



Solu- ja molekyylibiologian perusteet

Fotosynteesi: Elämän ylläpitäminen

Fotosynteesi ylläpitää elämää planeetallamme

- Fotosynteesi on nimensä mukaisesti valoenergian käyttämistä molekyylin rakentamisessa, synteesissä.
- Se ei tuota energiaa vaan kerää sähkömagneettista säteilyä (suomeksi valoa), jonka energialla se ajaa läpi epäedullisia reaktioita.
- Fotosynteesin ohella toinen tapa tuottaa on biomolekyylejä on kemosynteesi (rikin avulla esim. hiilidioksidista sokeria).
- Foto- ja kemosynteesoivat organismit ovat autotrofeja eli omavaraisia
 - Tarvitsevat silti usein muita organismeja elämiseen
- Me muut olemme heterotrofeja
 - riippuvaisia joko suoraan tai välillisesti autotrofeista



Kasvit



Monisoluiset levät



Yksisoluiset eukaryootit

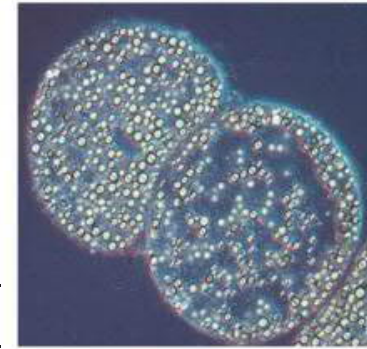
UEF // Universi

10 μm



Syanobakteerit

40 μm

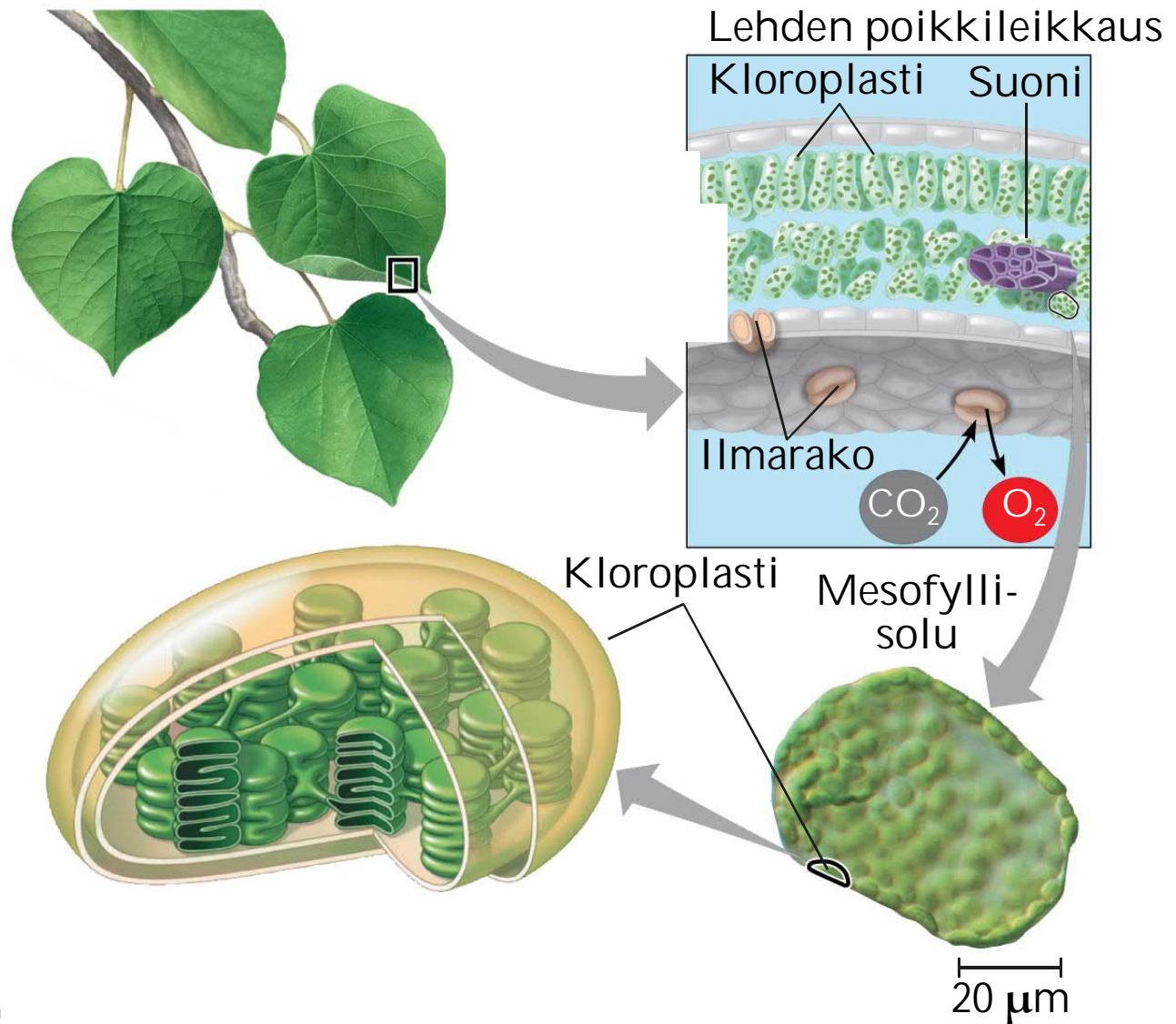


Purppurabakteerit

1 μm

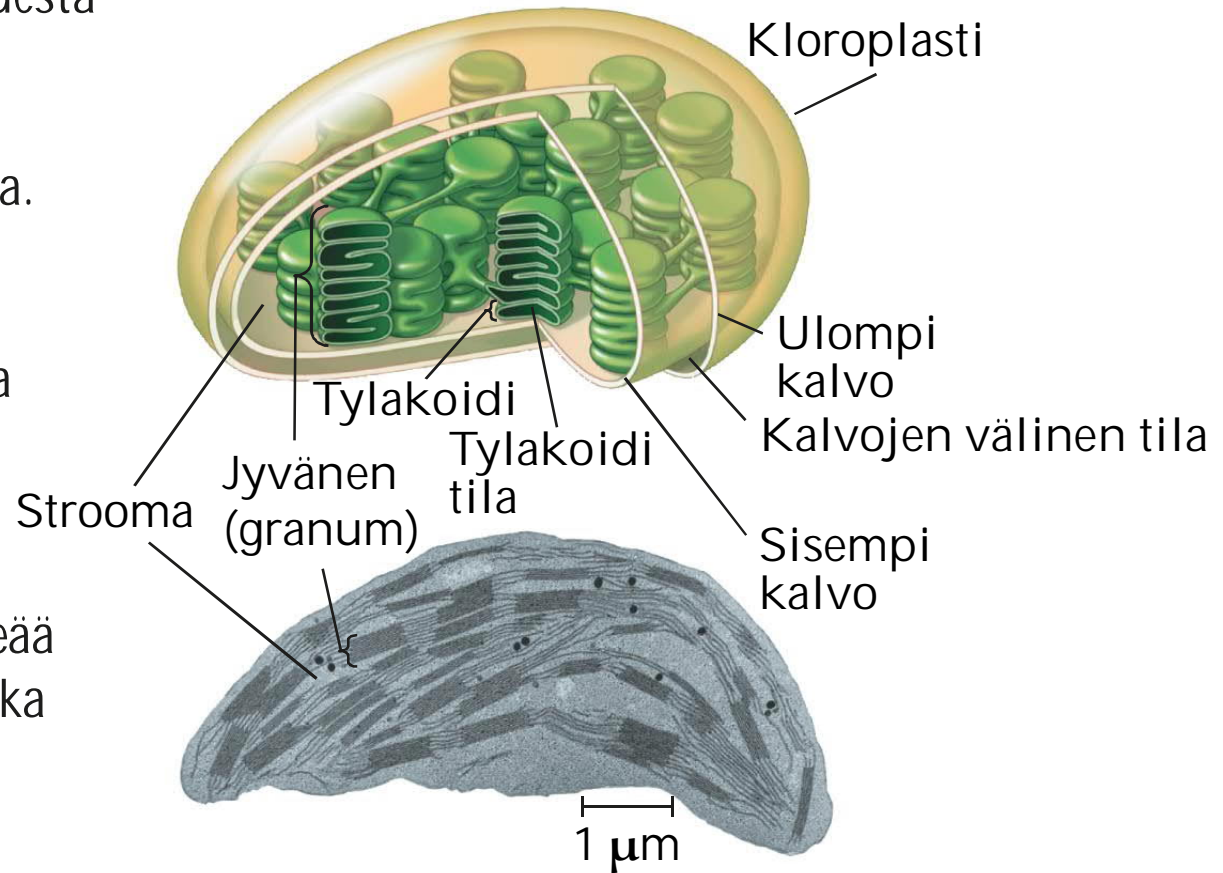
Kasvien tärkein fotosyntesoiva rakenne on lehti, jonka sisällä olevissa mesofyillisoluissa on viherhiukkasia (kloroplasteja).

Lehden pinnalla on ilmarakoja, joiden kautta hiilidioksidi ja happi pääsevät mesofyillisoluihin.



Kloroplasti koostuu kahdesta sisäkkäisestä biologisesta kalvosta, joiden sisällä on kloroplastilima eli strooma. Strooman sisällä on poimuttunutta tylakoidikalvostoa, joka muodostaa kolmannen sisäkkäisen biologisen kalvon.

Tylakoidikalvolla on vihreää klorofylli-molekyylejä, joka kerää auringon valoa.



Fotosynteesin toiminta

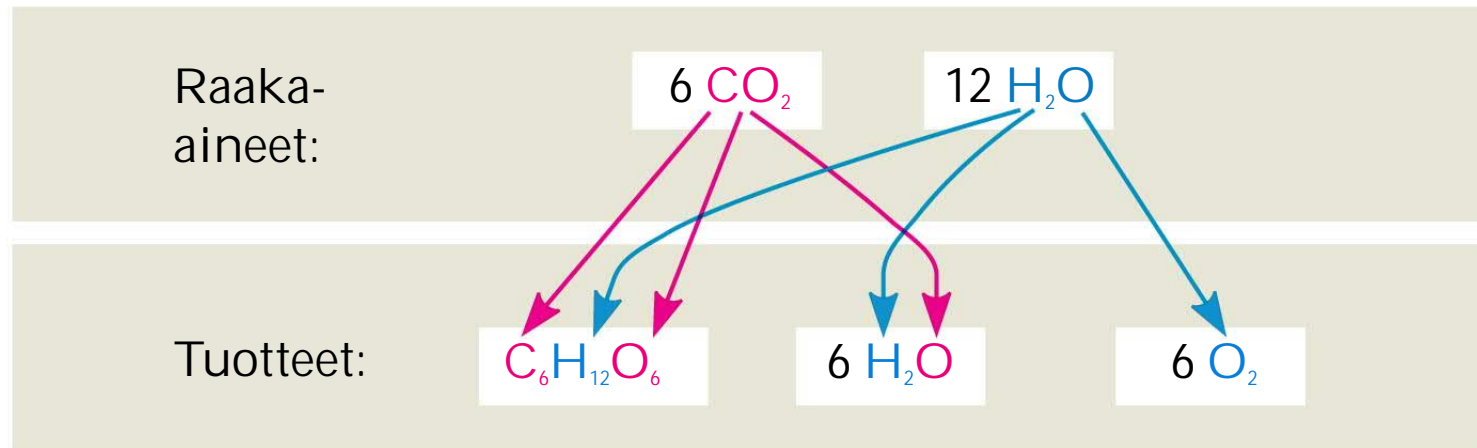
Fotosynteesi on sarja reaktioita, jotka tekevät hiilidioksidista ja vedestä sokeria.



- Reaktio on käänteinen katabolisille reaktiolle (erona energian muoto :valo vs. lämpö)

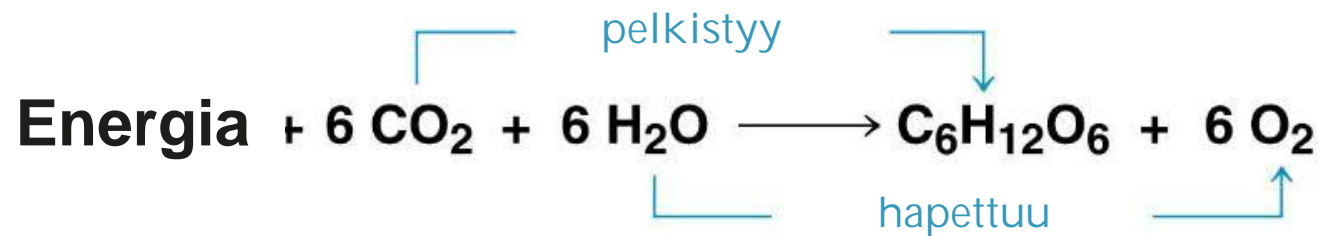


Fotosynteesi pilkkoo vettä



Vesi pilkotaan kloroplastissa vedyksi ja hapeksi, jolloin vetyjen elektroneja käytetään sokereiden rakentamiseen. Luonnollisesti reaktio ei ole spontaani.

Fotosynteesi on käänteinen redox-reaktio hengitykselle



Fotosynteesissä happi hapettuu eli se menettää elektronitiheyttä (happimolekyylin molemmat hapet vetävät elektroneja yhtä voimakkaasti)

Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi





Solu- ja molekyylibiologian perusteet

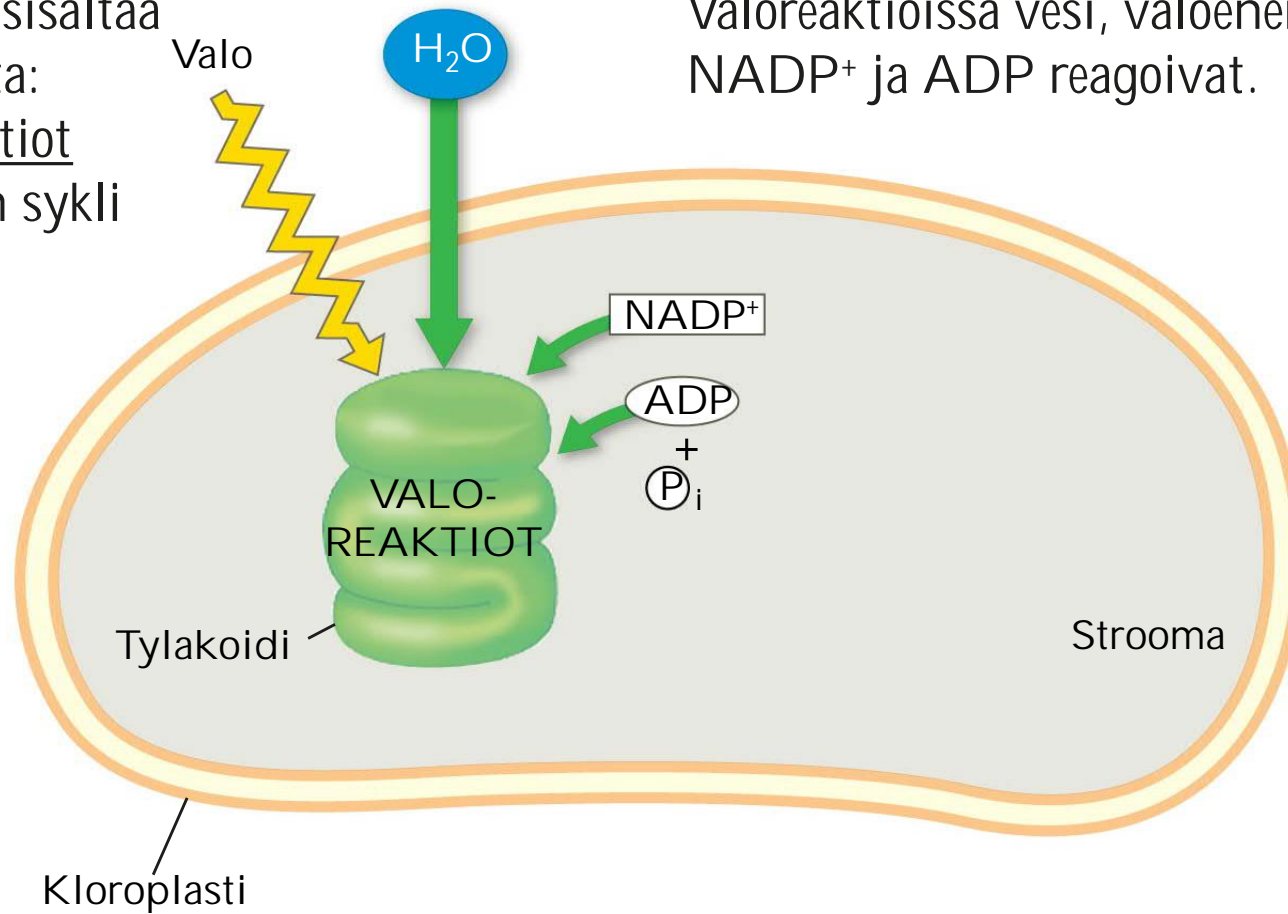
Fotosynteesi:

Perusmekanismi ja valoenergian sieppaaminen

Fotosynteesi sisältää kaksi reaktiota:

1. Valoreaktiot
2. Calvinin sykli

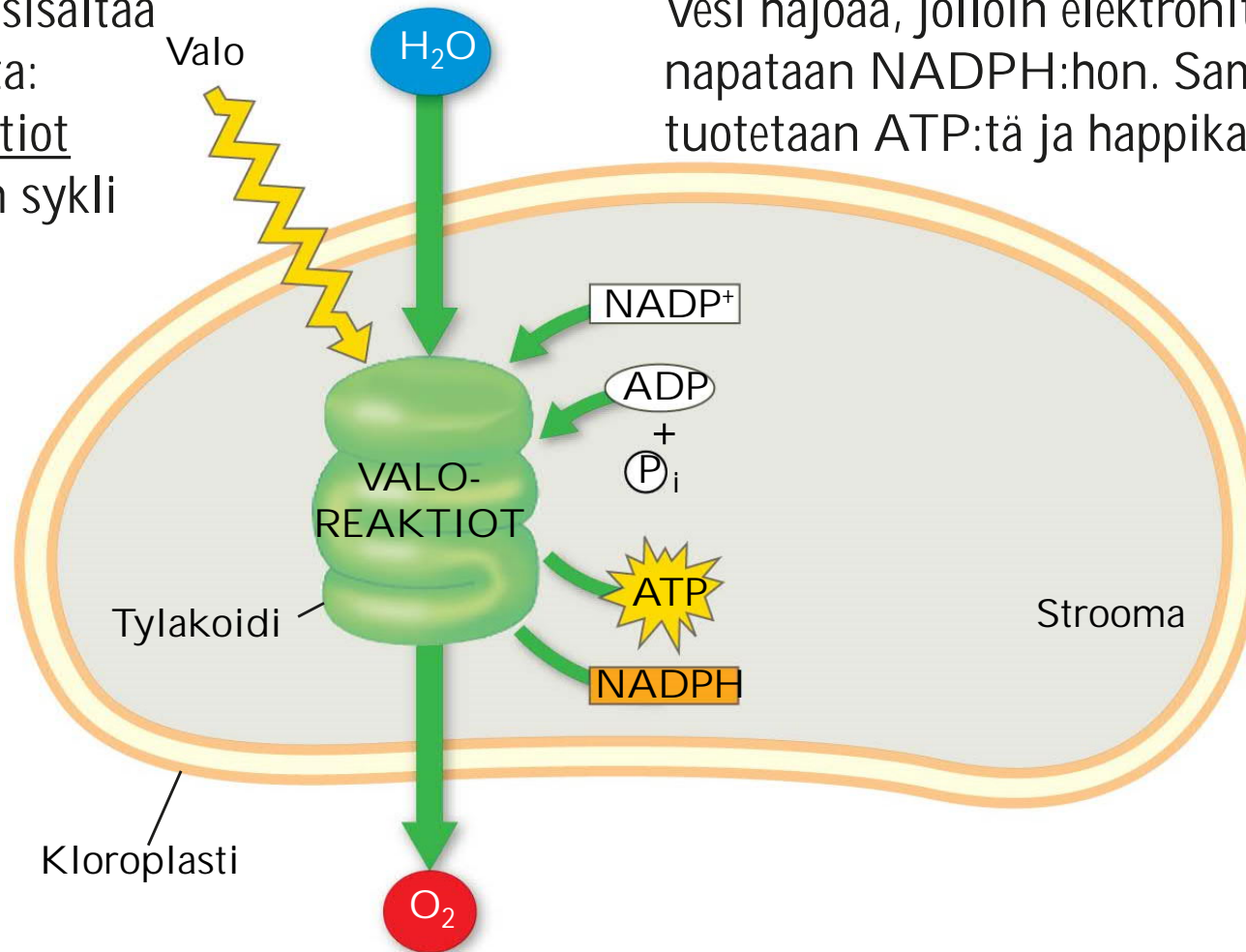
Valoreaktioissa vesi, valoenergia, NADP^+ ja ADP reagoivat.



Fotosynteesi sisältää kaksi reaktiota:

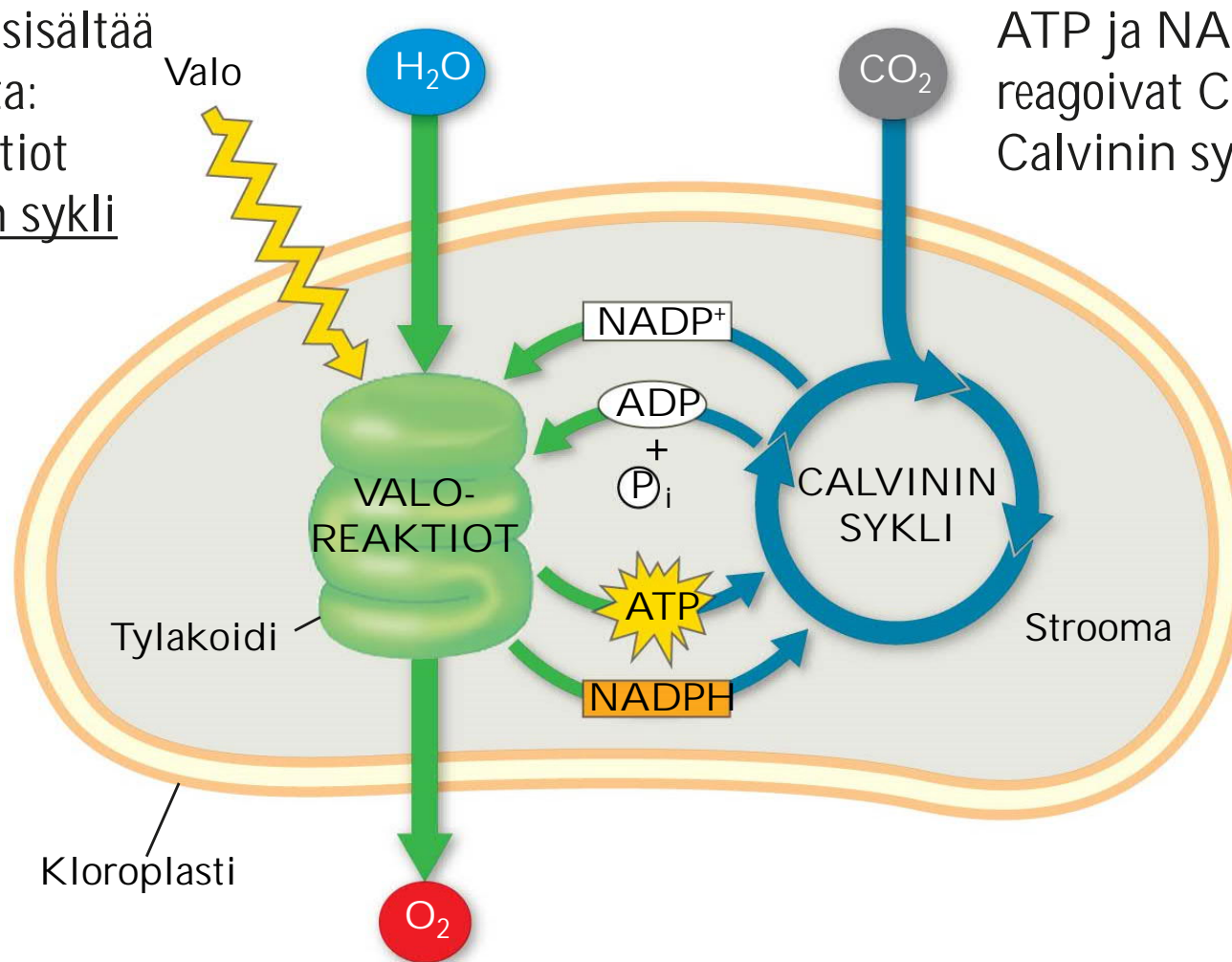
1. Valoreaktiot
2. Calvinin sykli

Vesi hajoaa, jolloin elektronit ja protonit napataan NADPH:hon. Samalla tuotetaan ATP:tä ja happikaasua.



Fotosynteesi sisältää kaksi reaktiota:

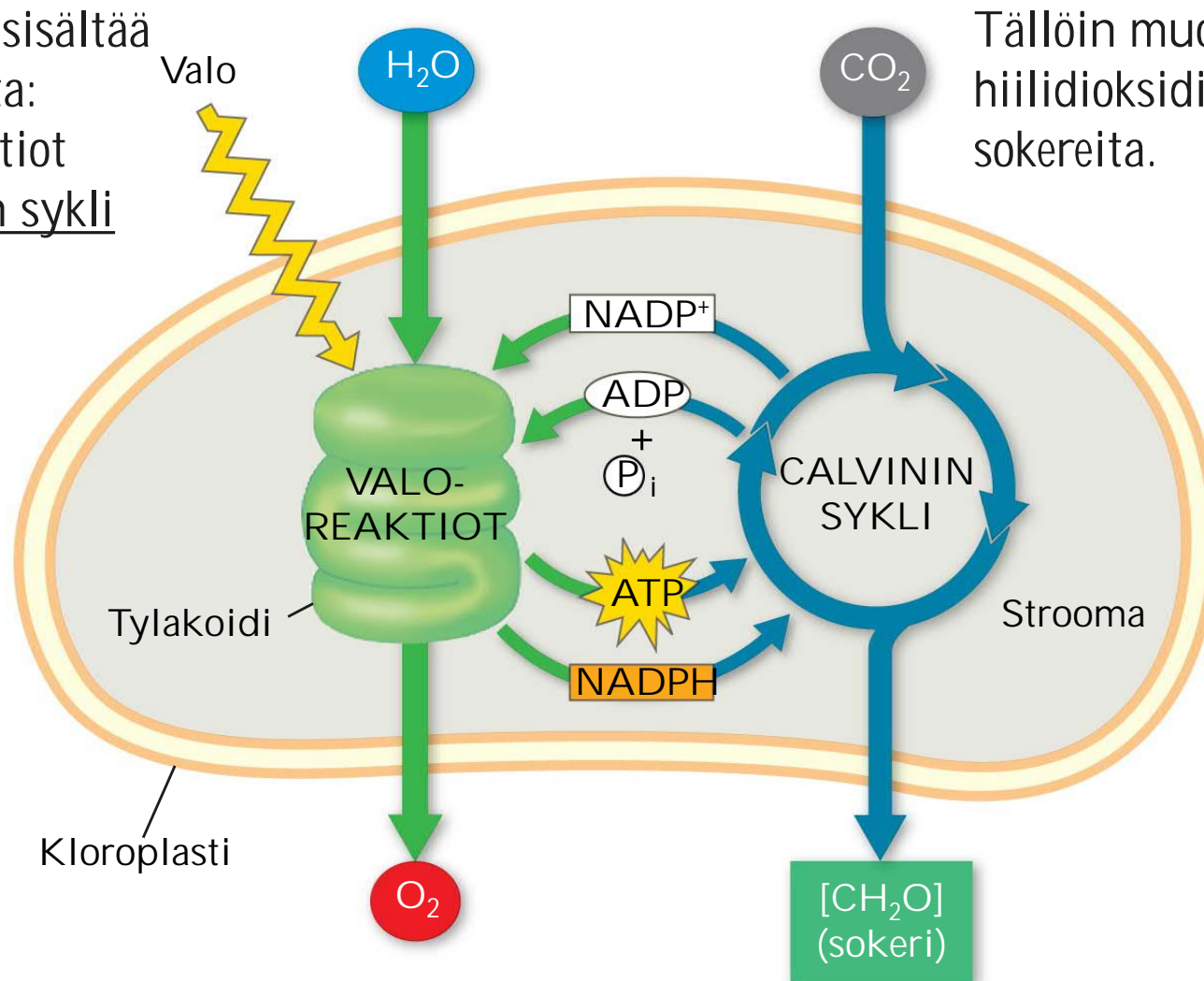
1. Valoreaktiot
2. Calvinin sykli



ATP ja NADPH reagoivat CO₂:n kanssa Calvinin syklissä.

Fotosynteesi sisältää kaksi reaktiota:

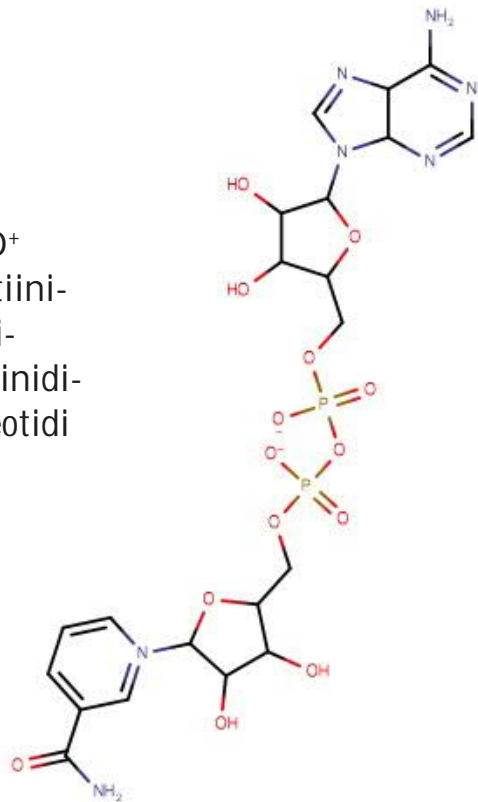
1. Valoreaktiot
2. Calvinin sykli



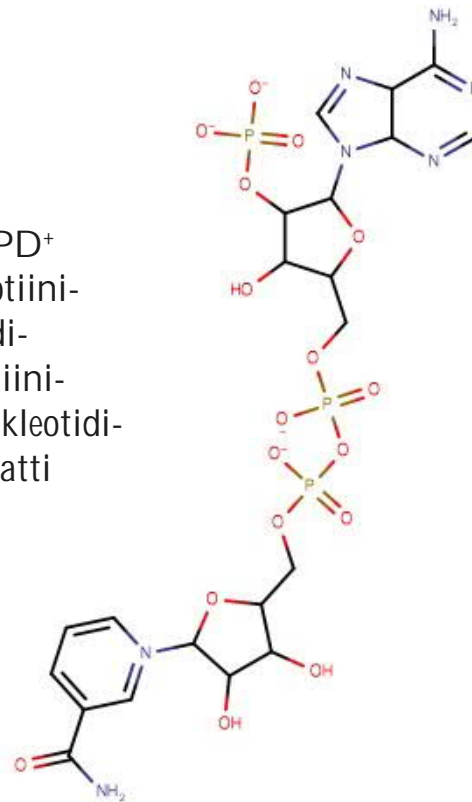
Tällöin muodostetaan hiilidioksidista sokereita.

Mikä ihmeen NADP?

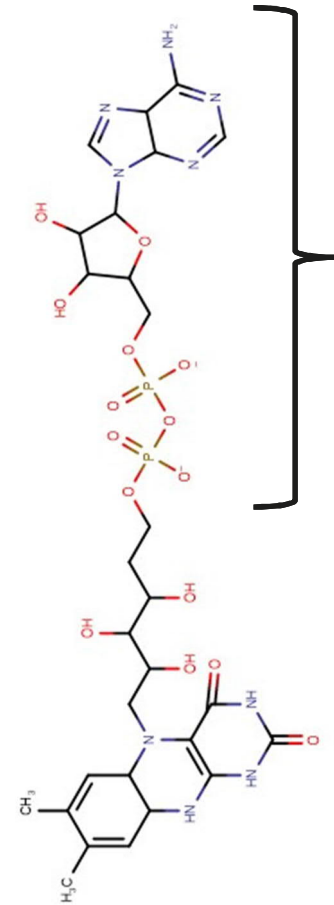
NAD⁺
Nikotiini-
amidi-
adeniinidi-
nukleotidi



NADP⁺
Nikotiini-
amidi-
adeniini-
dinukleotidi-
fosfaatti



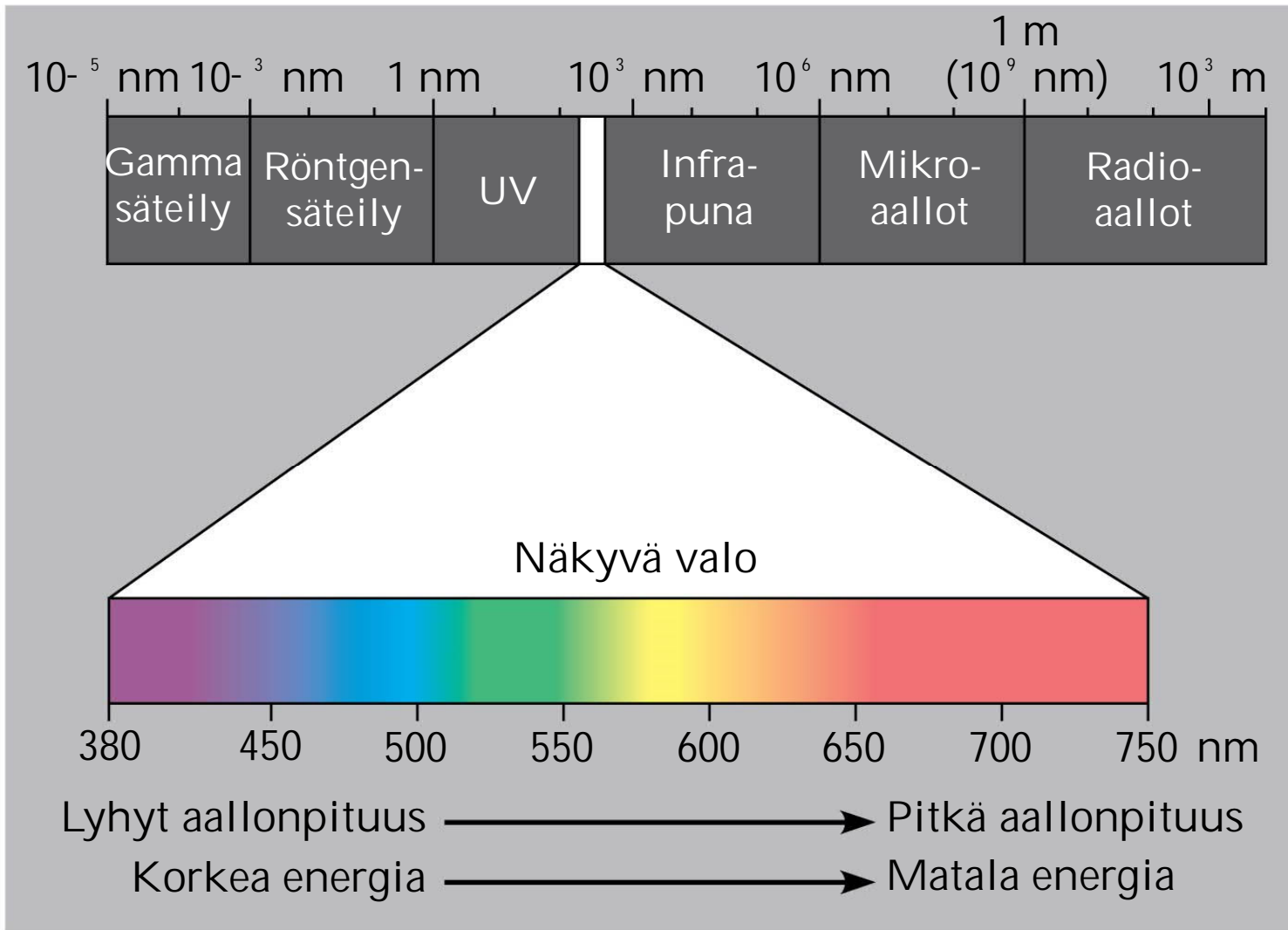
FAD⁺
Flaviini-
adeniinidi-
nukleotidi



Valoenergia

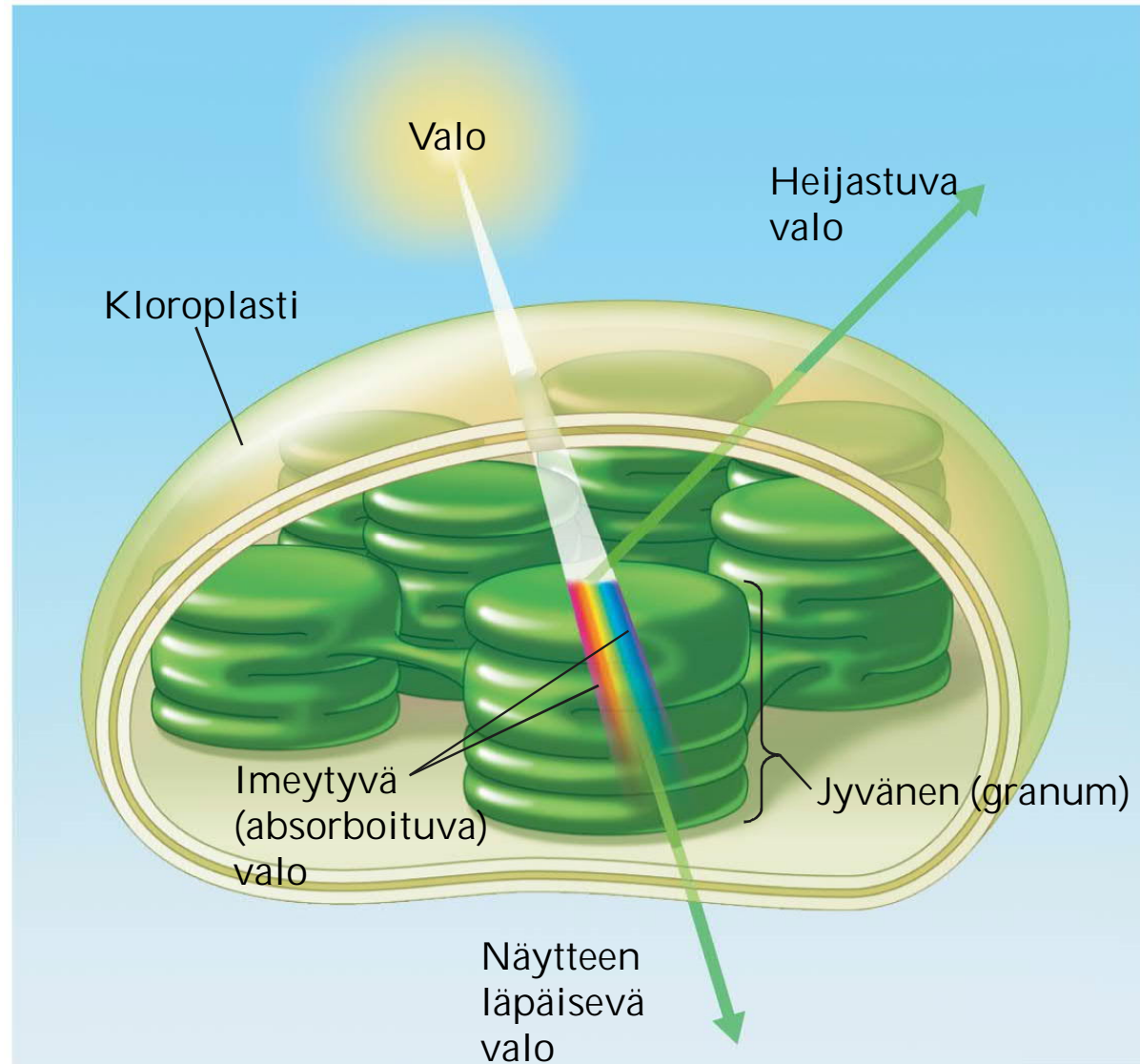
Valo on elektromagneettista säteilyä ja sillä on aaltoluonne.

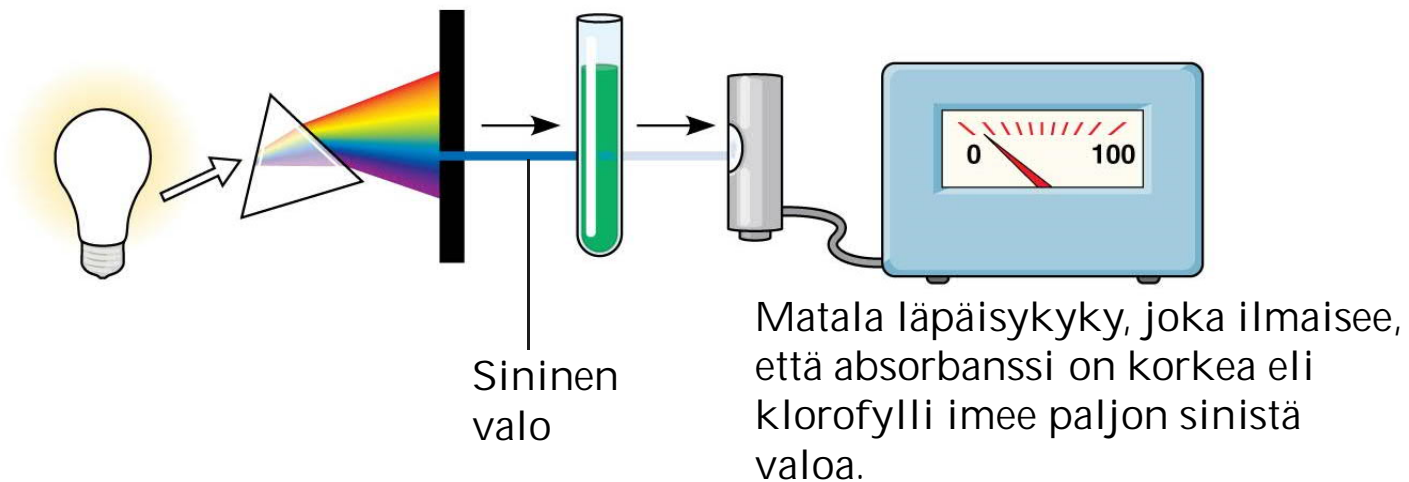
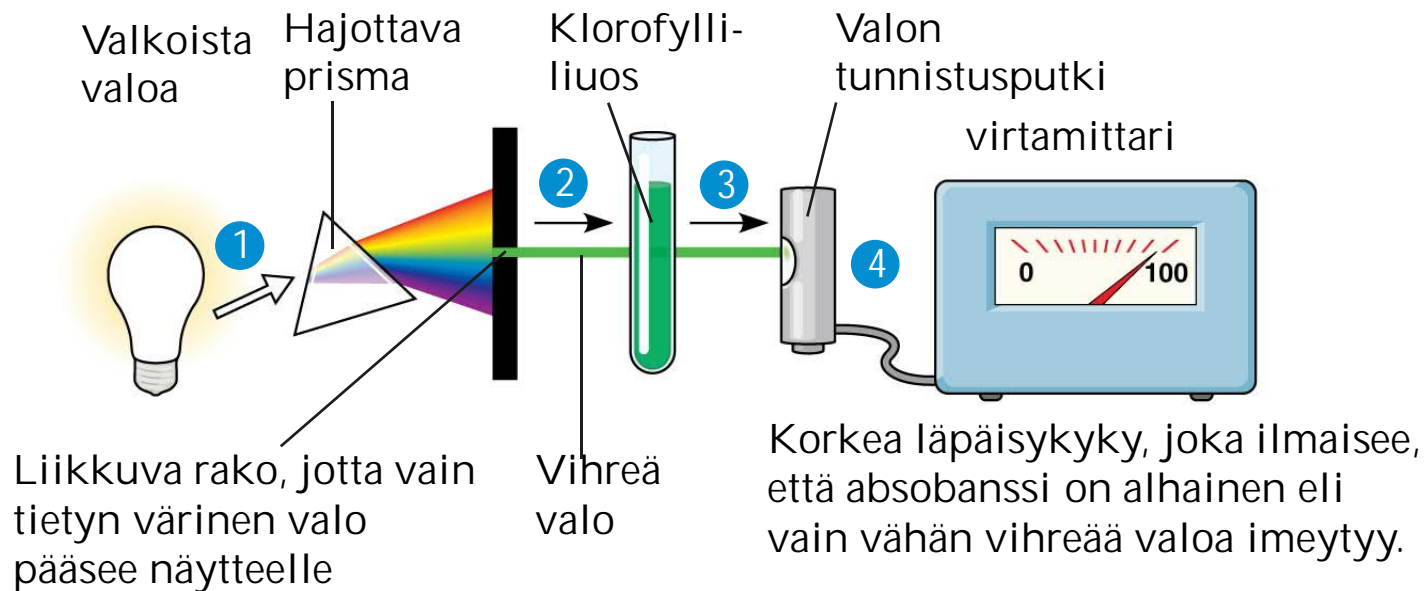
- Sähkömagneettista säteilyä mitataan aallonpituuden mukaan
- Mitä pitempi aallonpituus, sitä alhaisempi energia säteilyllä on
- Osa sähkömagneettisesta säteilystä on silmillemme havaittavaa, jolloin kutsumme spektrin eri aallonpituuksia väreiksi



Kloroplasti imee sähkömagneettisesta säteilystä vain tiettyjä aallonpituuksia (sinistä ja punaista).

Keltainen ja vihreä valo joko heijastuu tai kulkee kloroplastin läpi, jolloin lehdet näyttävät vihreiltä.

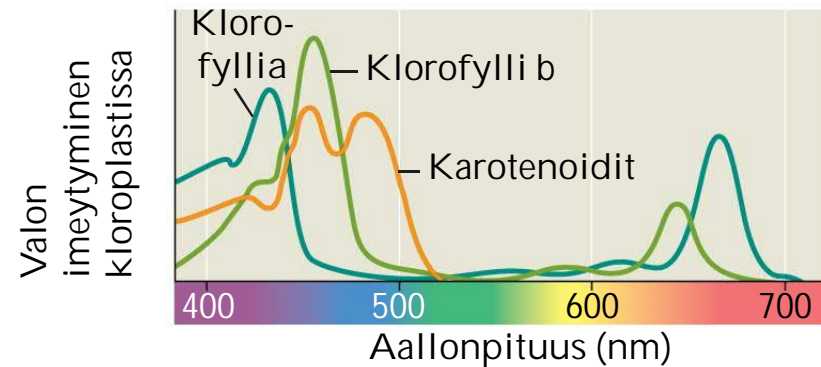




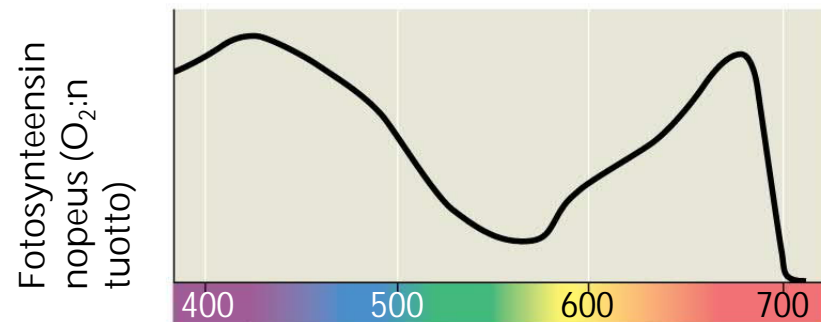
Absorptiospektri kuvaa aallonpituuksia, joiden valoa imevät molekyyleihin. Klorofyllit imevät sinistä ja punaista valoa. Sen sijaan karotenoidit imevät valoa 500 nm aallonpituudella (toimivat aurinkosuojina).

Toinen spektrityyppi on tehollinen spektri, jossa tarkastellaan kunkin aallonpituuden tehokkuutta fotosynteesireaktioissa.

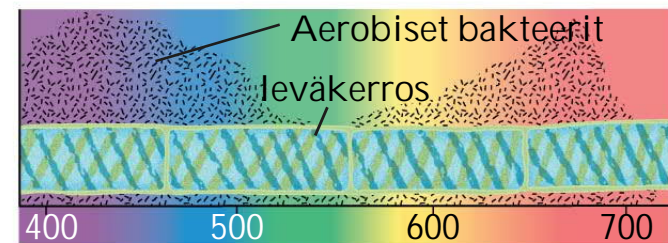
Tehollisen spektrin kehitti 1880-luvulla Theodor W. Engelmann kasvattamalla levää erilaisilla valon aallonpituuksilla. Levä vapautti yhteyttäessään happea, jolloin aerobiset bakteerit kasvoivat sitä paremmin, mitä paremmin valo toimii fotosynteesissä.



Absorptiospektri



(b) Tehollinen spektri



(c) Engelmannin koe

Klorofyllin rakenne

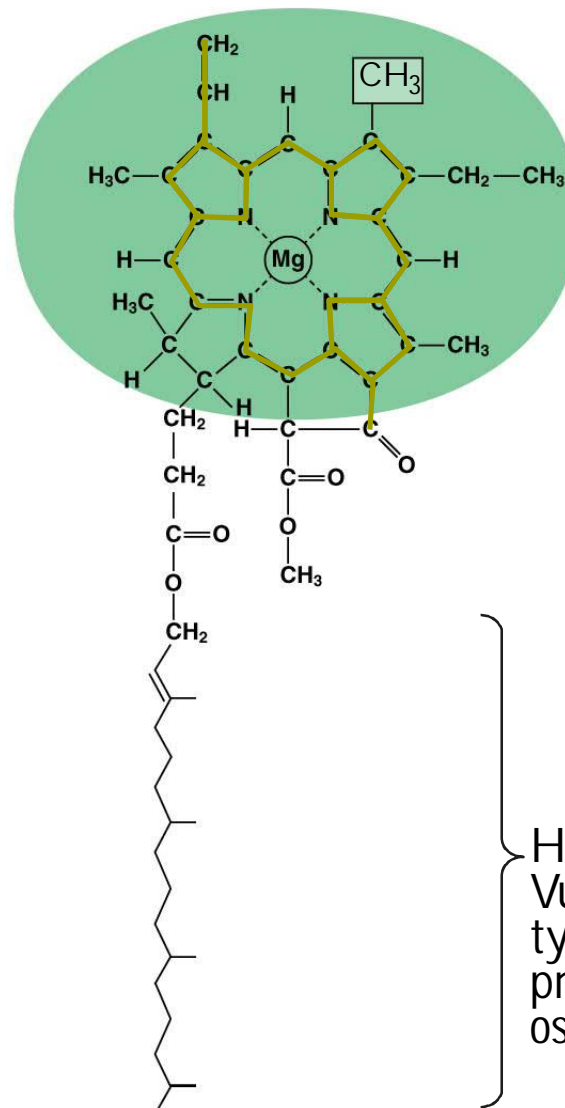
Kaksoissidokset:

Porfyysiinirengas koostuu kaksoissidoksista joka toisen atomin välillä.

Tällaisissa "konjugoiduissa" kaksois-sidoksissa on elektroneja erilaisilla molekyyli-orbitaaleilla. Elektronit virittyvät näkyvällä valolla helposti.

Koska klorofylli b:ssä on renkaaseen liittynyt aldehydi (C=O), on sillä yksi konjugoitunut kaksoissidos enemmän. Tämä aiheuttaa sille erilaisen herkeyden valon absorptiolle.

UEF // University of Eastern Finland



CH₃ klorofylli a:ssa
CHO klorofylli b:ssä

Porfyysiinirengas:
Valoa absorboiva
molekyylin pää.

Hiilivetyhämä:
Vuorovaikuttaa
tylakoidikalvon sisällä
proteiinien hydrofobisten
osien kanssa.

Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

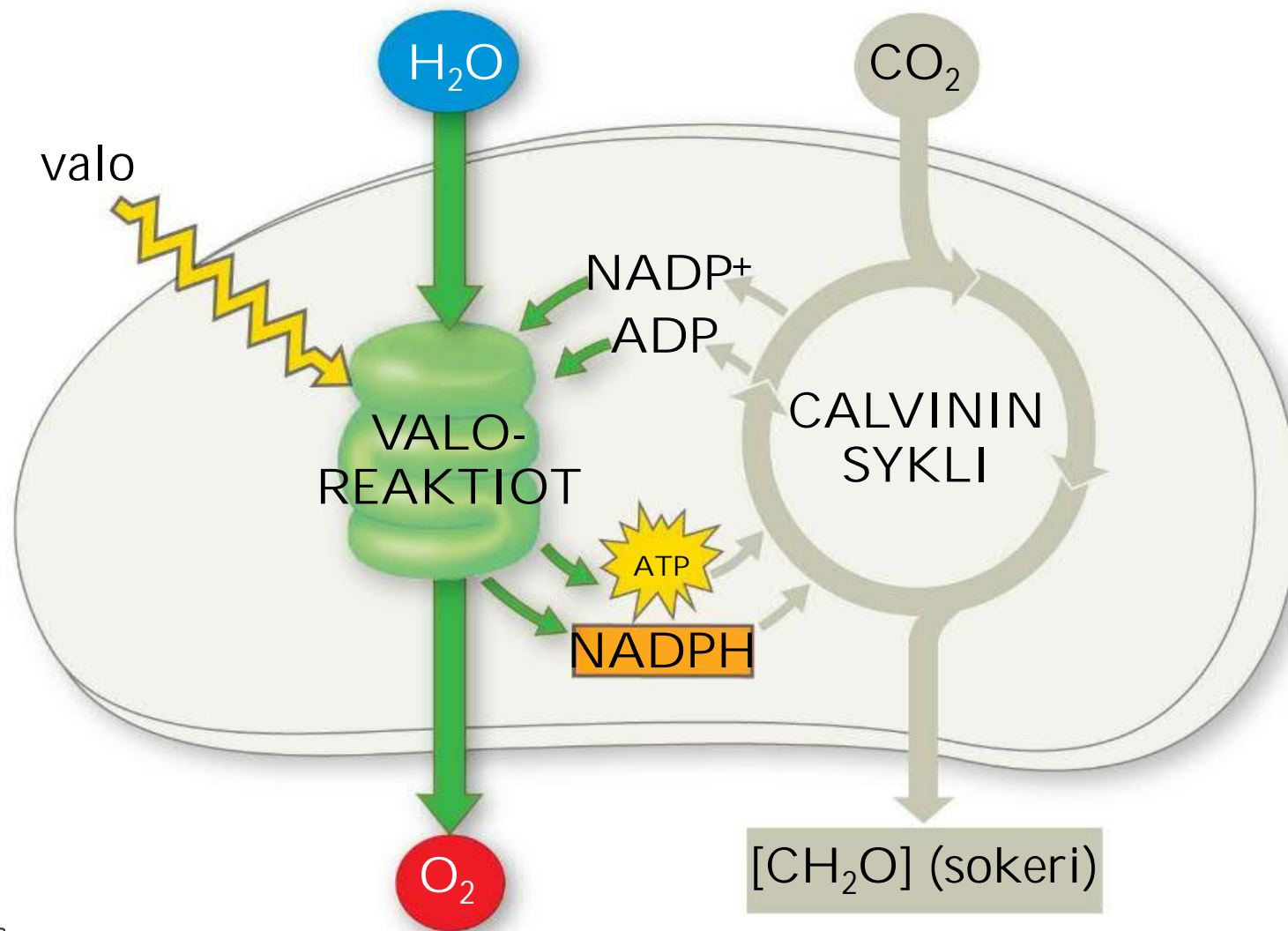
uef.fi





Solu- ja molekyylibiologian perusteet

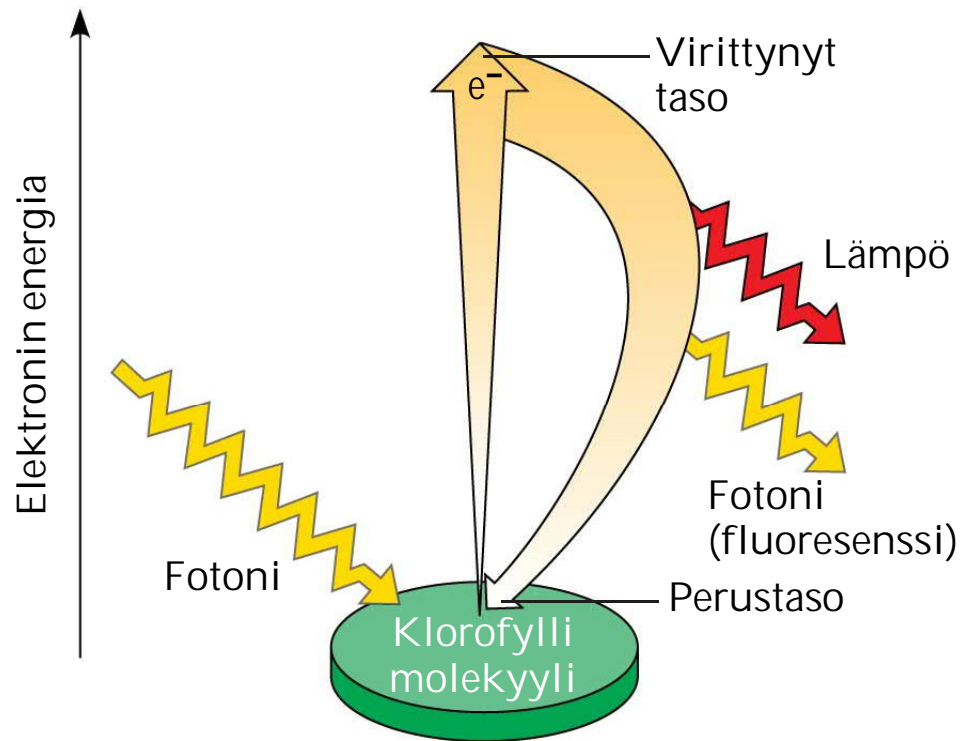
Fotosynteesi: Valoreaktiot



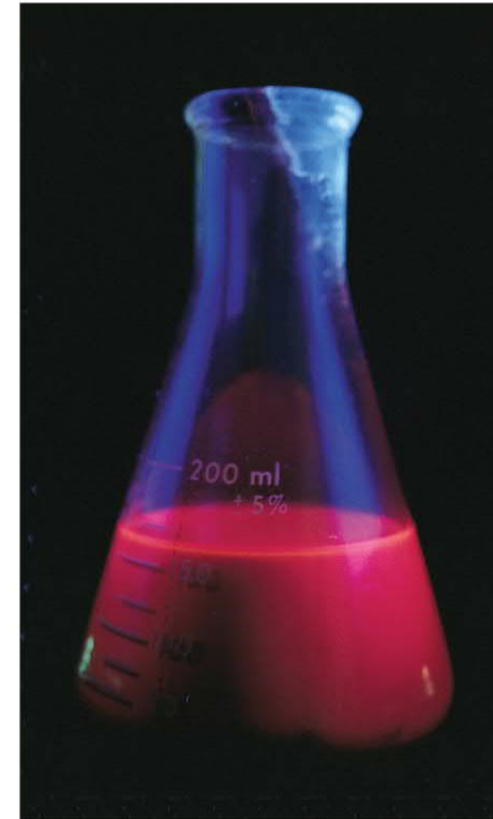
Mitä imeytyväälle valolle tapahtuu kloroplastissa?

Kun kloroplasti imee auringonvaloa, virittää fotoni jonkin sen elektronin korkeammalle energiatilalle.

- Elektroni hyppää jollekin tyhjälle elektroniorbitaalille
- Virittyminen on väliaikaista, jolloin elektronin palaaminen vapauttaa lämpöä
- Joissain tapauksissa elektronin palaaminen vapauttaa energiaa sopivasti, jotta reaktiossa vapautuu fotoni (tätä kutsutaan fluoresenssiksi).
- Eristetyt klorofyllit fluoresoivat punertavalla aallonpituudella.



Eristettyjen klorofyllimolekyylien virittyminen

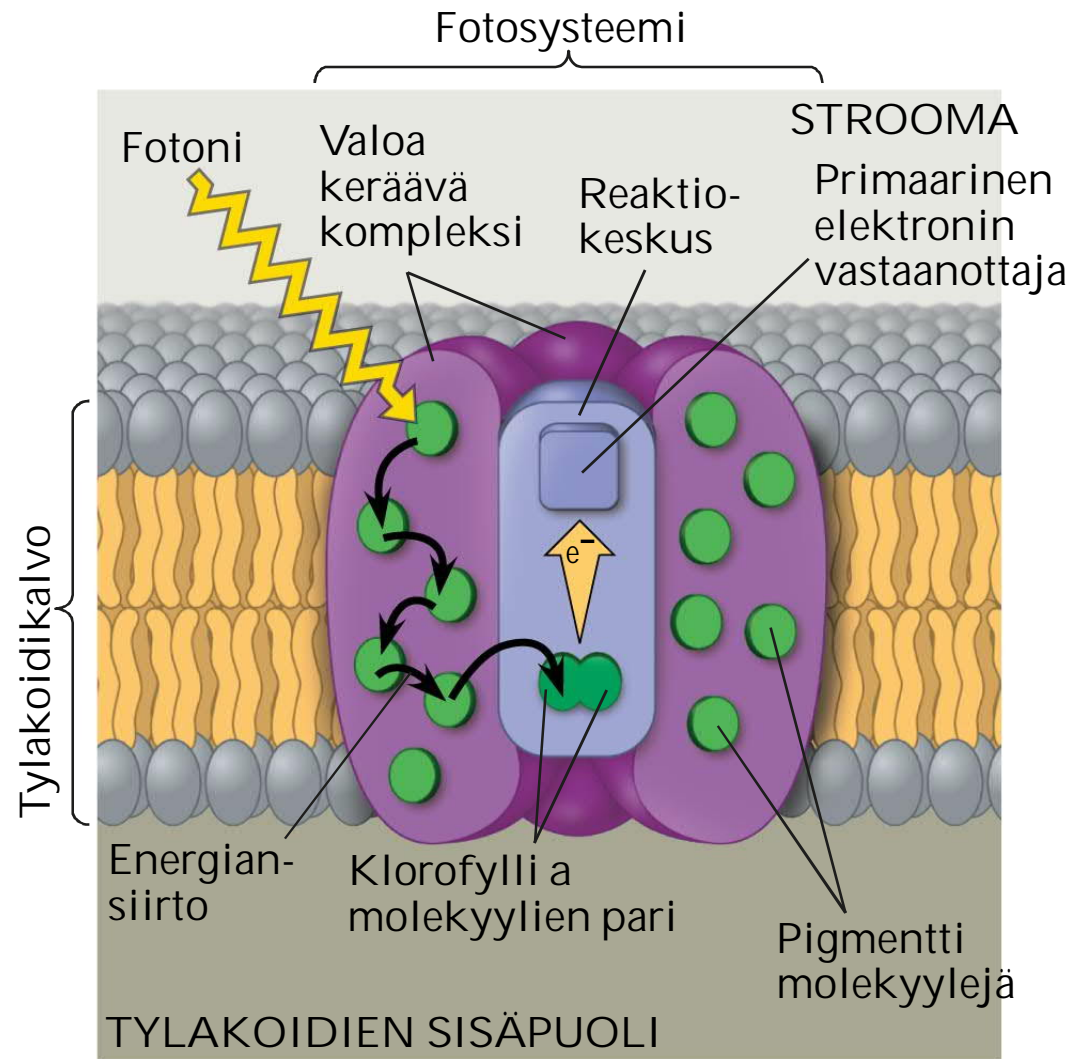


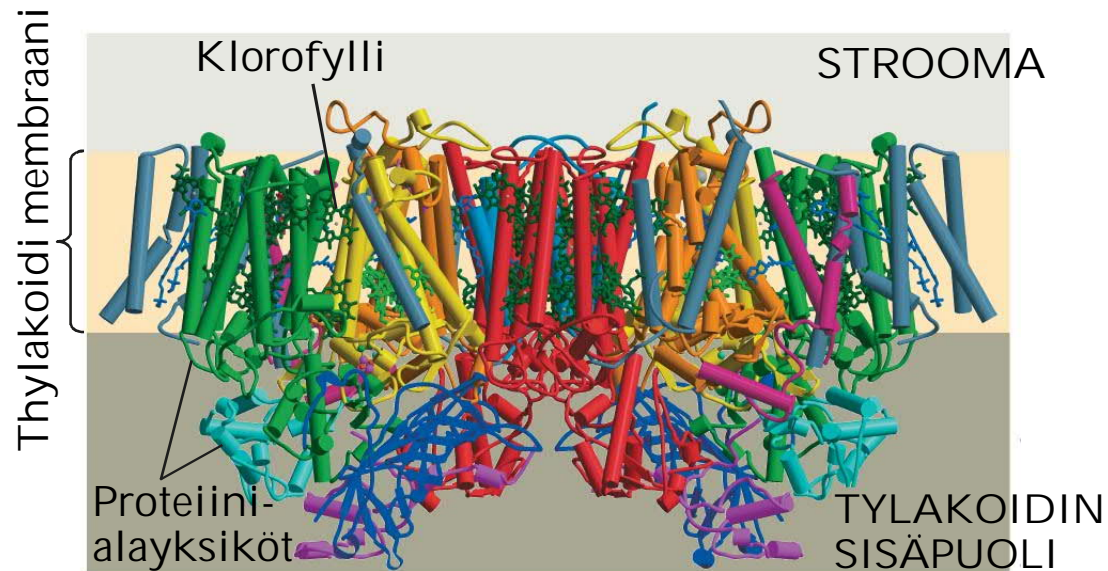
Fluoresenssi havaittavissa UV-valolla

Kloroplastien tylakoidikalvossa on fotosysteemi-komplekseja, jotka ovat erikoistuneet valoenergian sieppaamiseen ja elektronien siirtämiseen.

Kompleksin keskellä on reaktiokeskus, jonne elektronit siirtyvät klorofylliparilta. Tämä on fotosysteemin valoreaktioiden ensimmäinen vaihe.

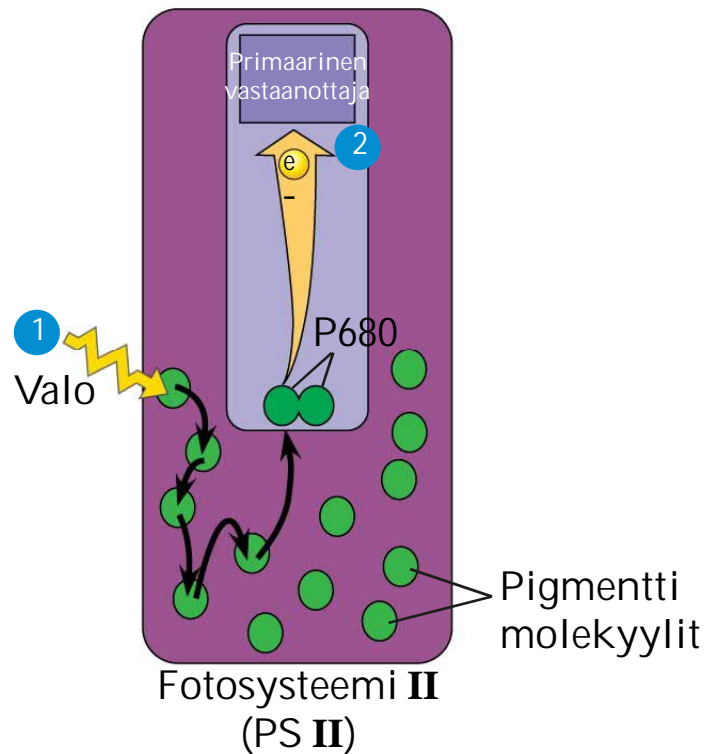
Klorofyllit saavat energian ympäröiviltä valo kerääviltä komplekseilta.





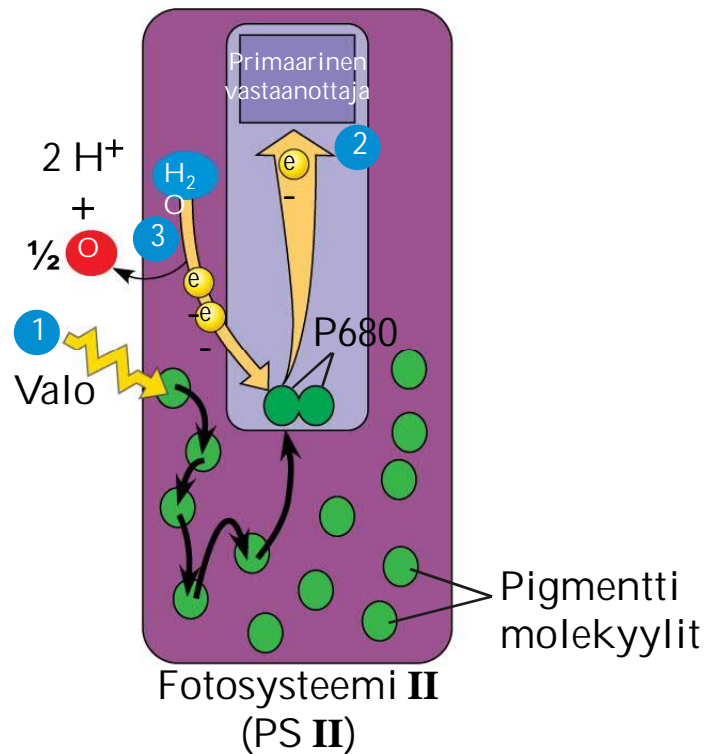
Tylakoidikalvossa on kahdenlaisia fotosysteemejä:

- Fotosysteemi II (PS 2) toimii ensin. Se imee parhaiten valoa 680 nm aallonpituudella (mistä reaktiokeskuksen nimi P680)
- Fotosysteemi I (PS 1) toimii myöhemmin valoreaktioissa. Se imee parhaiten valoa 700 nm aallonpituudella (mistä reaktiokeskuksen nimi P700)



(1) Fotoni osuu pigmentti-molekyyliin, jolloin energia siirtyy välivaiheiden kautta reaktiokeskukselle (P680)

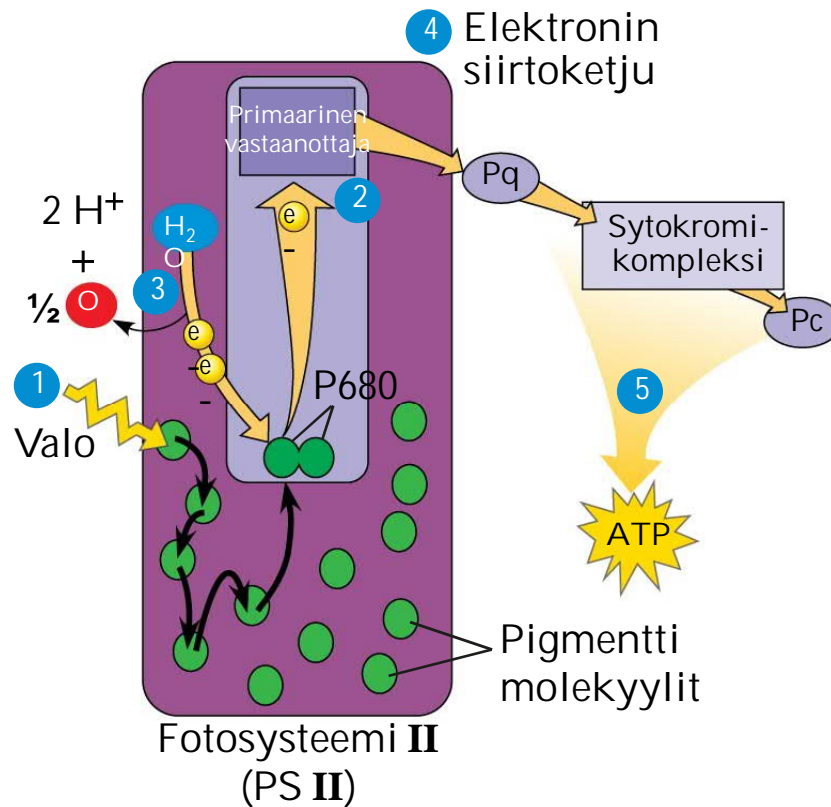
(2) Reaktiokeskus luovuttaa elektronin primaariselle elektronin vastaanottajalle, jolloin reaktiokeskus hapettuu (muodostuu P680⁺)



(3) Entsyymi pilkkoo vesimolekyylin ja vetyatomien elektronit siepataan P680⁺:lle, jolloin se pelkistyy P680:ksi.

Jotta reaktio voi toimia, on P680⁺ voimakkain luonnossa esiintyvä hapettaja.

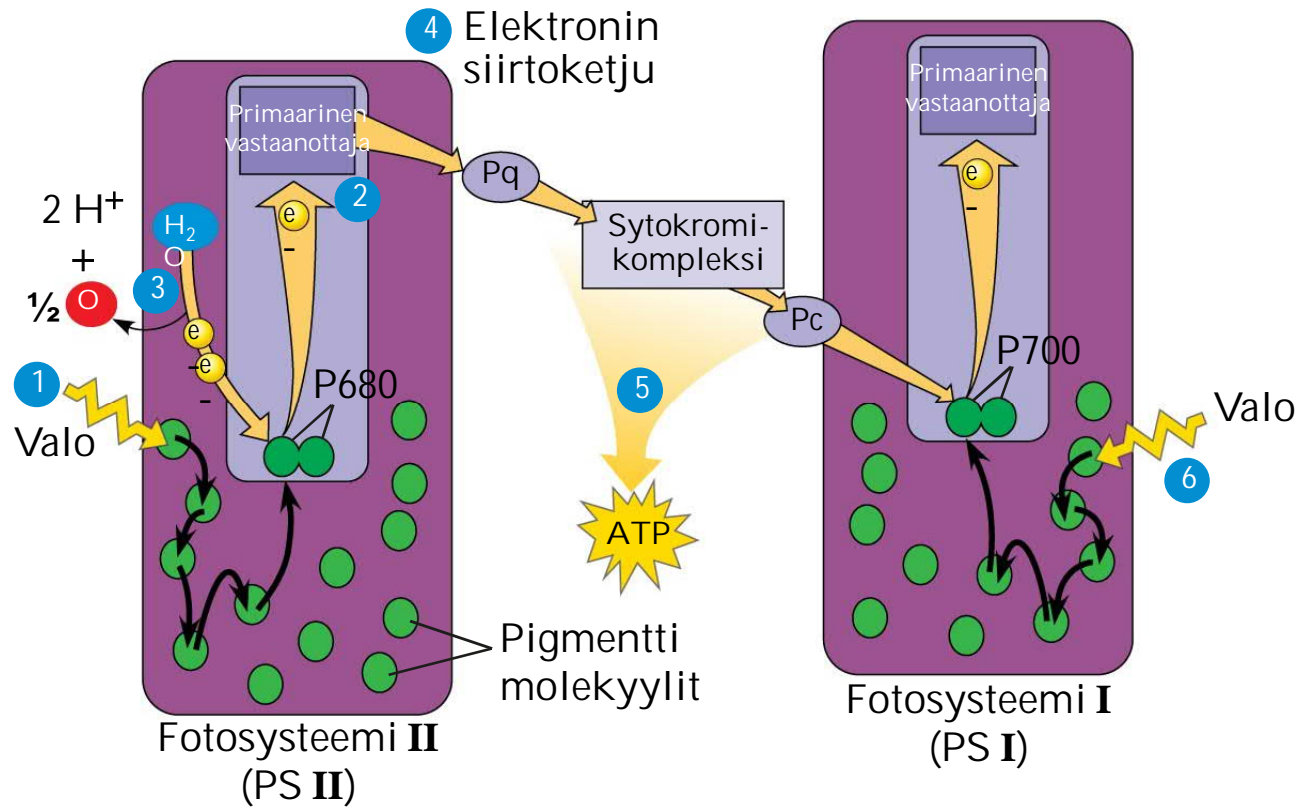
Reaktiossa vapautuu sivutuotteena happea (O₂)



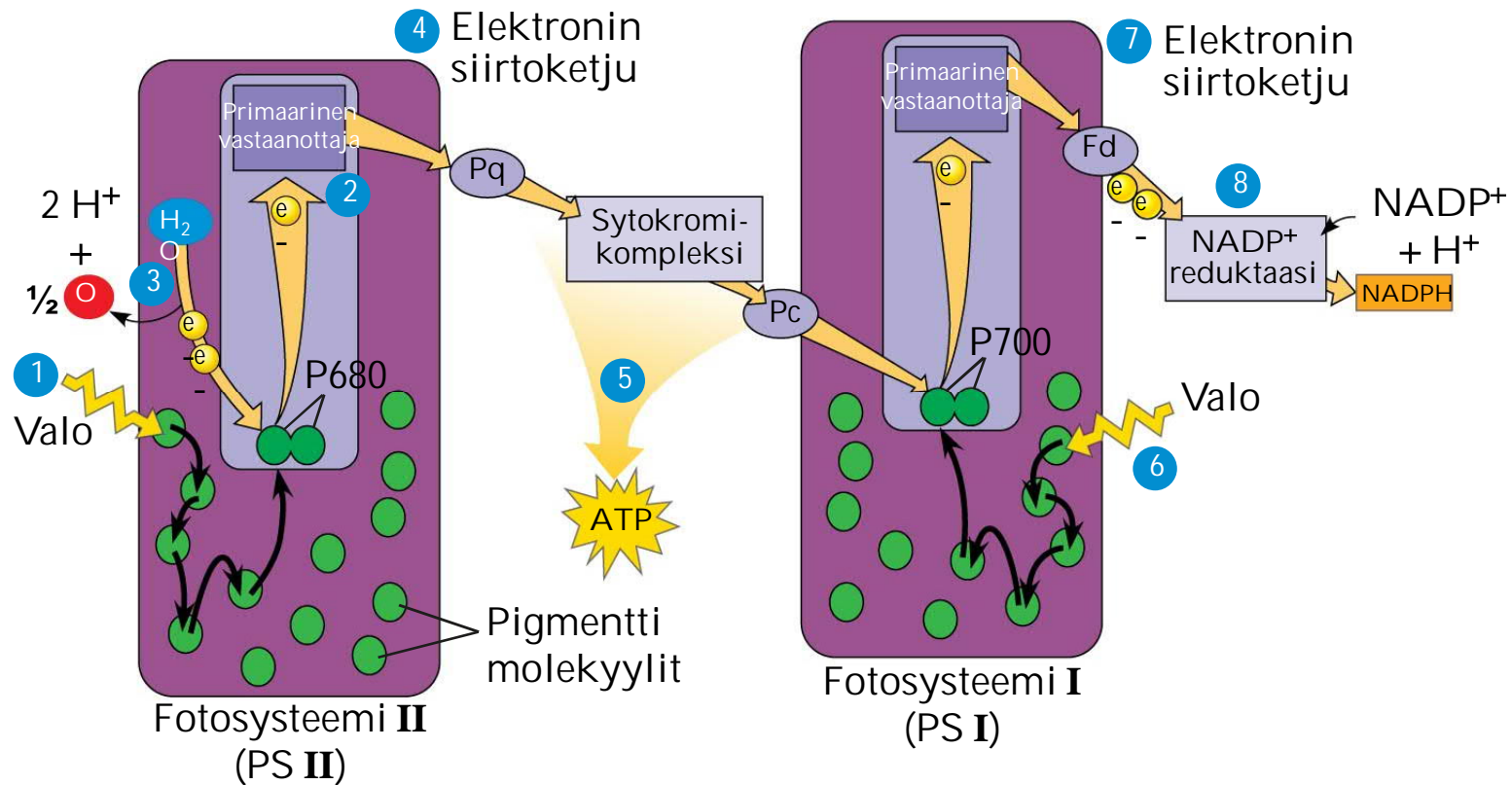
(4) Elektronit luovutetaan elektroninsiirtoketjulle, joka välittää ne PS II:lta PS I:lle.

(5) Elektroninsiirtoketju aiheuttaa protonigradientin, jota käytetään hyväksi ATP:n synteesissä.

(6) Fotosysteemi I:ssä valo virittää P700:n, joka luovuttaa elektronin primääriselle vastaanottajalle. Tilalle se saa elektronin elektroninsiirtoketjulta.

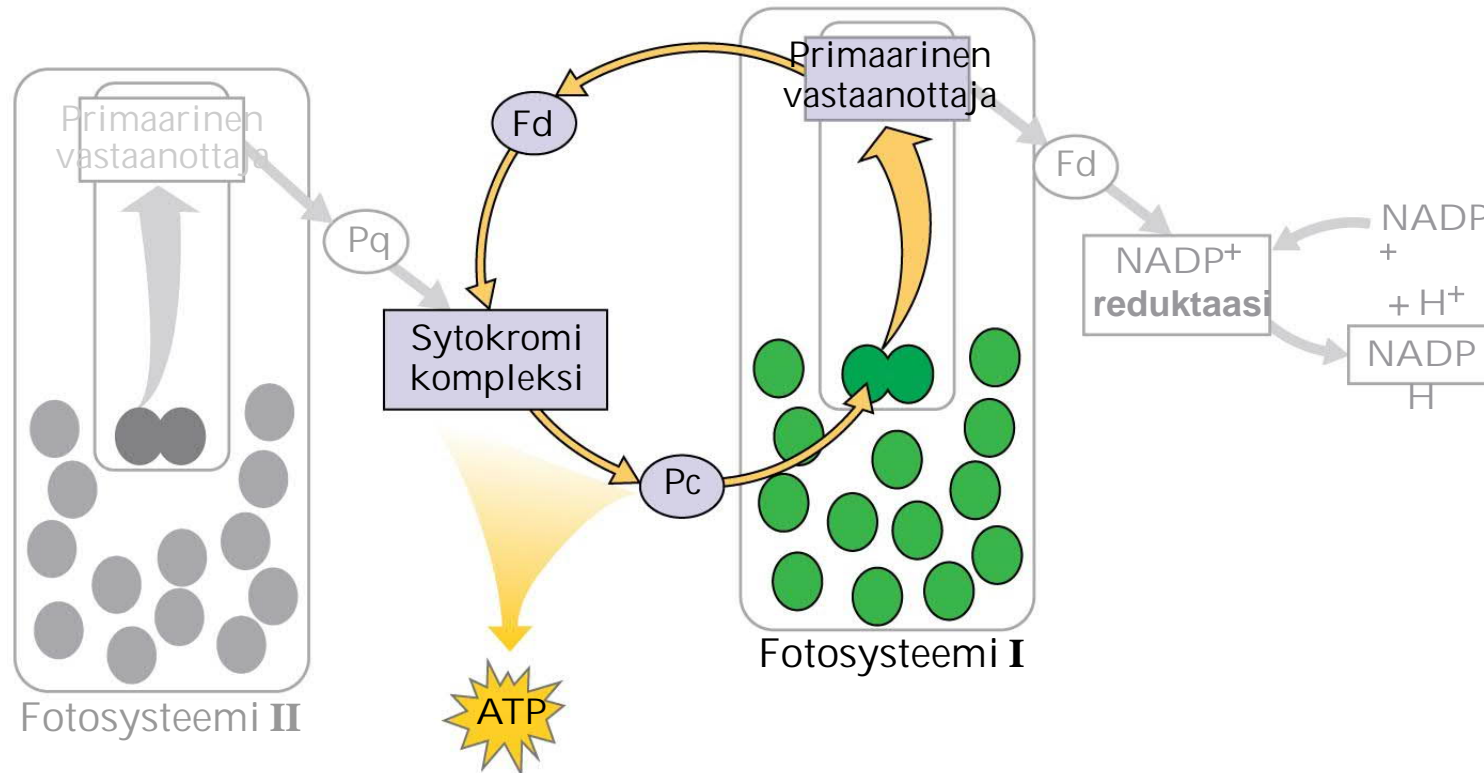


(7) Fotosysteemi I:ltä elektronit siirtyvät elektroninsiirtoketjua pitkin ferredoksiini-proteiinille (Fd).



(8) Lopulta elektronit käytetään NADP:n pelkistämiseen ja protonien siirtämiseen.

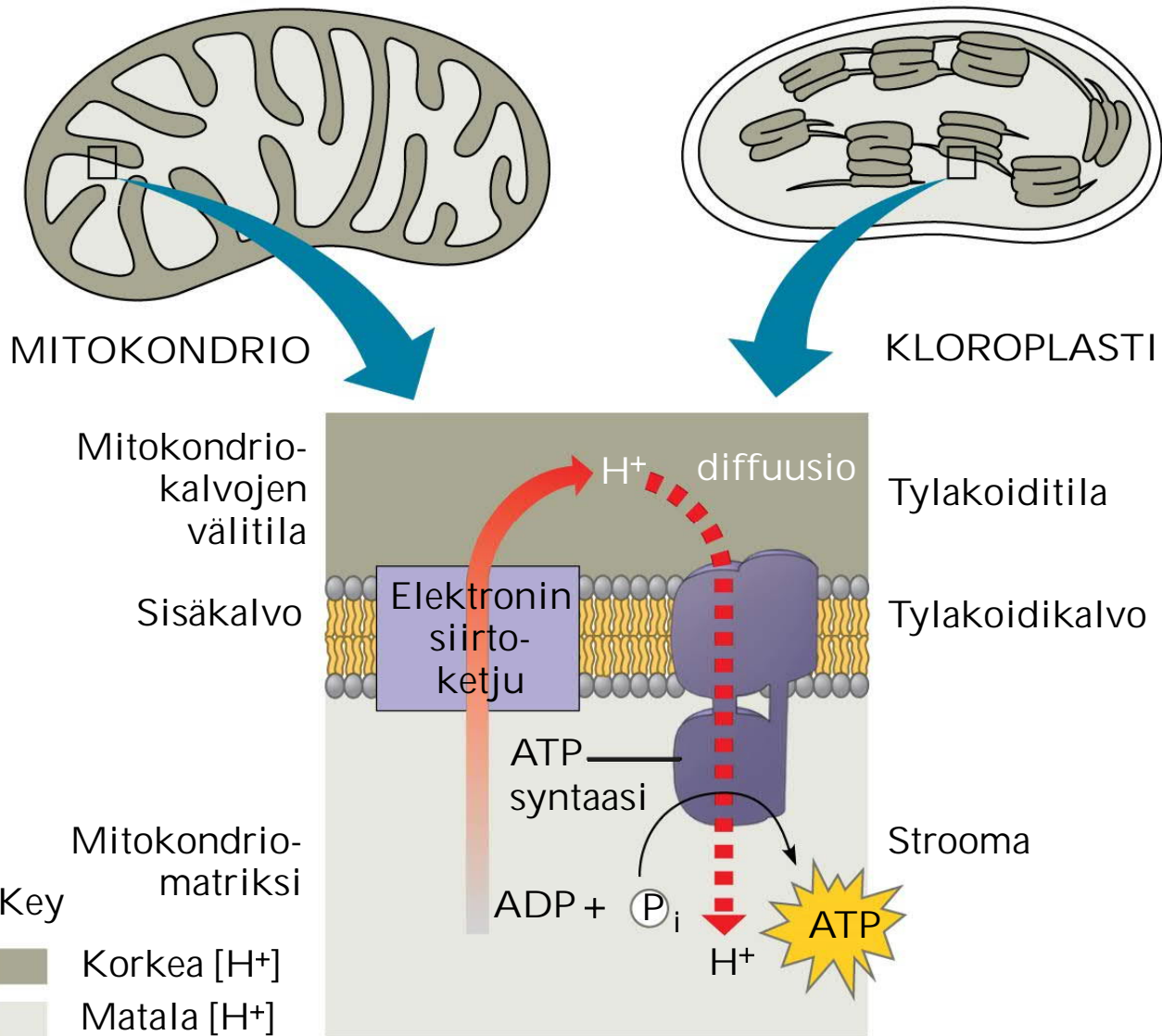
Joissain tapauksissa elektroneja voidaan myös kierrättää. Tällöin tuotetaan ATP:tä, muttei NADPH:ta tai happea.

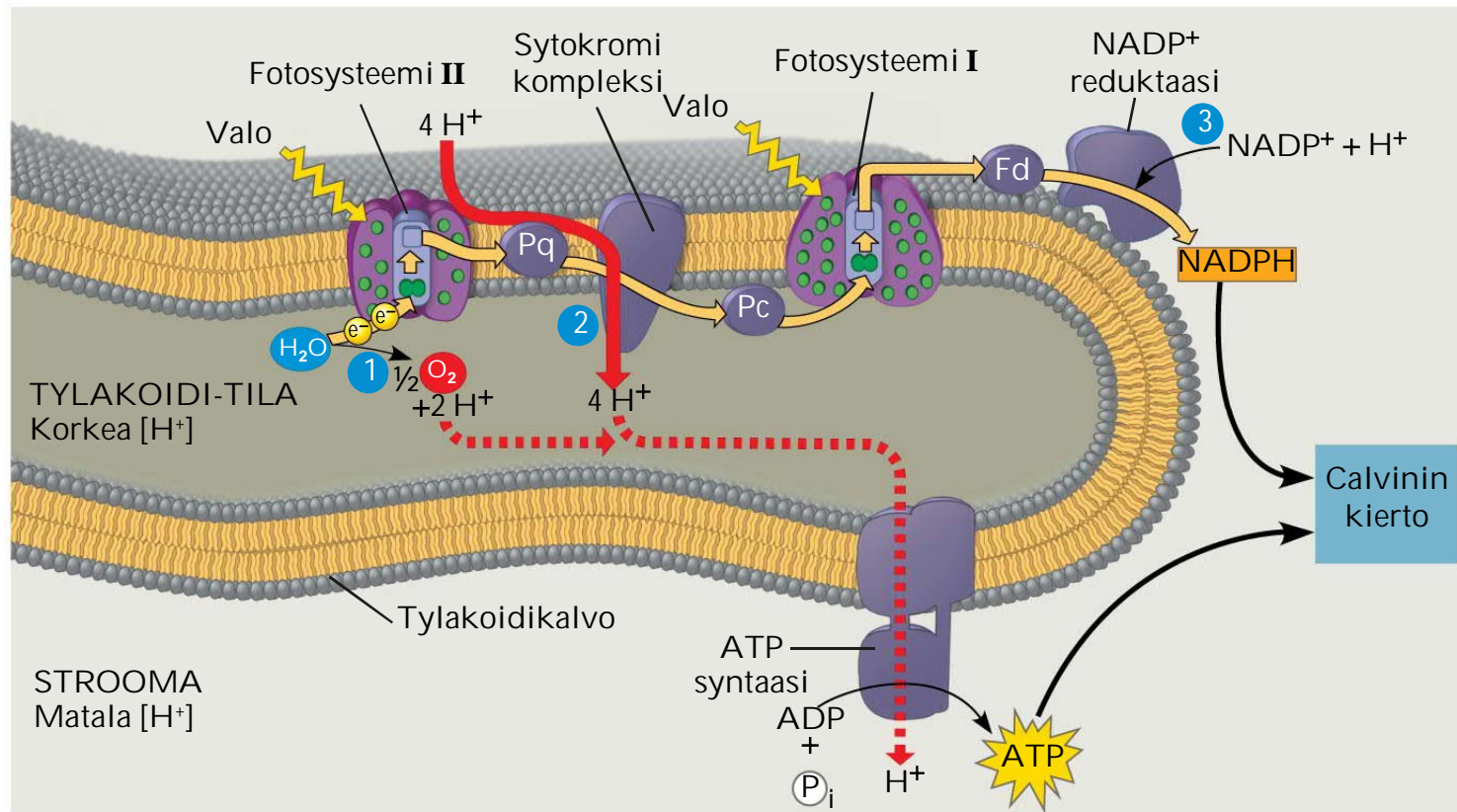


Menetelmää käyttävät purppurabakteerit, joilta puuttuu fotosysteemi II. Elektronien kierrättäminen lienee evolutiivisesti vanhempi tapa.

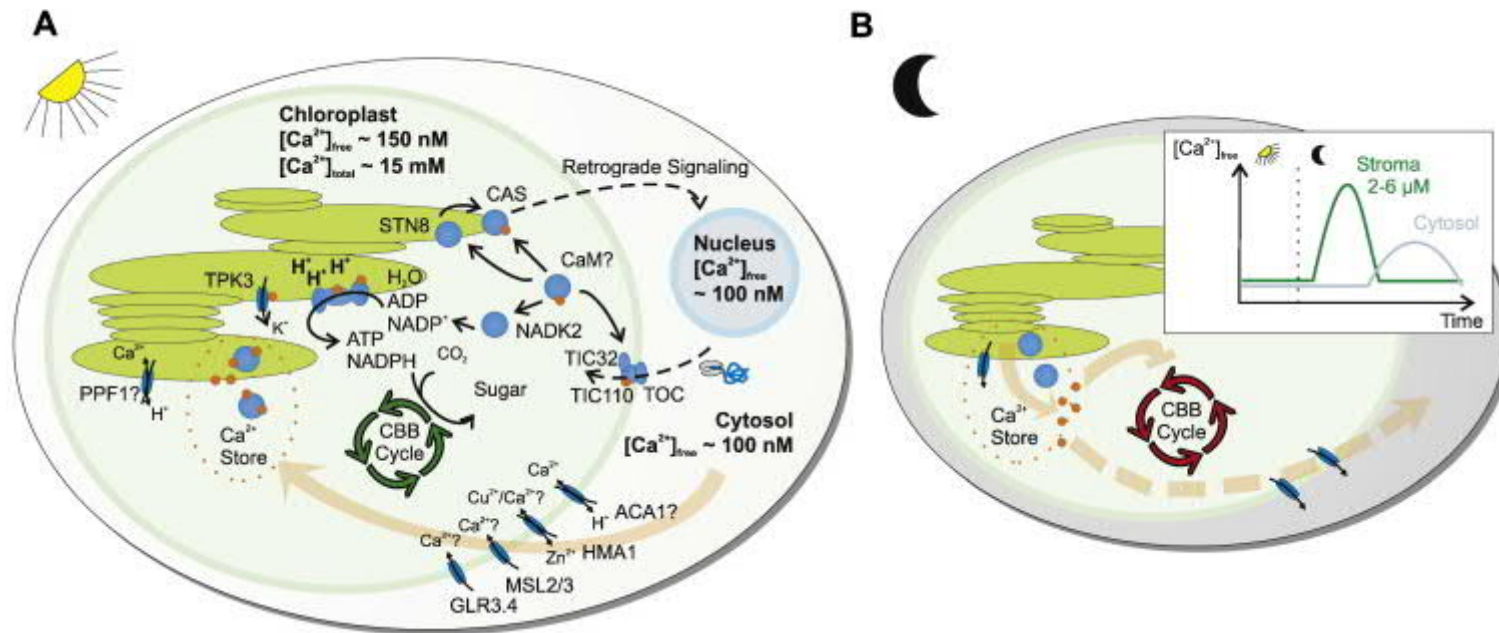
Sekä mitokondrio että kloroplasti tuottavat ATP:tä protonigradientilla. Molemmat siis käyttävät kemo-osmoosia energiantuotannossa.

Kloroplasteissa tuotettu NADPH ja ATP käytetään kuitenkin Calvinin syklissä.





Myös viherhiukkasta säädellään kalsiumilla



Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

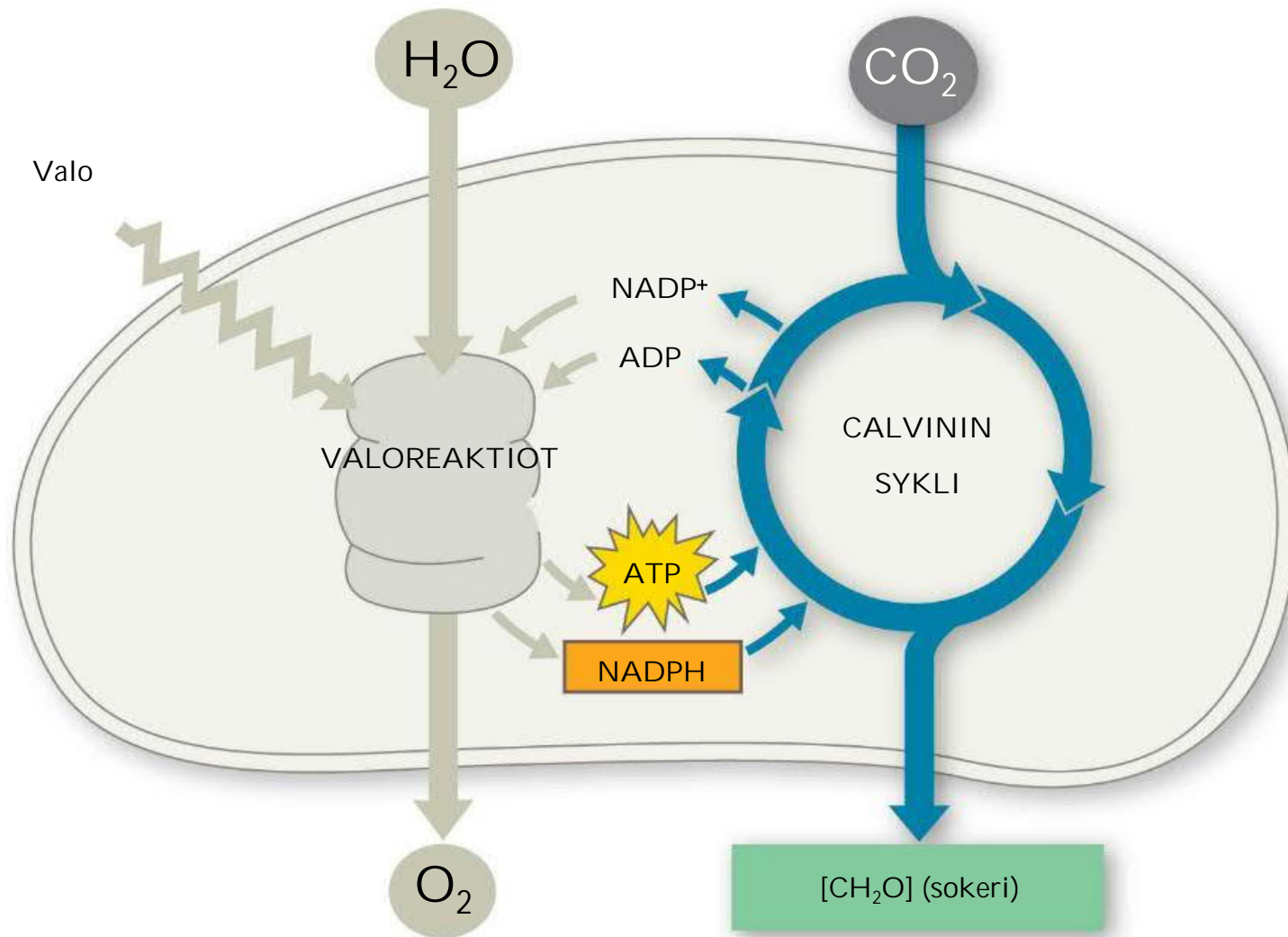
uef.fi





Solu- ja molekyylibiologian perusteet

Fotosynteesi: Calvinin sykli



Calvinin sykli

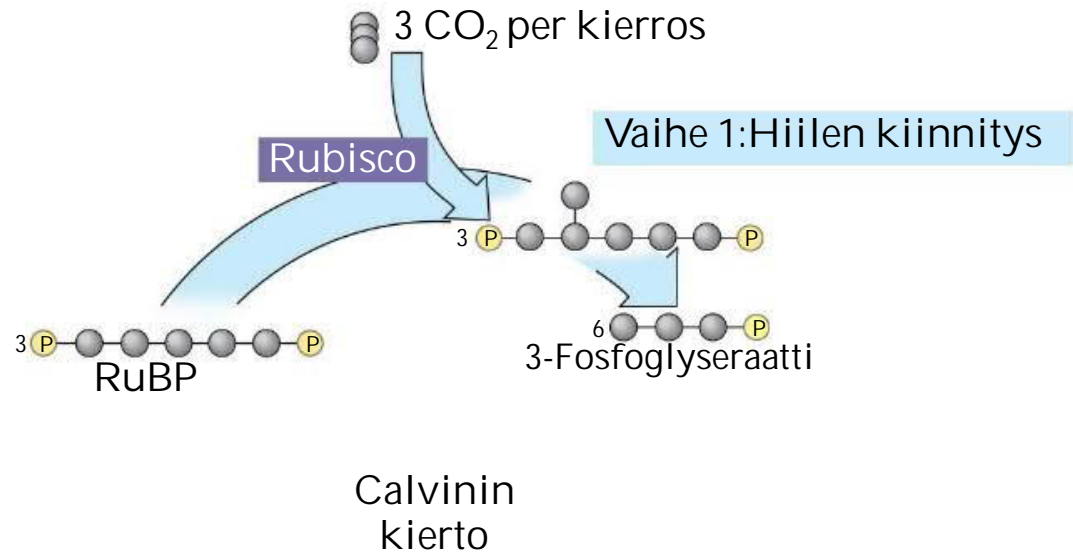
Calvinin sykli käyttää ATP:n ja NADPH:n kemiallista energiaa pelkistääkseen hiilidioksidia sokeriksi

Raaka-aineena Calvinin syklissä on CO₂ ja tuotettua sokerina glyseraldehydi 3-fosfaatti (G3P)

- Muodostuminen vaatii kolme kierrosta ja siinä on 3 vaihetta:
 1. Hiilen kiinnitys (katalysoijana rubisco)
 2. Pelkistys
 3. CO₂ tarttujan (RuBP) uudelleenvalmistus

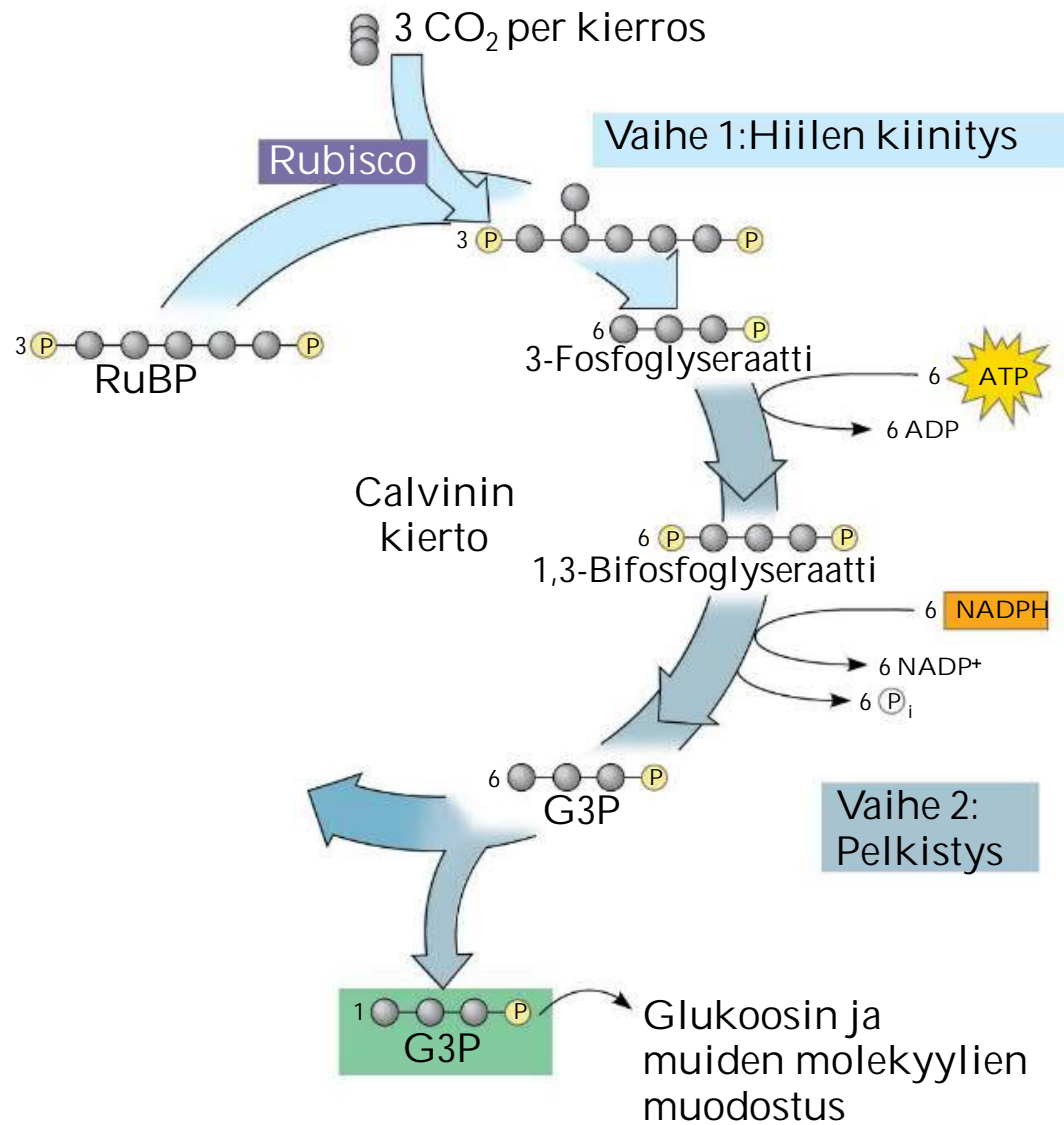
Hiilen kiinnitys tapahtuu Rubisco-entsyymillä, joka muodostaa lyhytaikaisen 6-hiilen välituotteen.

Välituote hajoaa nopeasti kahdeksi 3-fosfoglyseraattiksi



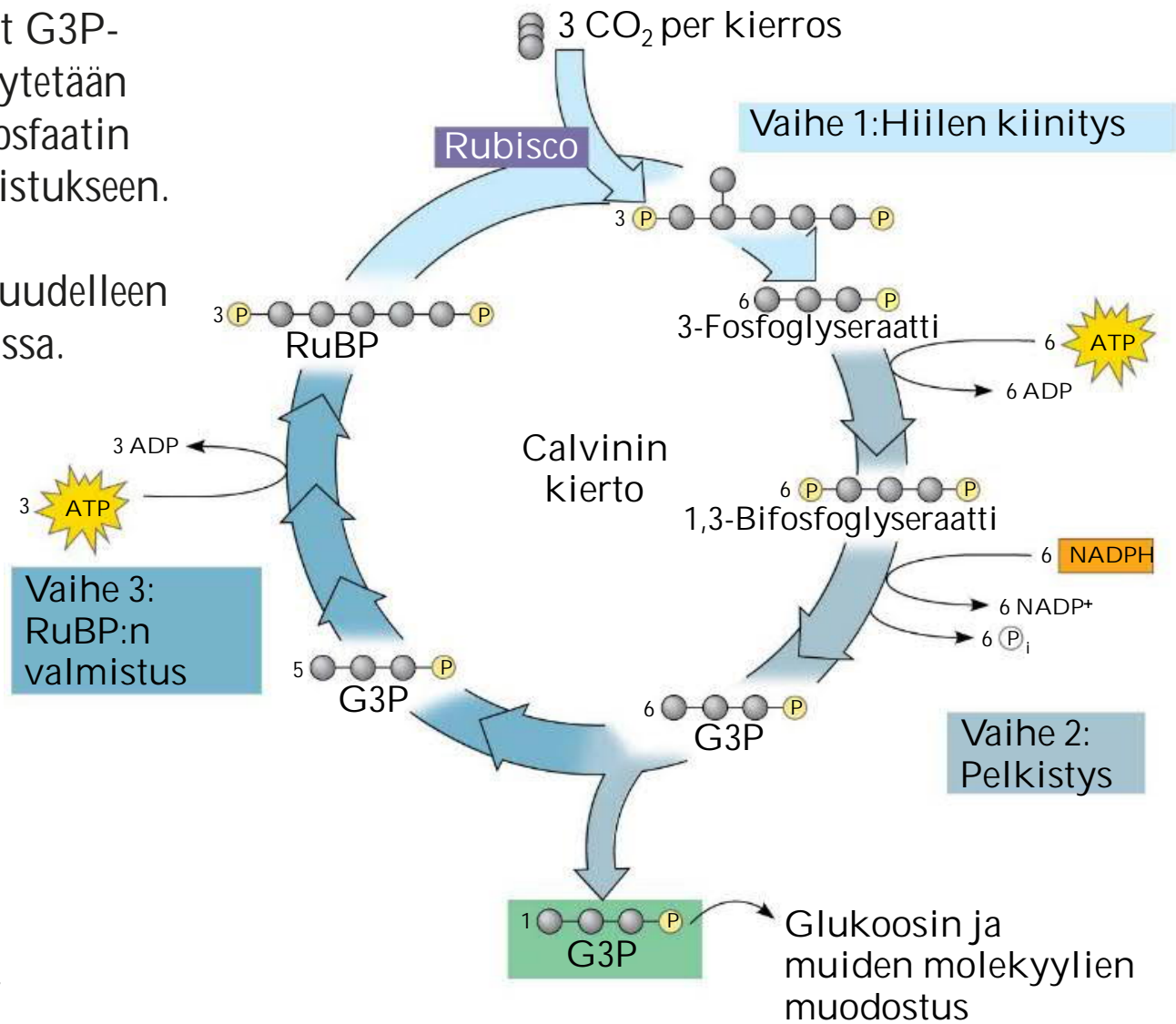
3-fosfoglyseraattiin liitetään toinen fosfaatti, minkä jälkeen se pelkistetään glyseraldehydi-3-fosfaatiksi (G3P).

Muodostuneita molekyyliä on kuusi, mutta vain yksi niistä voidaan luovuttaa erilaisiin synteesireitteihin.



Jäljelle jääneet G3P-
molekyylit käytetään
Ribuloosi-6-fosfaatin
(RuBP) valmistukseen.

RuBP reagoi uudelleen
Rubiscon kanssa.



Happi ja Calvinin sykli

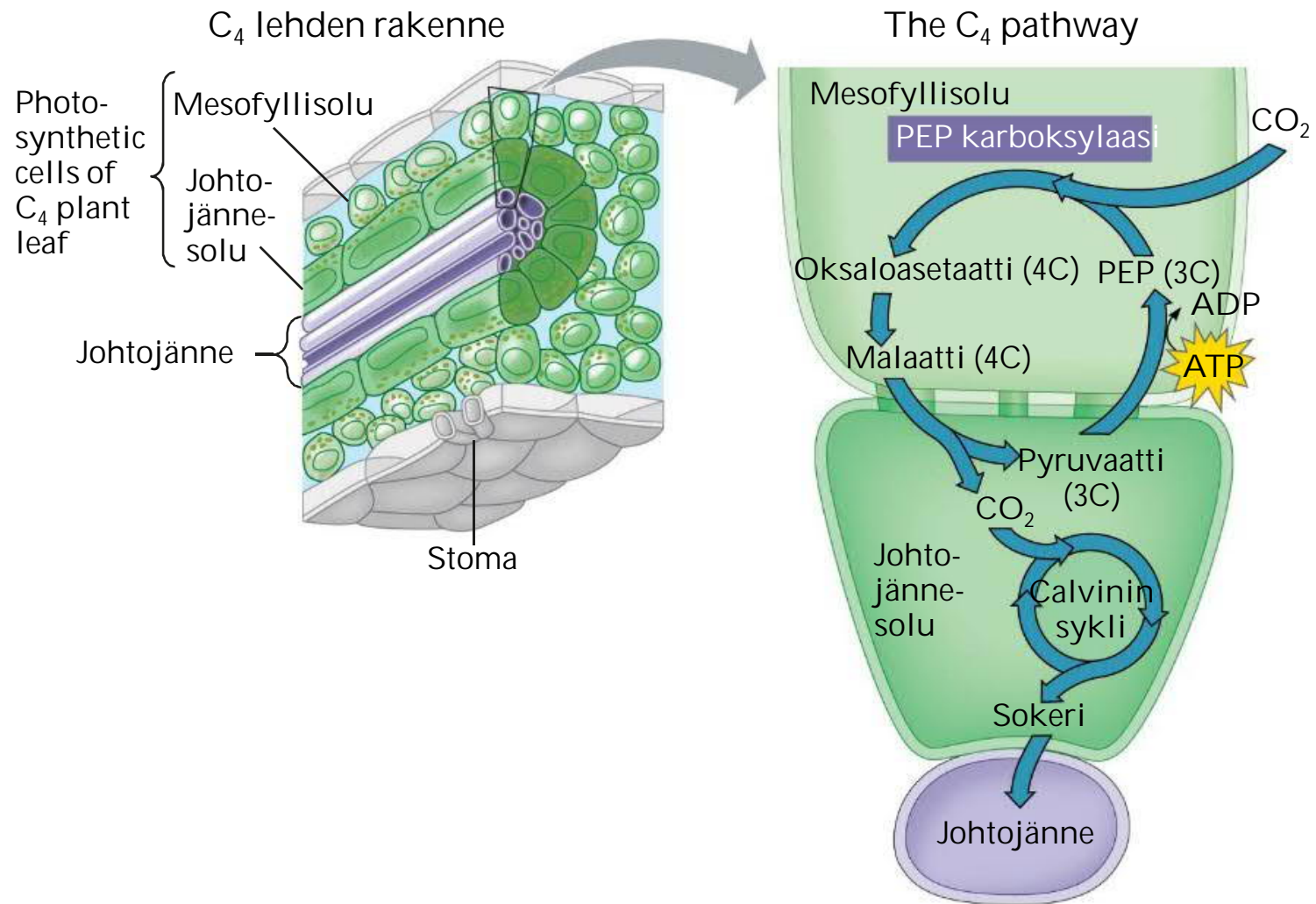
Monet kasvit estävät kuivumista sulkemalla ilmarakoja päivällä. Tämä estää veden haihtumisen, mutta samalla ehkäisee kaasujen vaihtumista.

- Mikäli happea on paljon, voi se liittyä rubiscolla Calvinin syklissä, jolloin tuotteena on kahden hiilen pituista hiiliyhdistettä.
- Tämä fotorespiraatio kuluttaa happea ja hiiliyhdisteitä, mutta ei tuota ATP:tä tai sokereita.
- Fotorespiraatio voi kuluttaa jopa puolet Calvinin sykliin liitetystä hiilestä
- Kuitenkin fotorespiraatio on välttämätön esim. monen aminohapon valmistamiselle

C₄ kasvit

Osa kasveista vähentävät fotorespiraatiota valmistamalla neljän hiilen pituisia hiiliyhdisteitä.

- Hapen reaktio estetään käyttämällä PEP karboksylaasia
- Lisäksi Calvinin sykli tapahtuu toisessa solussa – kauempana happea tuottavasta valoreaktiosta



CAM kasvit

Toinen tapa vähentää hapen vaikutusta on varastoida hiilidioksidia öisin.

- Maksaruohon metabolia (CAM) perustuu siihen, että ilmaruot avataan öisin ja hiilidioksidi sidotaan orgaanisiin happoihin
- Päivällä CO_2 vapautetaan ja käytetään Calvinin syklissä.

Kiitos!



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

uef.fi

