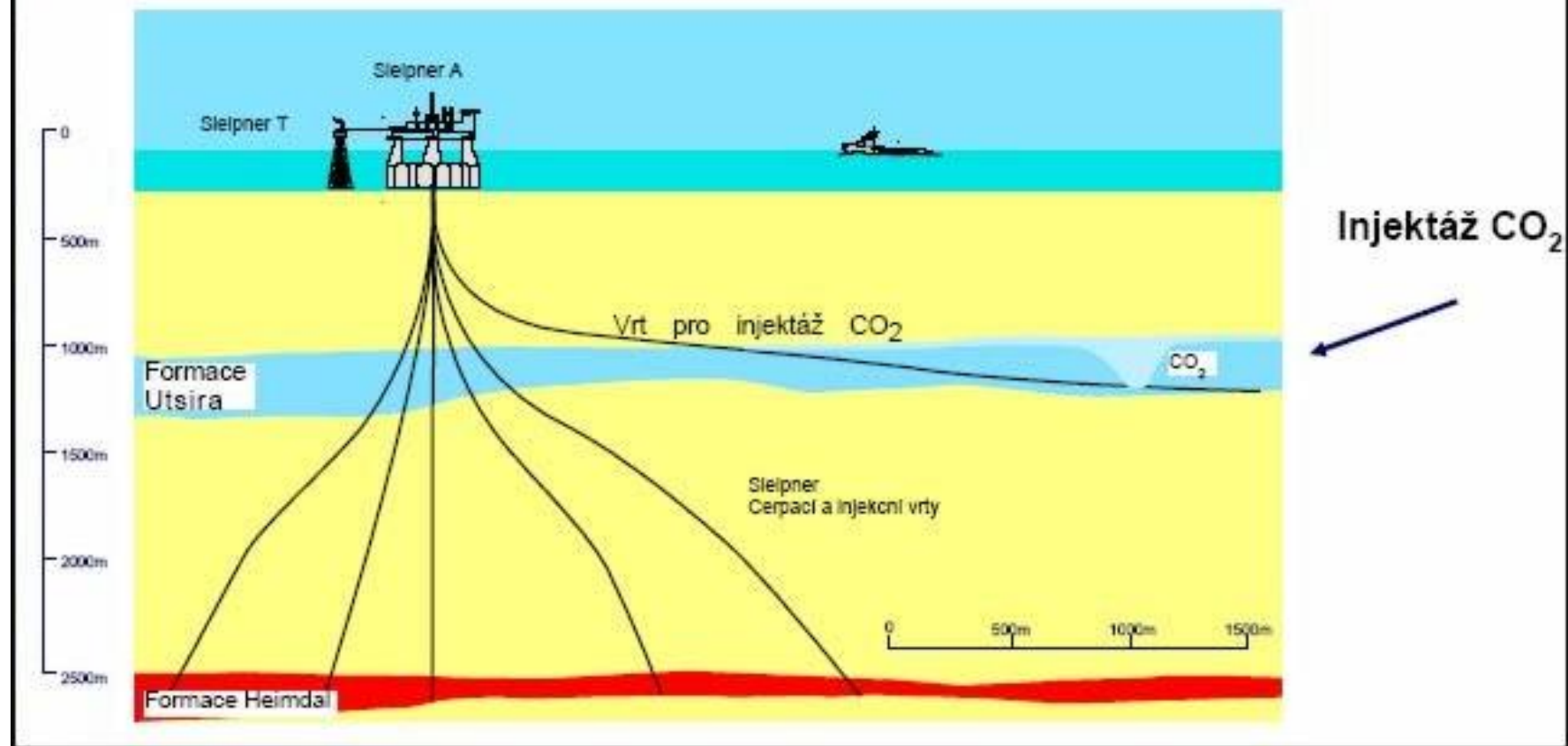


Porovnanie NEP smrekového a bukového lesa

Marek et al., Environmental
Pollution (2011)



Pilotní projekt ukládání CO₂ - Sleipner



Ukladanie CO₂ v spojitosti s ťažbou zemného plynu v Severnom mori. Ročne sa ukladá cca 1Mt CO₂ do hĺbky asi 1000 m pod morským dnom. Spoločnosť eliminuje poplatky za emisie CO₂.

ZVLÁŠTNE SPÔSOBY VÝŽIVY

- Štandardným typom výživy rastlín je AUTOTROFIA (fotoautotrofia, chemoautotrofia).
- Existujú však aj viaceré formy HETEROTROFIE
- **Saprofytizmus:** saprofyti získavajú uhlík, energiu a prípadne ďalšie živiny rozkladom odumretých tel
- **Parazitizmus:** paraziti čerpajú organické látky, energiu, živiny a niekedy aj rastové látky z tel živých organizmov (**ektoparaziti, endoparaziti**)
- Medzi našimi vyššími rastlinami je úplných parazitov (**holoparazitov**) málo
- **Mixotrofná výživa:** Predstavuje prechodnú formu výživy medzi výživou
- autotrofnou a heterotrofnou: **mäsožravé rastliny a symbiotický vzťah**

Imelo biele (*Viscum album*)



Mucholapka podivná



Huba podpňovka (*Armillaria* sp., *Armillaria ostoyae*)

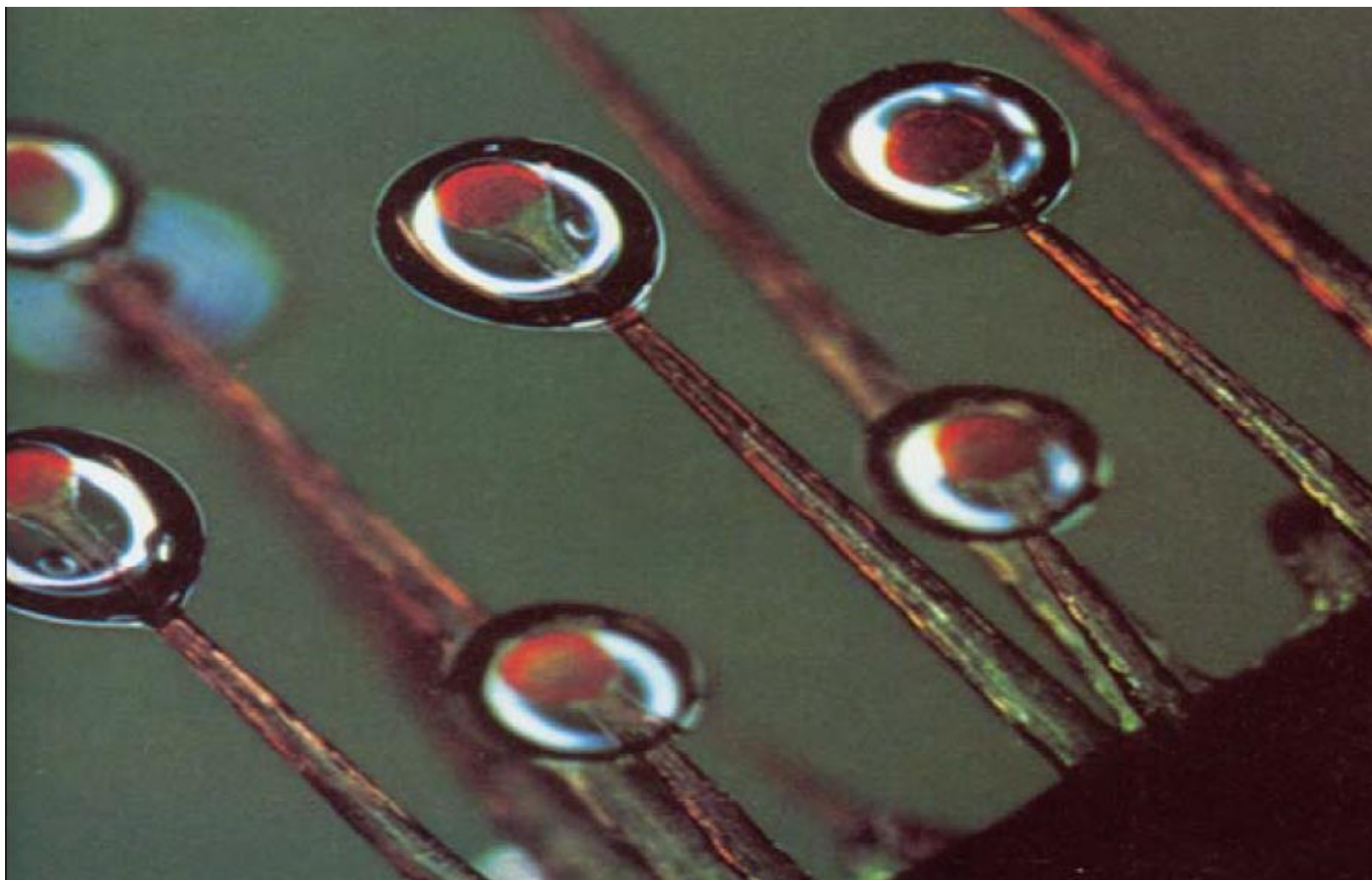


hnedá hniloba spôsobená hubou *Fistulina hepatica*





tykadlovité výčnelky (tentakuly) rosičky (*Drosera*)

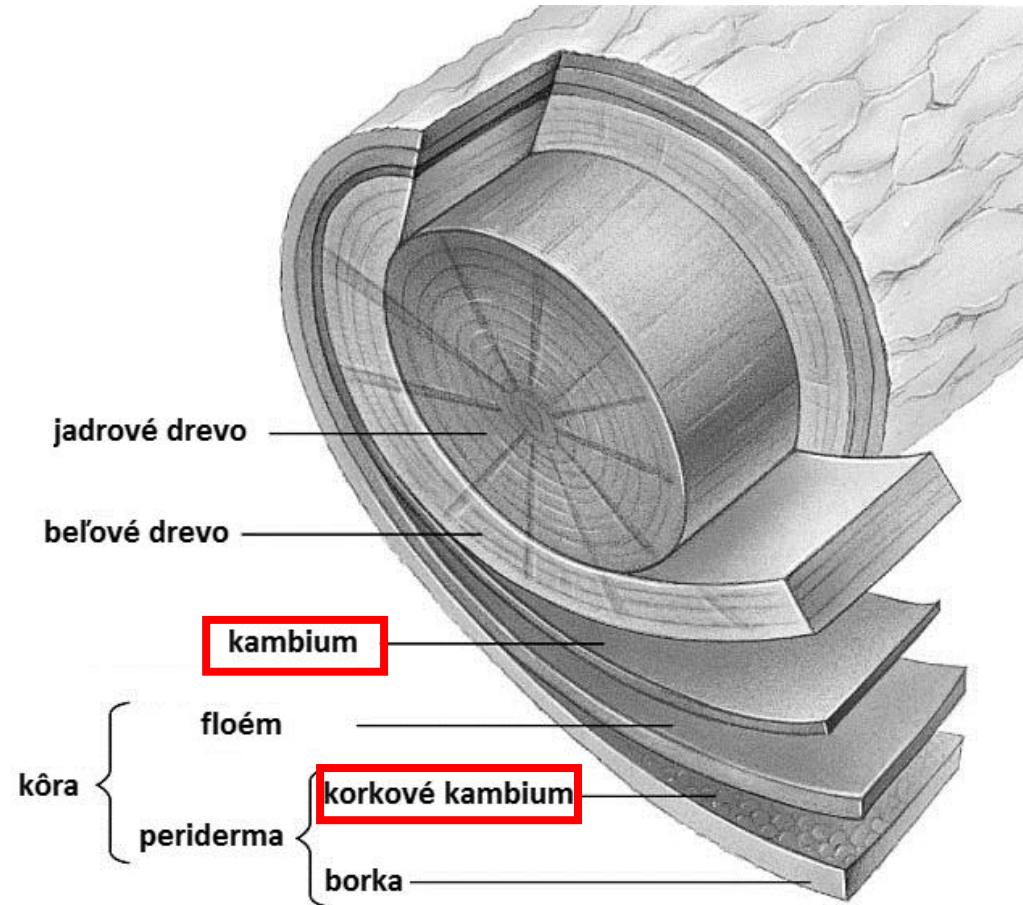


bromélia (*Neoregelia species*) komensalizmus



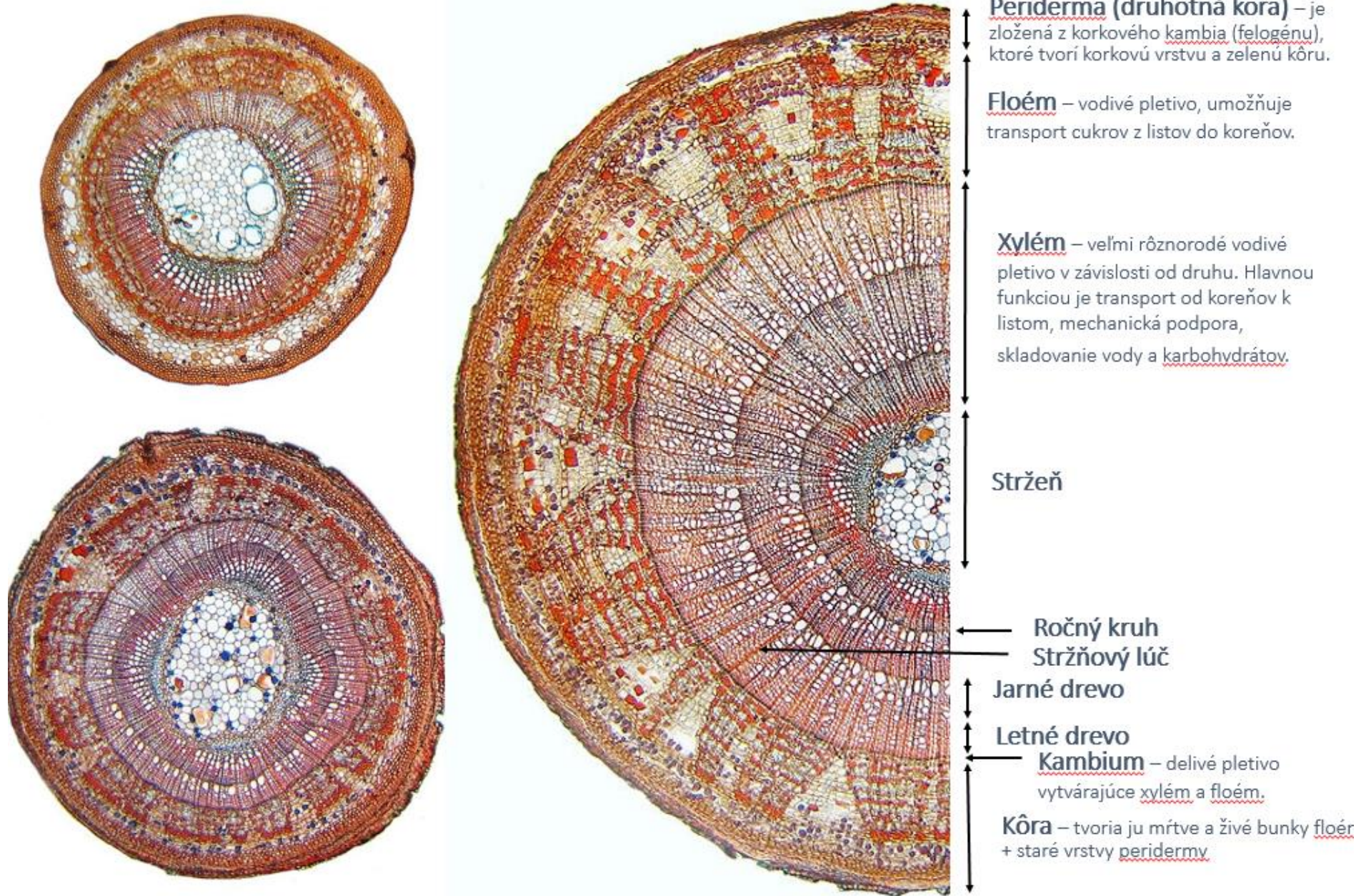
DRUHOTNÝ RAST

Druhotný rast zabezpečujú meristematické/delivé pletivá: **kambium** a **felogén** (= korkové kambium)



Kambium tvorí drevo a lyko (= xylém a floém), felogén tvorí korkovú vrstvu príp. aj zelenú kôru

Lipa (*Tilia*): priečný rez kmienkom o veku 1, 2 a 3 roky



Najdôležitejšie skupiny hormónov resp. hormóny, ktoré majú v rastline funkciu stimulačnú (S) alebo inhibičnú (I):

Názov	Hlavná funkcia
Auxíny (S)	• stimuluje predlžovací rast a apikálnu dominanciu rastového vrchola prostredníctvom indukcie produkcie etylénu inhibuje rast postranných pupeňov • stimuluje bunkové delenie kambia
Cytokiníny (S)	• stimulujú vývoj bočných pupeňov a modifikujú apikálnu dominanciu stonky • spomaľujú starnutie listov
Giberelíny (S)	• stimulujú rast stonky – čím viac, tým dlhšie stonky • exogénnou aplikáciou giberelínov možno nahradiť pôsobenie chladu na semená, stimulácia kvitnutia
Brasinosteroidy (S)	• stimulujú delenie buniek a ich objemový rast • stimulujú klíčenie semien
Etylén (I)	• inhibujú rast a spôsobujú starnutie a opadávanie listov
ABA (kys. abscisová, I)	• inhibícia rastu • stresový hormón indukujúci zatváranie prieduchov, má schopnosť zastaviť vývinové procesy a vyvolať dormanciu

Ďakujem za pozornosť

