

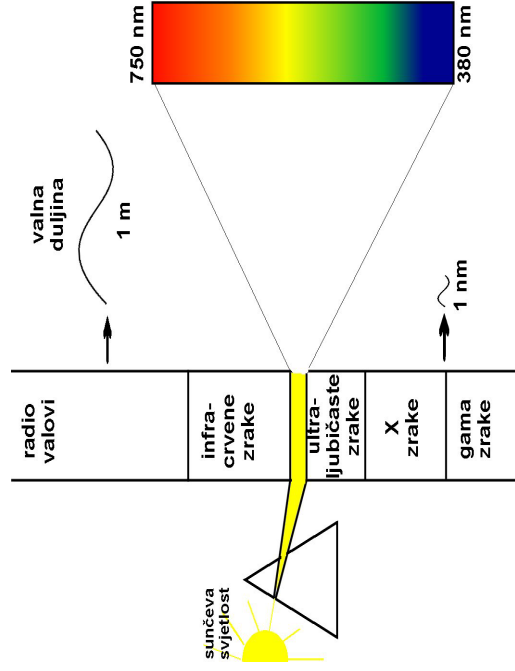
FOTOSINTEZA

Organizmi koji rabe energiju izravno iz svjetla nazivaju se **fotoautotrofi**. U fotoautotrofe ubrajamo:

- zelene biljke
- cijanobakterije
- fotosintetske bakterije

Fotosinteza je složen metabolički proces pretvorbe energije sunčeva svjetla u kemijsku energiju te pohranjivane energije sunca u organske molekule kao što je glukoza i drugi karbohidrati.

Sunčevo svjetlo je bijelo buduću sadrži potpuni vidljivi spektar. Međutim, svjetlo je i segment elektromagnetskog radijacijskog spektra, u koji ubrajamo i gama zrake, X-zrake, ultraljubičaste zrake, infracrvene zrake, mikrovalove i radiovalove.



Slika: Vidljivi spektar i elektromagnetski spektar

Izvor slike: POSTLETHWAIT, J. H., J. L. HOPSON (1989):

The Nature of Life, 1st ed., McGraw-Hill Publishing Company, New York.

Sunčevo svjetlo na Zemlju dolazi u **fotonima** od kojih je svaki foton označen **kvantom elektromagnetske radijacije** ili kao **skup valova**. Razlike u energiji kvanta ili valnoj duljini vidljivog svjetla razlikujemo bojom od crvene (760 nm), narančaste, žute, zelene plave do ljubičaste (390 nm). Pigment cvjetova i voća važni su zbog svjetla koje ne apsorbiraju, što im daje boju i čine ih korisnim za privlačenje oprašivača.

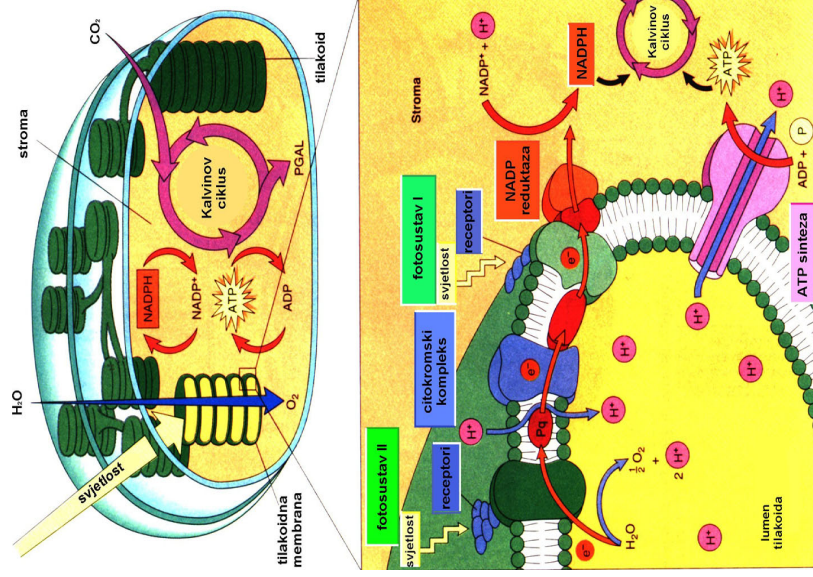
Radijacija koju biljke koriste za fotosintezu je **350 nm do 760 nm**. U fotosintezi svjetlo se mora apsorbirati da bi se pokrenuo fotokemijski proces.

Klorofil a je osnovni fotosintetski pigment u svih biljaka, alga i cijanobakterija. Klorofil a najbolje apsorbira crveno svjetlo valne duljine oko 660 nm i plavo svjetlo od 440 nm. Najčešći pomoćni pigmenti kopnenih biljaka su **klorofil b** i **karotenoid**. Molekule klorofila, akceptora vidljivog djela svjetla nalazimo u fotosintetskoj membrani bakterija, a u eukariotskih stanica u organelima nazvanim **kloroplastima**.

Kloroplasti su biljni organeli nazočni u stanicama zelenih dijelova biljke. Ovalnog su oblika, promjera 4 do 8 µm. U kloroplasta moguće je razlučiti vanjsku i unutrašnju membranu te membranski sustav unutrašnjih kloroplasta – **tilakoidni sustav**. Na membranskim sustavima u unutrašnjosti nalaze se fotosustavi kao mjesta odvijanja fotosinteze i nekoliko kružnih molekula DNA. U tekućini kloroplasta (**stromi**) alazimo ribosome kao mjesta sinteze proteina. Danas prihvaćena teorija tzv. **simbiotska**, govori da su kloroplasti podrijetlom jednostanični zeleni prokarioti koji su simbiotski ušli i živjeli u drvenoj biljnoj stanici.

Dokaz ovoj teoriji služi DNA kloroplasta koja građom slični DNA molekulama prokariota. Za razliku od simbiota u drevnoj prošlosti kloroplasti su danas nevidljivi dijelovi biljne stanice koji su tijekom evolucije izgubili pojedine važne gene za samostalni život

NOSAČI ENERGIJE U FOTOSINTEZSKIM REAKCIJAMA FOTOSINTEZE



Slika: Kloroplast
MADER, S. S.; (1996). Art Notebook Biology, 5th ed., McGraw-Hill
Publishing Company, Boston.

Fotosintetske reakcije u fotosintezi proizvode adenozin trifosfat **ATP** čije fosfatne veze sadrže energiju za gotovo svaku reakciju za koju je potrebna energija. Svaka molekula je energetski nosač u stalnoj izmjeni između reakcija koje oslobađaju energiju i onih koje energiju troše. Fosforilacija ADP u ATP

odvija se u **kloroplastima** i naziva se **fosforilacija** jer koristi sunčevu energiju. Male polustabilne molekule nikotinamid adenin dinukleotid **NAD⁺** i nikotinamid adenin dinukleotid fosfat **NADP⁺** biljke koriste za redukciju elektrona. **NAD⁺** i **NADP⁺** su oksidirajući spojevi (uzimaju elektrone s drugih molekula) dok su **NADH** i **NADPH** reducirajući spojevi (predaju elektrone drugim spojevima). Sposobnost primanja i otpuštanja elektrona naziva se **redoks potencijal molekule**.

REAKCIJE FOTOSINTEZE OVISNE O SVJETLU

U botaničkom smislu pojam fotosinteze koristi se za reakciju u kojoj iz vode i ugljičnog dioksida nastaje ugljikohidrat. Biljka vodu i ugljični dioksid dobiva iz okoliša bez utroška energije. Navedene tvari difuzijom ulaze u biljku iz tla, zraka i vode. Izvori elektrona i energije potrebnih za fotosintezu su elektroni koji dolaze iz vode, a izvor energije je svjetlo. Voda i svjetlo ne djeluju izravno na ugljični dioksid, već u reakcijama stvaraju posrednike **ATP** i **NADPH**. **Reakcije ovisne o svjetlu** odvijaju se uz pomoć nosača na membranama dok se ugljikohidrat stvara u tekućini tj. stromi kloroplasta.

Reakcije ovisne o svjetlu djelimo na reakcije Fotosustava I i reakcije Fotosustava II.

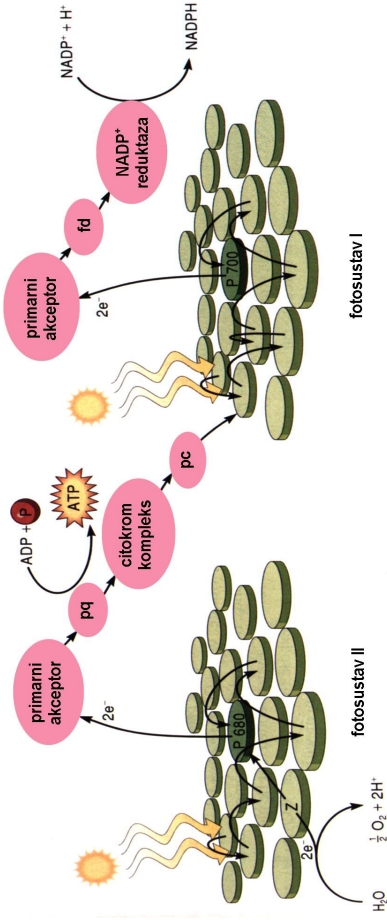
FOTOSUSTAV I

U **fotosustavu I** fotosintetski pigmenti prenose apsorbiranu svjetlosnu energiju na elektrone koji tada ulaze u kemijske reakcije. Prilikom apsorpcije kvanta od strane pigmenta elektron se aktivira odnosno prelazi iz osnovnog u pobuđeno stanje. Kada svjetlo pobudi bilo koji pigment u **FOTOSUSTAVU I**, energija se prenosi u reakcijski centar koji sadrži par klorofila *a*, a zove se **P700** budući apsorbira crveno svjetlo od 700 nm. Pošto je molekula klorofila prethodno u reakcijskom centru pod djelovanjem fotona, izgubila elektrone, potrebno ih je nadoknaditi. To se zbiva pomoću svjetla koja razlaže molekulu vode (fotoliza vode) u kloroplastu. Tako oslobođeni elektroni ulaze u molekulu klorofila i nadoknađuju taj gubitak. Protoni (**H⁺**) koji pritom nastaju zajedno će s elektronima, koji su prethodno iz molekule izbijeni fotonima svjetlosni, reducirati redukcijski ekvivalent (**NADP⁺ + 2H⁺ + 2e⁻ = NADPH₂**). Naime, elektron prelazi na enzim ferodoksin - **NADP⁺** reduktazu, koji reducira **NADP⁺** u **NADPH**. Reakcije ovisne o svjetlu dakle stvaraju reducirajuću tvar **NADPH** koja kasnije prenosi elektrone na ugljični dioksid u reakcijama strome. Kisik se kao molekula oslobađa i služi za dišne procese u samoj stanici, a djelom odlazi u atmosferu i služi za disanje svih aerobnih organizama.

FOTOSUSTAV II

Fotosustav I stvara **NADPH**, ali klorofil *a* reakcijskog centra **P700** gubi elektrone tijekom procesa. Mehanizam koji reducira **P700** nalazi se u fotosintetskoj jedinici bogatoj klorofilom *b* – **fotosustavu II**. Klorofil iz fotosustava II prima elektron iz molekule vode. Voda se rastavlja na protone (**H⁺**), koje koristi biljka i (**O₂**) kojeg biljka oslobađa. Fotosustav I i fotosustav II zajedno čine neodvojivu cjelinu prilikom koje elektroni iz vode preleze na **P680**

fotosustava II zatim se kreću putem sustava **elektronskog transportnog lanca** do P700 fotosustava I (Slika 10). Elektronski transporti lanac između P680 i P700 neophodan je radi **sinteze ATP**. Povećana koncentracija protona u lumen tilakoida i smanjena koncentracija protona u stromi, razlogom je pokretanja protona kroz specijalizirane kanale membrane u pravcu strome što daje energiju za **sintezu ATP**.



Slika 10. Fotokemijske reakcije fotosinteze ovisne o svjetlu (Fotosustav I i Fotosustav II)

(Ciklički protok elektrona. **Fotosustav I** – serija prenošeja elektrona preko primarnog akceptora, **Fd-ferodoksina** u tilakoidnoj membrani, zatim elektron prelazi na enzim **ferodoksin – NADP⁺ reduktazu** koji reducira NADP⁺ u NADPH;

Fotosustav II- Molekula **plastocijajina- P_c**, predaje elektron klorofilu **a** reakcijskog centra fotosustava I, plastocijajin tada prima novi elektro od **citokrom kompleksa**, koji pak prima elektron od **plastokinona- P_q**. Klorofil **a** iz fotosustava II novi elektron prima iz molekule vode. Voda se rastavlja na protone H⁺ i O₂ koji se tada oslobađa kroz puči)

Izvor slike: MOORE, R., W. D. CLARK, K. R. STERN, D. VODOPICH (1995): Botany. Wm. C. Brown Publishers.

REAKCIJE TAME

U odvojenoj reakciji poznatoj kao **reakcija tame**, ATP i NADPH ulaze u reakciju s ugljičnim dioksidom i stvaraju ugljikohidrate. Dakle, u fazi tame biljke rabe kemijsku energiju za redukciju ugljičnog dioksida i njegovo vezanje za organske spojeve. Osobitost je reakcije u tami vezanje (asimilacija i fiksacija CO₂) tj. atmosferskog ugljičnog dioksida na postojeću ribozu i sinteza molekule glukoze. Ova je ciklična reakcija poznata pod nazivom **Kalvin/Bensonov** ciklus. Konverzija ugljičnog dioksida u ugljikohidrate zbiva se u reakcijama strome. Molekula ugljičnog dioksida reagira s **RuBP** (**3 – fosfogliceratidehida**) **PGAL** od kojeg se odvaja i fosfatna skupina čime ugljik postaje reduciran i energiziran. PGAL se kao takav koristi za dobivanje **šećera, masti, aminokiselina, nukleinskih kiselina**.

JAKOST FOTOSINTEZE

Jakost fotosinteze ovisna je o količini CO₂ u listu, svjetlu i stanju vode u biljci. Ako biljka nema dosta vode, ona će tada zatvoriti puči i time smanjiti ili onemogućiti ulazak CO₂ potrebnog za fotosintezu. Možemo zaključiti da je stanje vode u biljci vrhunski nadzor otvorenosti puči. Količina CO₂ u zraku (0,03 vol %) je suboptimala prema mogućnosti vezanja u Calvinovom ciklusu. Dakle, ako se dogodi da biljka mora zbog pomanjkanja vode zatvoriti puči, onda će smanjena količina CO₂ ulaziti u list i kloroplaste i postati ograničujući činitelj fotosinteze. Kao posljedica života biljaka u područjima s relativno visokom dnevnom temperaturom, postoje biljke s dodatnim mehanizmima za vezanje CO₂. Stvoreni su enzimi (**fosfoenolpiruvat-karboksilaza**) s relativno visokim afinitetom za vezanje CO₂. Tako su stvoreni uvjeti da biljke mogu uspješno vezati CO₂. Tim se mehanizmom CO₂ ugrađuje u jabačnu kiselinu. Neke pak biljke (**Crassulaceae**) u nepovoljnim uvjetima visokih temperatura puči otvaraju tek noću.

DODATNA LITERATURA:

Jerčić, J., K. Vlahović, M. Pavlak (2002); *Izabrana poglavlja iz botanike (fitologije)*, Medicinska naklada, 2002. str. 44-48.
Gordan Lauc (2003); *Stanica: Molekularni pristup*, 3. izdanje. Medicinska naklada, str. 417, 422-434.

DATUM	POTPIS
-------	--------

ZADACI ZA VJEŽBU

Svjetlosna energija u crvenom i modrom dijelu spektra apsorbira se u:

1. kromoplastima
2. kloroplastima
3. leukoplastima
4. mitohondrijima
5. endoplazmatskom retikulumu

Tilakoidi su građevni dijelovi u:

1. jezgri
2. mitohondrijima
3. jezgri
4. staničnoj stijenci
5. plastidima

Svjetlosne reakcije fotosinteze započinju:

1. otpuštanjem H₂
2. ugradnjom CO₂ u klorofil
3. nastajanjem vode
4. od glukoze
5. pretvorbom energije svjetla u kemijsku energiju