

Pretvorba energije u živim organizmima

Čunović, Matea

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:618579>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

PRETVORBA ENERGIJE U ŽIVIM ORGANIZMIMA

THE TRANSFORMATION OF ENERGY IN LIVING ORGANISMS

SEMINARSKI RAD

Matea Čunović

Preddiplomski studij znanosti o okolišu
(Undergraduate Study of Environmental Science)

Mentor: doc. dr. sc. Marko Miliša

Zagreb, 2017.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ENERGIJA IZ SVEMIRA.....	1
2.1 Sunce.....	1
2.2 Putovanje energije do Zemlje.....	3
3. FOTOSINTEZA.....	3
3.1 Kloroplasti.....	4
3.2 Reakcije na svjetlu.....	5
3.3 Kalvinov ciklus.....	6
4. UGLJIKOHIDRATI.....	7
4.1 Glikoliza.....	8
4.2 Glukoneogeneza.....	10
5. MASTI.....	10
5.1 Sinteza masnih kiselina.....	10
6. BJELANČEVINE.....	11
6.1 Sinteza amino kiselina.....	12
6.2 Sinteza bjelančevina.....	12
7. STANIČNO DISANJE.....	13
7.1 Mitochondriji.....	14
7.2 Krebsov ciklus – ciklus limunske kiseline.....	15
7.3 Oksidativna fosforilacija i lanac prijenosa elektrona.....	16
8. ISKORIŠTAVANJE ENERGIJE.....	18
8.1 Mehanička energija.....	18
8.2 Toplina.....	18
9. ZAKLJUČAK.....	19
10. LITERATURA.....	20
11. SAŽETAK.....	21
12. SUMMARY.....	21

1. UVOD

Metabolizam je jedna od ključnih značajki živog organizma. Omogućuje mu puko preživljavanje, ali i rast i razvoj. Kod metaboličkih procesa razlikujemo dvije glavne skupine reakcija – anaboličke i kataboličke (enciklopedija.lzmk.hr).

Anaboličke reakcije su reakcije biosinteze koje koriste slobodnu energiju za sintezu spojeva koji će se kasnije koristiti za oslobađanje veće količine energije, njeno skladištenje te izgradnju ili popravak stanica i tkiva. Kataboličke reakcije su reakcije razgradnje kojima se oslobađa slobodna energija u obliku adenzin trifosfata (ATP – a) (Nelson i Cox, 2005).

ATP je univerzalni skladišni oblik energije u živim organizmima. To je nukleotid s repom od tri fosfatne skupine spojene na ribozu. Energija je pohranjena u vezama između fosfatnih skupina, a oslobađa se hidrolizom kojom se ukloni jedna fosfatna skupina (Nelson i Cox, 2005).

Uz ATP neizostavne molekule u energijskim reakcijama u organizmima su i NAD i NADP, odnosno nikotinamid adenin dinukleotid (fosfat). To su koenzimi koji u metaboličkim reakcijama služe kao prijenosnici elektrona i protona. Njihovi reducirani oblici su NADH i NADPH. Iako su nazivom i strukturom vrlo slični, njihove funkcije se veoma razlikuju. NADH je prijenosnik elektrona u lancu prijenosa elektrona u procesu oksidativne fosforilacije, koja rezultira stvaranjem ATP-a, dok je NADHP reducens u reakcijama biosinteze (Nelson i Cox, 2005).

Ovaj rad će služiti kao kratki pregled glavnih biosintetskih puteva, ali i prikupljanja te oslobađanja i korištenja energije u živim organizmima i to od njenog „stvaranja“ u Suncu.

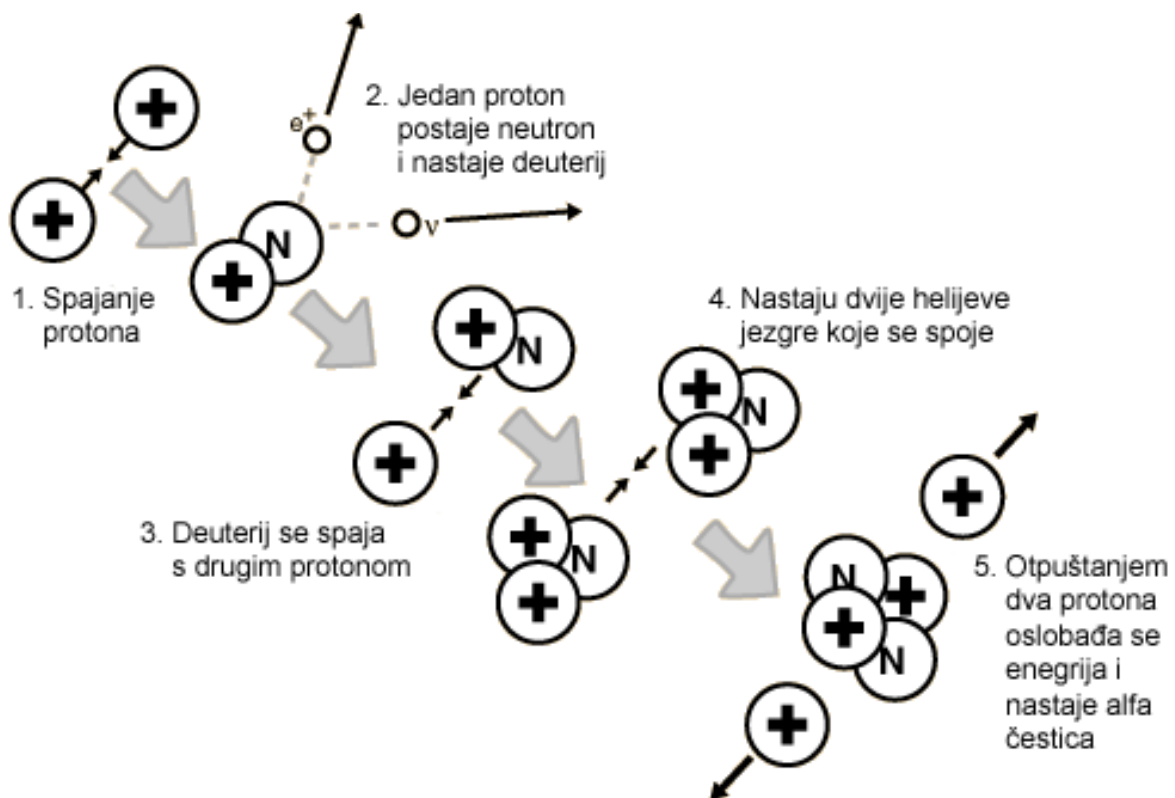
2. ENERGIJA IZ SVEMIRA

Fotosintetski organizmi čine početak gotovo svakog hranidbenog lanca stvarajući hranjive tvari koje koriste svi ostali organizmi, no za to je potreban vanjski izvor energije. Ta energija potrebna za nesmetano odvijanje životno važnih kemijskih reakcija dolazi od Sunca u obliku elektromagnetskih valova. Kako bismo dobili pravu sliku o tome koliki put i kroz koliko promjena ta energija prolazi sve do trenutka kada ju naša tijela „potroše“ trebamo krenuti od njenog izvora, a to je naravno Sunce.

2.1 Sunce

Energija u Suncu se oslobađa procesom jezgrenog spajanja (nuklearne fuzije), točnije proton – proton fuzije. To je vrsta nuklearne fuzije koja se događa u zvijezdama poput Sunca čija temperatura u jezgri ne prelazi $1,5 \times 10^7$ K. Reakcija započinje spajanjem dva protona,

odnosno dva vodikova atoma. U ovoj reakciji jedan proton postaje neutron i nastaje deuterij – izotop vodika. Kako je za tu reakciju potrebna energija, oslobađaju se pozitron (antielektron) i neutrino. Deuterij se zatim spoji s još jednim protonom čime nastaje izotop helij-3. U zadnjem se koraku takva dva izotopa spoje čime nastane α čestica koja je gotovo identična atomu helija, osim što nema elektrona, te zbog toga ima 2^+ naboj (Slika 1) (hyperphysics.phy-astr.gsu.edu).



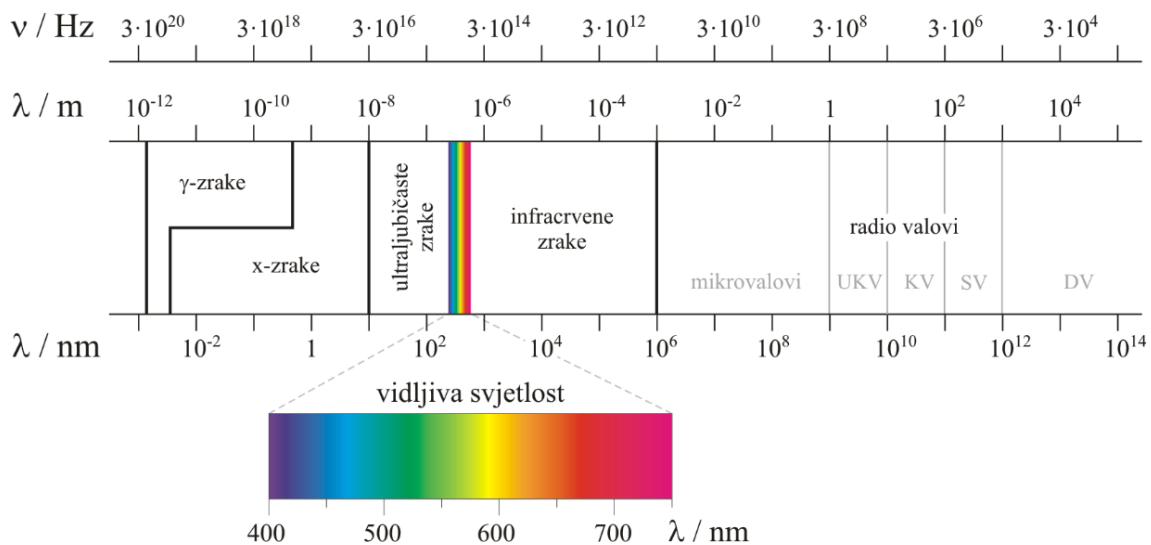
Slika 1. Proton – proton fuzija

(Prilagođeno prema: hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)

No kako je ovakva reakcija uopće moguća? Za to, naravno, moraju postojati zadovoljavajući uvjeti. Vodik je najbrojniji element u Suncu tako da 90% svih atoma čine upravo oni vodikovi. Nadalje, bitan čimbenik je i već spomenuta temperatura jezgre koja je potrebna da se pokrene lančana reakcija. Tako visoka temperatura u Sunčevoj jezgri postoji zbog hidrostatičke ravnoteže – ravnoteže između gravitacije koja radi golem pritisak prema središtu zvijezde zbog same njene mase te tlaka plina koji joj se opire. Kako je temperatura tih atoma zapravo njihova prosječna kinetička energija, više te energije znači da će se više atoma u svakom trenutku sudarati s ostalim atomima jezgre određenom silom, a upravo je ta sila tlak plina. Kada te dvije sile ne bi bile u ravnoteži Sunce bi ili kolabiralo pod vlastitom težinom, ili bi se raspršilo u svemiru (www.ucolick.org).

2.2 Putovanje energije do Zemlje

Na površini Sunca temperatura iznosi oko 6000 K, što odgovara boji koju vidimo kada gledamo Sunce. Zašto je razlika u temperaturi između jezgre i površine tako velika? Ukratko, fotoni koji također nastaju u već spomenutim reakcijama u jezgri su zapravo γ čestice (Slika 2), dakle posjeduju vrlo visoku energiju. Oni se kreću prema površini, no kako je jezgra Sunca izrazito velika, sudaraju se s mnogim drugim česticama na svojem putu te svakim sudarom izgube nešto energije, odnosno povećava im se valna duljina (solarsystem.nasa.gov).



Slika 2. Spektar elektromagnetskog zračenja

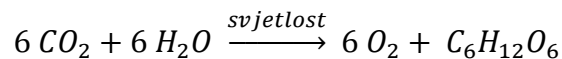
(www.periodni.com)

S površine Sunca emitira se energija većinom u infracrvenom (IC), vidljivom te ultraljubičastom (UV) dijelu spektra (Slika 2) u svim smjerovima (environ.andrew.cmu.edu), a dio tog Zračenja stiže i do Zemlje, koja se nalazi na iznimno povoljnom položaju jer ne prima niti previše niti premalo svjetlosti i topline, što je omogućilo relativno brz razvoj života kakvog poznajemo (earthguide.ucsd.edu).

3. FOTOSINTEZA

Pretvorba energije u živim organizmima započinje fotosintezom u fotoautotrofnim organizmima i dalje se pretvara drugim biosintetskim putevima u druge spojeve te se kroz hranidbene lance prenosi sve do drugih heterotrofnih organizama (Cooper i Hausman, 2007). U tom početnom procesu se uz pomoć svjetlosne energije stvaraju ugljikohidrati iz ugljikovog dioksida i vode koja služi kao reducens (Nelson i Cox, 2005). Fotosintezu su sposobne obavljati bakterije, alge i vaskularne biljke. Budući da se radi o izuzetno različitim organizmima neki

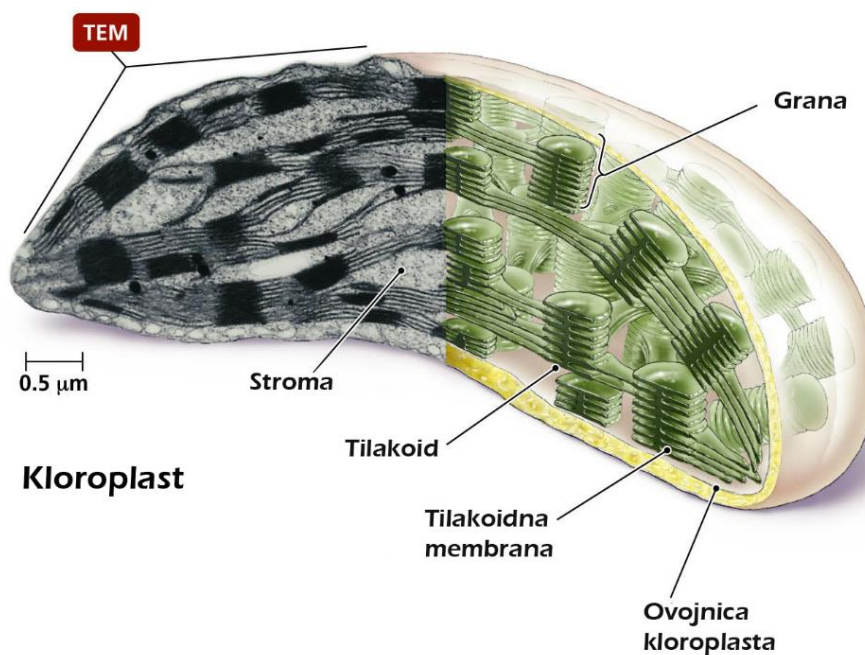
dijelovi biokemijskog puta se razlikuju, no osnovni princip je jednak. Stoga se cijela reakcija poopćuje jednadžbom:



U ovoj reakciji ugljikov dioksid je reduciran tako da je voda elektron donor (Nelson i Cox, 2005).

3.1 Kloroplasti

Prije nego što počnemo govoriti o mehanizmima fotosinteze moramo se upoznati s okolišem u kojemu se ta reakcija odvija, tj. kloroplastima. To su biljne organele obavijene dvostrukom membranom – ovojnicom kloroplasta. Unutar tih membrana se nalazi još jedan membranski sustav, tilakodne membrane. U tom se sustavu odvija dio fotosinetskih reakcija ovisnih o svjetlosti. Tilakoidne membrane tvore plosnate oblike koji su naslagani jedan na drugi i nazivaju se grana, dok se pojedinačne pločice nazivaju tilakoide. Prostor unutar tilakoidne membrane se naziva lumen, a prostor izvan tilakoida, ali unutar dvostruke membrane se naziva stroma. U stromi se odvijaju reakcije fotosinteze koje su nezavisne o svjetlosti, tj. Calvinov ciklus. Zaseban prostor je onaj između dvostruke ovojnice kloroplasta, no on ne sudjeluje u fotosintezi (Slika 3) (Cooper i Hausman, 2007).



Slika 3. Građa kloroplasta
(Prilagođeno prema: academic.pgcc.edu)

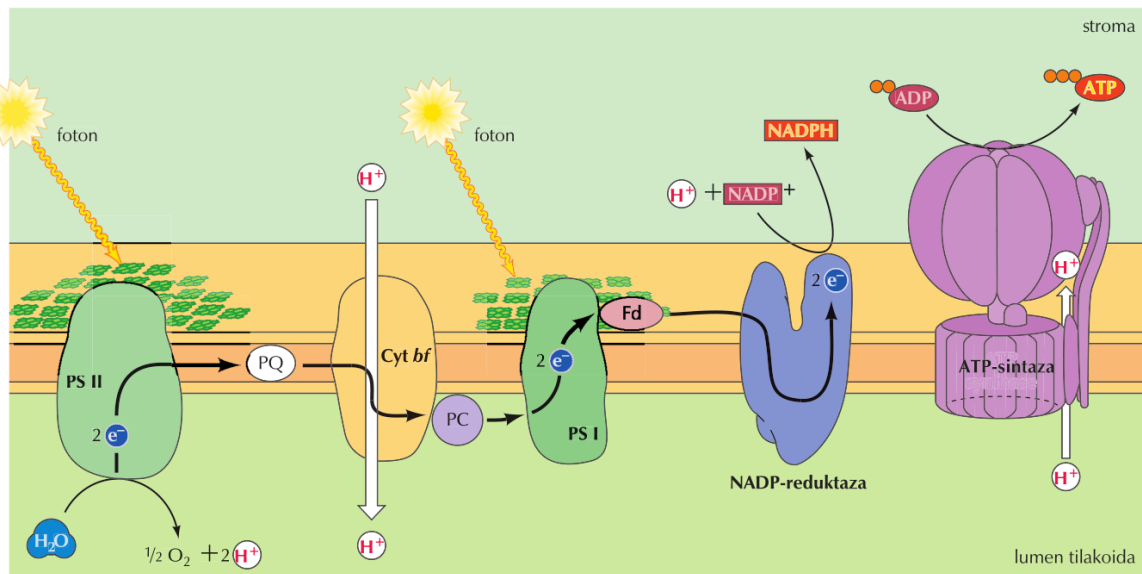
3.2 Reakcije na svjetlu

Na tilakoidnoj membrani se nalazi pet kompleksa bjelančevina koji kloroplaste opskrbljuju energijom koja će se koristiti u stromi za proizvodnju glukoze. Dva takva kompleksa su fotosustavi I i II koji su jedinstveni jer se u njima događa apsorpcija svjetla, odnosno pretvorba svjetlosne energije u kemijsku. Proces započinje u fotosustavu II. U tom fotosustavu se nalazi klorofil, zeleni pigment koji apsorbira svjetlost, tj. fotone. Apsorbirani fotoni pobuđuju elektrone unutar molekula pigmenta i takvi visokoenergetski elektroni se prenose pomoću plastokinina na sljedeći kompleks (Cooper i Hausman, 2007).

Tako izgubljeni elektroni iz fotosustava II se nadomještaju fotolizom vode. U toj reakciji molekula vode iz lumena se oksidira, čime nastaju protoni i molekula kisika koja se kasnije koristi u drugim staničnim procesima, a višak se ispušta u atmosferu (Nelson i Cox, 2005).

Sljedeći kompleks bjelančevina je citokrom *bf* u kojem elektroni prelaze u niže energetske stanje. To rezultira prijenosom protona iz strome u lumen čime se stvara protonski gradijent (za taj proces je potrebna energija jer je tilakoidna membrana nepropusna za protone). Energiju tog gradijenta koristi još jedan kompleks bjelančevina, ATP-sintaza, za fosforilaciju ADP-a u ATP (Cooper i Hausman, 2007; Nelson i Cox, 2005).

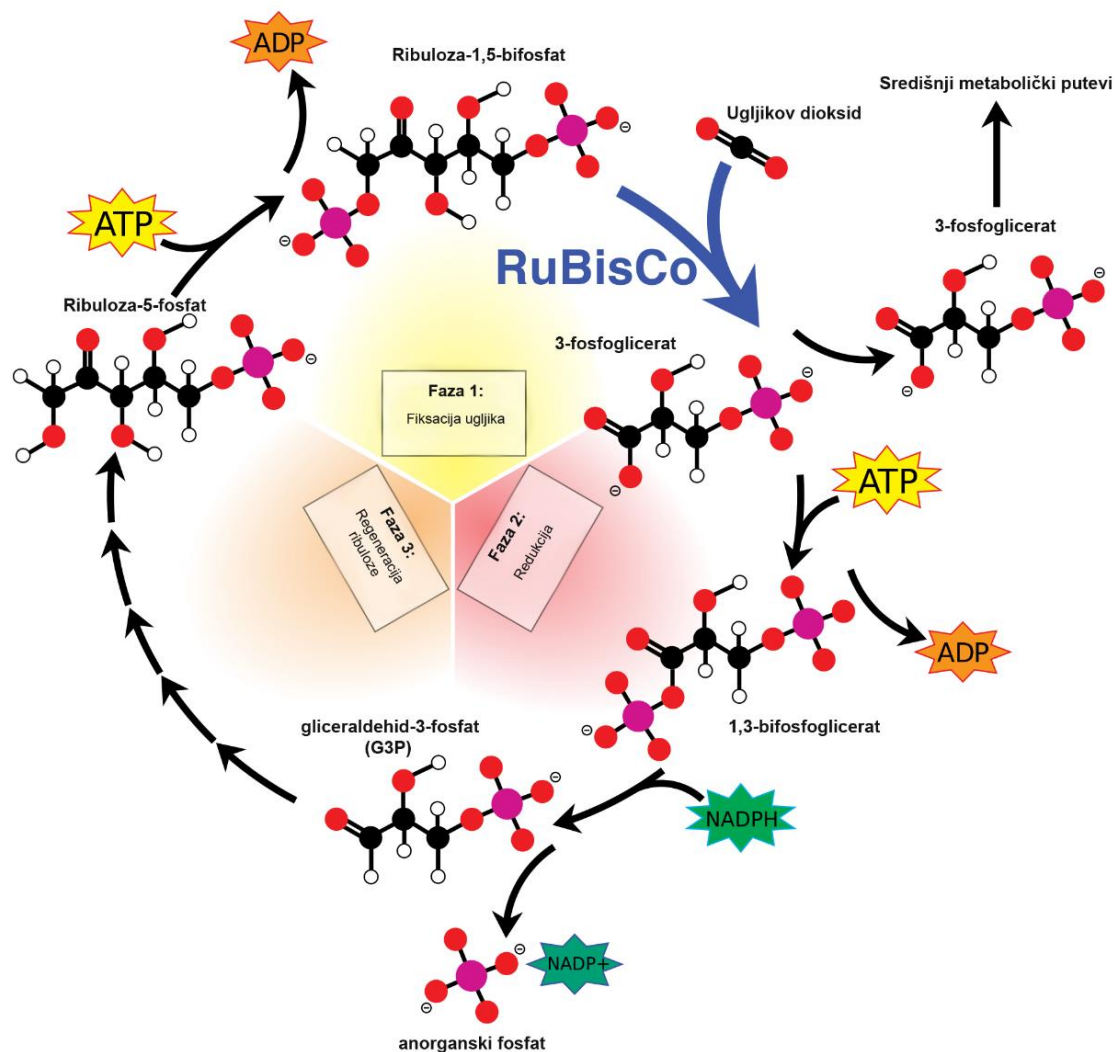
Iz citokroma se, pomoću plastocijanina, obavlja transport elektrona u fotosustav I. Ondje se ponovo apsorbira svjetlost, i ta energija stvara visokoenergetske elektrone koji se feredoksinom prenose do sljedećeg kompleksa bjelančevina NADP-reduktaze koja, pak, te elektrone prenosi na NADP^+ u stromi te ih reducira u NADPH. (Slika 4) Produkti fotosustava I i II, NADPH i ATP, se dalje koriste u Calvinovom ciklusu. (Cooper i Hausman, 2007).



*Slika 4. Reakcije na svjetlu
(Cooper i Hausman, 2002)*

3.3 Reakcije neovisne o svjetlu – Calvinov ciklus

Calvinov ciklus je ciklus reakcija koji se odvija u stromi, a koristi sveukupno 18 molekula ATP-a i 12 molekula NADPH za stvaranje jedne molekule glukoze. Ovaj ciklus sastoji se od tri faze. U prvoj fazi, fazi fiksacije ugljika, 6 molekula ugljikovog dioksida se dodaje na ribulozu -1,5- bifosfat iz čega nastane 12 molekula 3-fosfoglicerata. U drugoj se fazi, fazi redukcije, u dva koraka uz pomoć ATP-a i NADPH 3-fosfoglicerat pretvara u gliceraldehid-3-fosfat (G3P) čije su dvije molekule potrebne za sintezu jedne molekule glukoze. Ostalih 10 molekula G3P-a ulaze u treću fazu ciklusa, fazu regeneracije ribuloze, kako bi ciklus mogao krenuti ispočetka. Od tih 10 molekula G3P-a nastat će 6 molekula ribuloze-5-fosfata, dok će iz njih uz utrošak od 6 ATP-a nastati 6 molekula ribuloze-1,5-bifosfata kojima je ciklus i počeo (Slika 5) (Cooper i Hausman, 2007).



Slika 5. Calvinov ciklus
(Prilagođeno prema: www.wikipedia.org)

4. UGLJIKOHIDRATI

Jednostavni šećeri poput glukoze su glavni izvori energije za stanicu, dok su polisaharidi glikogen u životinja i škrob u biljaka skladišni oblici šećera (Cooper i Hausman, 2007).

Biljke glukožu dobivaju fotosintezom ili razgradnjom škroba, a životinje ju dobivaju kroz prehranu ili ju moraju nanovo sintetizirati. Taj proces se naziva glukoneogeneza, a najčešće započinje laktatom (nastao glikolizom), amino kiselinama (nastalim razgradnjom bjelančevina) ili glicerolom (nastalim razgradnjom masti). Svim tim spojevima je zajedničko da sadrže lanac od tri ugljika. Biljke mogu sintetizirati glukožu iz masnih kiselina za vrijeme klijanja sjemena kada još ne mogu fotosintetizirati. Taj proces se odvija u peroksisomima i

naziva se glikosilatnim ciklusom te je sličan ciklusu limunske kiseline. (Cooper u Hausman, 2007, Nelson i Cox, 2005).

Glukoza je vjerojatno najvažnija molekula u metabolizmu živih organizama jer ju nalazimo u gotovo svim organizmima, od bakterija do kralješnjaka. Kada potroše svu glukozu i zalihe glikogena zbog nedostatka hrane ili pojačane tjelesne aktivnosti, kod sisavaca započinje glukoneogeneza u jetri, te manjim dijelom u bubrezima (Nelson i Cox, 2005).

Iako glikoliza i glukoneogeneza na prvi pogled izgledaju kao ista reakcija koja se odvija u suprotnim smjerovima (Slika 6), one nisu reverzibilne reakcije. Razlikuju se u tri koraka koja su u smjeru glukoneogeneze u živoj stanici ireverzibilne. Ta prepreka se svladava uz pomoć enzima koji ih kataliziraju kako bi bile dovoljno egzergone, odnosno kako bi promjena u slobodnoj energiji bila negativna tj. kako bi se reakcijom dobila slobodna energija (Nelson i Cox, 2005).

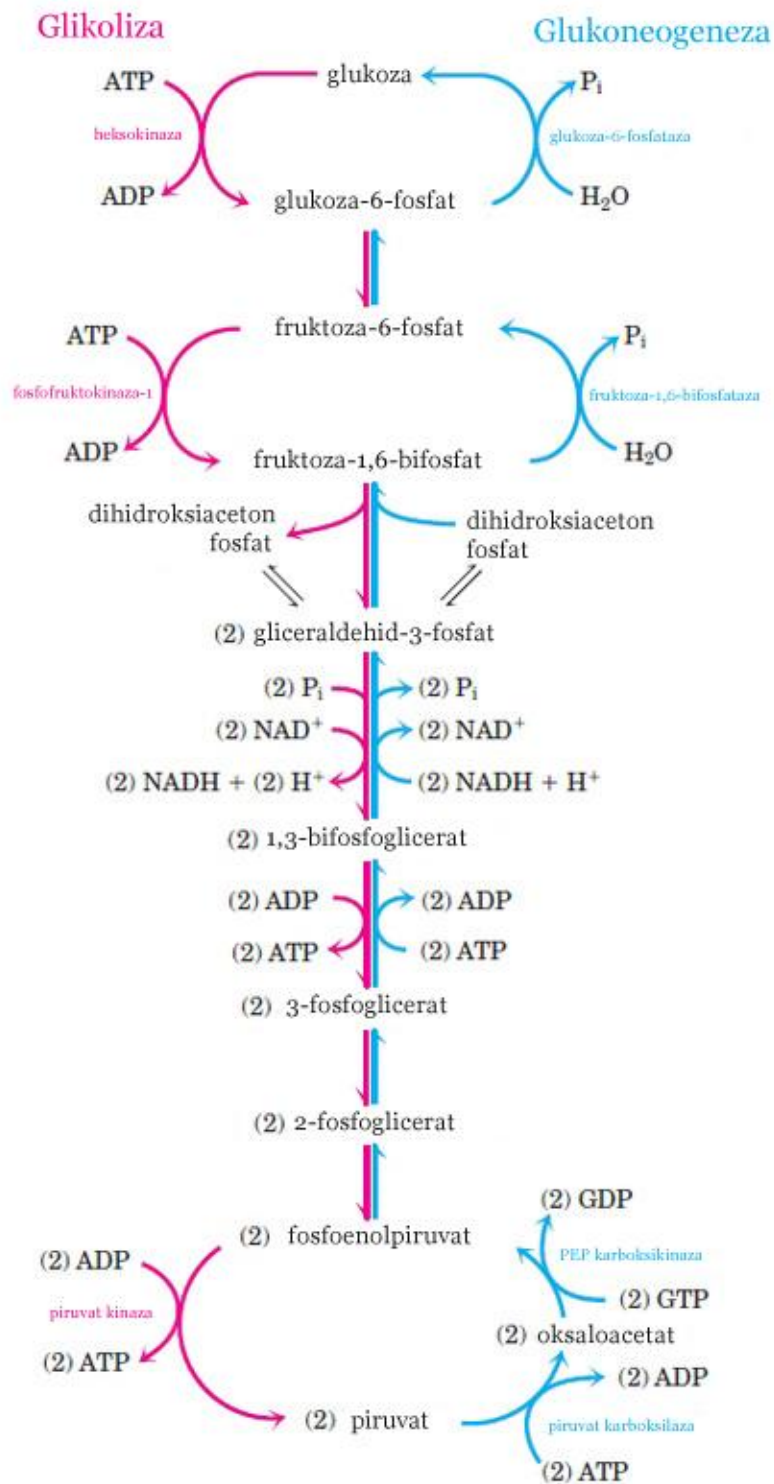
4.1 Glikoliza

Glikoliza je anaeroban proces razgradnje glukoze koji rezultira dvjema molekulama piruvata i oslobađanjem slobodne energije u obliku 2 ATP-a i 2 NADH. Ova reakcija je osnova katabolizma glukoze, a u nekim stanicama sisavaca poput eritrocita, neurona u mozgu i spermalnih stanica je i jedini izvor energije, kao i anaerobnim organizmima. Važnost glikolize nam uviđa i činjenica da su se prvi organizmi pojavili u doba kada su na Zemlji vladali anaerobni uvjeti, pa je tako anaerobna razgradnja glukoze vjerojatno jedan od najstarijih metaboličkih procesa (Nelson i Cox, 2005).

Cijela reakcija se sastoji od deset koraka podijeljenih u dvije faze. Prva faza je faza pripreme (eng. *preparatory phase*), a čini ju prvih pet koraka. U toj se fazi molekula glukoze priprema za cijepanje i, konačno, oslobađanje energije. Prvo se glukoza fosforilira u D-glukozu-6-fosfat. Dobiveni spoj se ponovo fosforilira kako bi nastala D-fruktoza-1,6-bisfosfat. U oba slučaja fosfatna skupina se dobiva iz ATP-a. D-fruktoza-1,6-bisfosfat se zatim cijepa iz čega nastaju 2 izomera s lancem od tri atoma ugljika: dihidroksiaceton fosfat i G3P. Prema ovom je koraku cijepanja, tj. lize cijeli mehanizam dobio ime. Dihidroksiaceton se pomoću odgovarajućeg enzima pretvara u svoj izomer, odnosno u drugu molekulu G3P-a čime završava prva faza glikolize (Slika 6) (Nelson i Cox, 2005).

Druga faza je faza dobivanja energije (eng. *payoff phase*), u kojoj će se vratiti uloženi ATP i osloboditi dodatna energija. Obje molekule G3P-a će biti fosforilirane anorganskim fosfatom čime će nastati 1,3-bisfosfoglicerat. U sljedeća četiri koraka će se te dvije molekule pretvoriti u piruvat oslobađajući slobodnu energiju. U ovoj fazi energija je očuvana nastajanjem

dvije molekule NADH, a sveukupno su dobivene dvije molekule ATP-a. U cijelom procesu tri su bitne kemijske promjene: degradacija glukoze u piruvat, fosforilacija ADP-a u ATP te stvaranje NADH prijenosom hidridnog iona na NAD^+ (Slika 6) (Nelson i Cox, 2005).



Slika 6. Glikoliza i glukoneogeneza
(Prilagođeno prema: Nelson i Cox, 2005)

4.2 Glukoneogeneza

Kako su glikoliza i glukoneogeneza većinom jednaki procesi u obrnutom smjeru (Slika 6.), za ovaj mehanizam će biti dovoljno opisati samo tri koraka u kojima se razlikuju. Prva razlika je ujedno i prvi korak samog mehanizma, a to je pretvorba piruvata u fosfoenolpiruvat, za što su naravno potrebni enzimi, a to su prvo piruvat karboksilaza, te zatim fosfoenolpiruvat (PEP) karboksikinaza. Druga razlika je u osmom koraku mehanizma, a to je pretvorba D-fruktoze-1,6-bifosfata u D-fruktozu-6-fosfat. Ovu reakciju omogućuje fruktoza-1,6-bifosfofataza (FBPaza-1) hidrolizom, čime se dobije potrebna molekula šećera i anorganska fosfatna skupina (P_i). Posljednja razlika je u posljednjem koraku mehanizma, pri samom stvaranju glukoze. Reakcija pretvorbe glukoze-6-fosfata bi zahtijevala prijenos fosfatne skupine s ADP-a na ATP, što u ovom slučaju nije nikako energetski isplativo, stoga glukoza-6-fosfataza katalizira hidrolizu glukoze-6-fosfata. Time nastaje glukoza i, ponovo, anorganska fosfatna skupina (Slika 6) (Nelson i Cox, 2005).

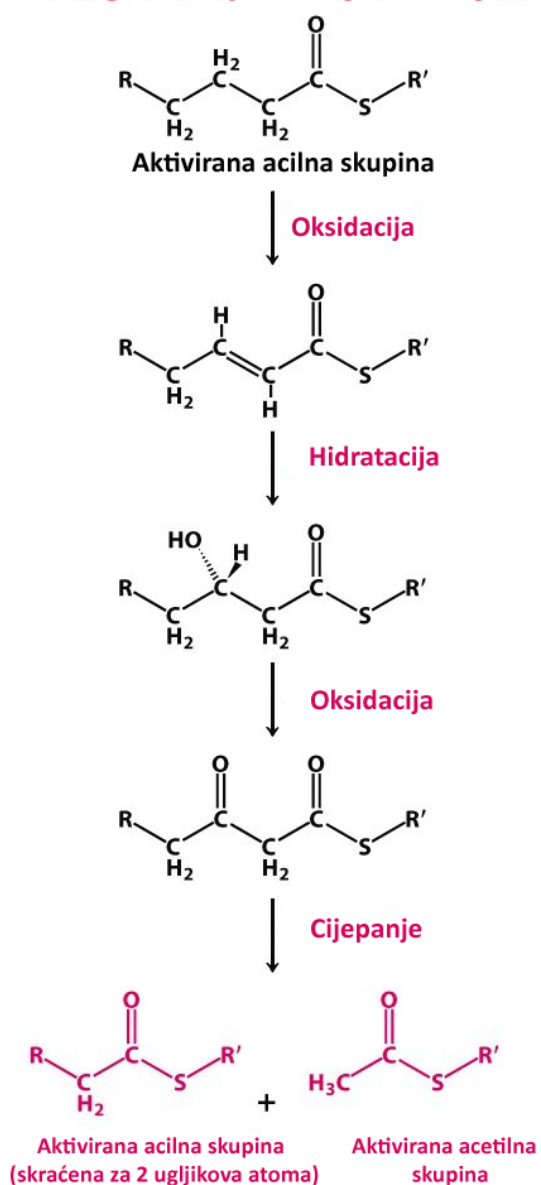
5. MASTI

Osim nekih oblika ugljikohidrata, važni spojevi za skladištenje energije su i masti. Nalazimo ih u masnome tkivu životinja te sjemenju biljaka (enciklopedija.lzmk.hr). Gledajući masu, u mastima se može spremati dvostruko više energije nego u ugljikohidratima ili bjelanjčevinama (www.britannica.com). Ovdje će ukratko biti opisana sinteza masnih kiselina koje su sastavni dijelovi drugih važnih spojeva u organizmu poput triglicerida i fosfolipida (Nelson i Cox, 2005).

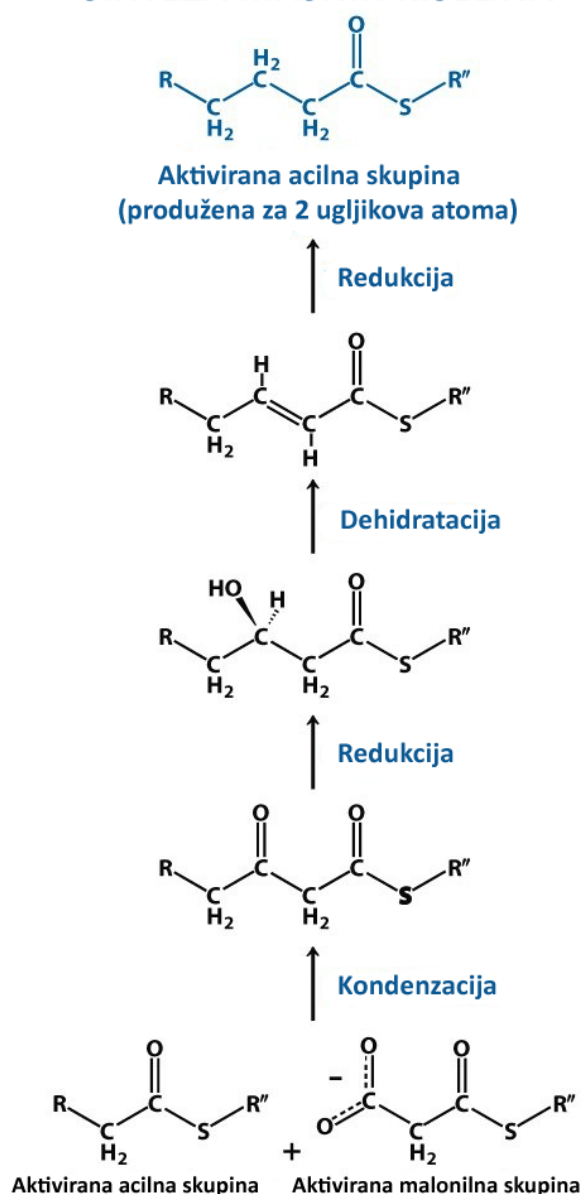
5.1 Sinteza masnih kiselina

Sinteza masnih kiselina kod sisavaca se odvija u stanicama adipoznog tkiva i u jetri, i to u citosolu, te dijelom i u peroksisomima. Za sintezu je potreban acetyl-CoA koji nastaje razgradnjom ugljikohidrata (Cooper i Hausman, 2007), no neizostavan je i malonil-CoA koji se stvara iz acetila uz pomoć acetyl-CoA karboksilaze (Nelson i Cox, 2005). Malonil i acetyl se zatim kondenziraju tvoreći lanac od četiri ugljikova atoma, jedan od dijelova budućeg produkta. Tada se reducira karbonilna skupina nakon čega još dolazi do dehidracije. Naposljetku dolazi do još jedne redukcije koja daje butiril-CoA koji se kondenzira s još jednom malonilnom skupinom, a proces se ponavlja sve dok se ne stvori lanac od 16 ugljika (Slika 7) (Berg i dr., 2002).

RAZGRADNJA MASNIH KISELINA



SINTEZA MASNIH KISELINA



Slika 7. Razgradnja i sinteza masnih kiselina

(Prilagođeno prema: Nelson i Cox, 2005)

6. BJELANČEVINE

Neke od glavnih uloga bjelančevina u živim organizmima su građevne, transportne ili enzimske, no one mogu služiti i kao izvor energije. Razlikuju se od ugljikohidrata i masti po tome što sadrže dušik. Neke bakterije mogu fiksirati dušik izravno iz atmosfere, a neke biljke, poput mahunarki, fiksiraju ga pomoću simbionata (mikoriza). Životinje potreban dušik

dobivaju iz prehrane. Da bi elementarni dušik (N_2) bio iskoristiv treba se reducirati u amonijak (NH_3) pomoću NADPH (Cooper i Hausman, 2007).

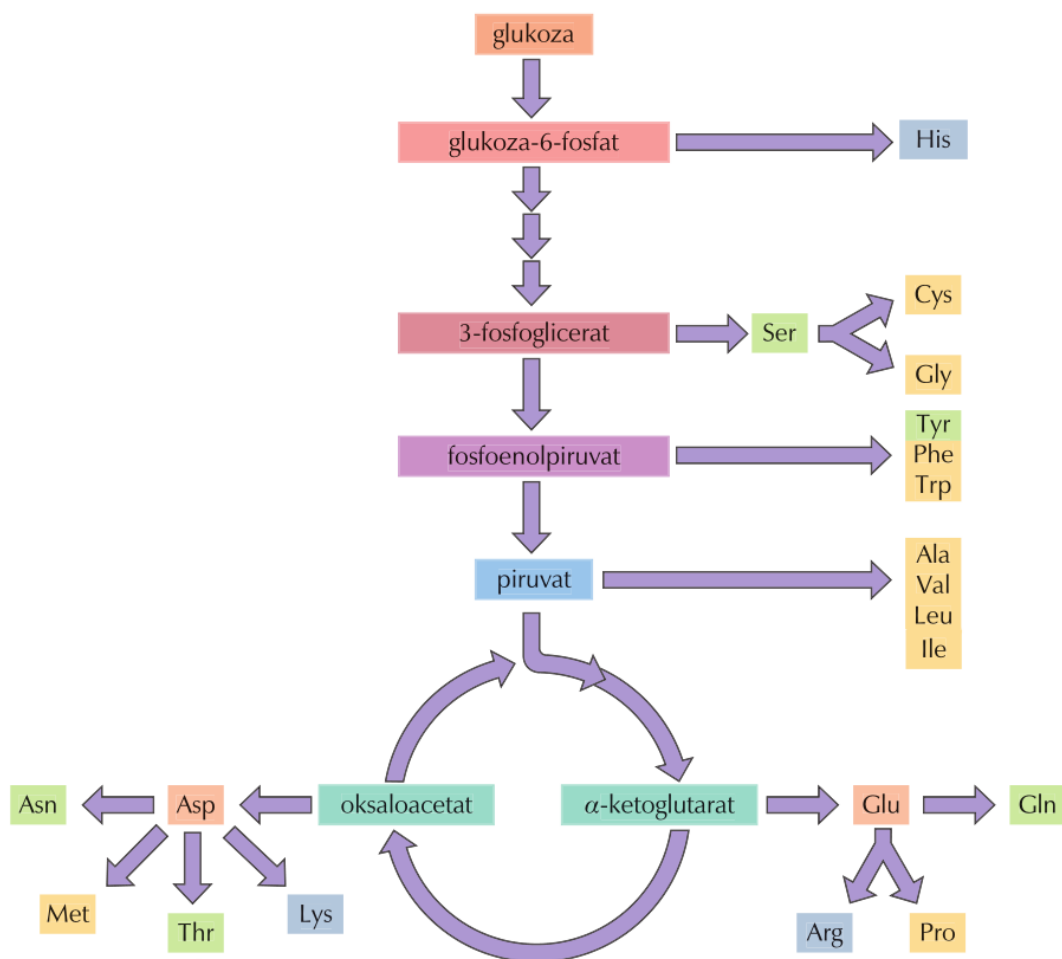
Bjelančevine su polimeri aminokiselina pri čemu je njihov redosljed ključan. Većina bakterija i biljaka može sintetizirati svih 20 aminokiselina potrebnih za sintezu bjelančevina, no sisavci mogu samo polovicu, i to one s jednostavnijim mehanizmima sinteze. Te aminokiseline se nazivaju neesencijalne, dok se one koje se mogu dobiti samo unosom iz hrane nazivaju esencijalnim. Ti spojevi, osim što su važni intermedijeri u raznim metaboličkim putevima, mogu također služiti i kao izvor energije (Nelson i Cox, 2005).

6.1 Sinteza aminokiselina

Aminokiseline se mogu podijeliti u šest skupina, ovisno o porijeklu ugljikova kostura, no svi prekursori dolaze od glukoze i reakcijskim nizom prelaze jedan u drugoga (Slika 8). Prve četiri skupine, odnosno prekursora dolaze iz glikolize. To su D-glukoza-6-fosfat iz koje će nastati histidin, 3-fosfoglicerat iz kojeg se dobiva serin (a iz serina glicin i cistein), fosfoenolpiruvat koji daje triptofan, fenilalanin i tirozin te piruvat koji je osnova za alanin, valin, leucin i isoleucin. Preostala dva prekursora dolaze iz ciklusa limunske kiseline. α -ketoglutarat će dati glutamatnu kiselinu, iz koje će pak nastati glutamin, prolin i arginin. Oksaloacetat daje aspartatnu kiselinu iz koje dalje nastaju asparagin, metionin, treonin i lizin (Slika 8) (Nelson i Cox, 2005).

6.2 Sinteza bjelančevina

Sinteza bjelančevina složen je proces koji se razlikuje od skupine do skupine organizama, no u pravilu se može podijeliti na pet glavnih koraka. Prvi je aktivacija aminokiselina, u kojem se aktivira karboksilna skupina na svakoj pojedinoj aminokiselini, kako bi se omogućilo stvaranje peptidnih veza, te povezivanje mRNA i potrebnih aminokiselina. To se postiže pričvršćivanjem aminokiseline na tRNK u citosolu, koje dopremaju aminokiseline do ribosoma. Zatim slijedi korak inicijacije u kojem se mRNA s informacijom za sintezu polipeptida pričvršćuje za ribosom i očitava se početni kodon AUG. Sljedeći korak je elongacija gdje se dodaju sve potrebne amino kiseline, a završit će jednim od stop kodona te biti otpušten s ribosoma. To je terminacija. Posljednji korak je aktivacija bjelančevina, pri čemu im se na razne načine mijenja konformacija kako bi dobile svoj funkcionalan oblik (Nelson i Cox, 2005).

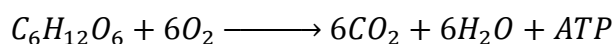


Slika 8. Sinteza amino kiselina

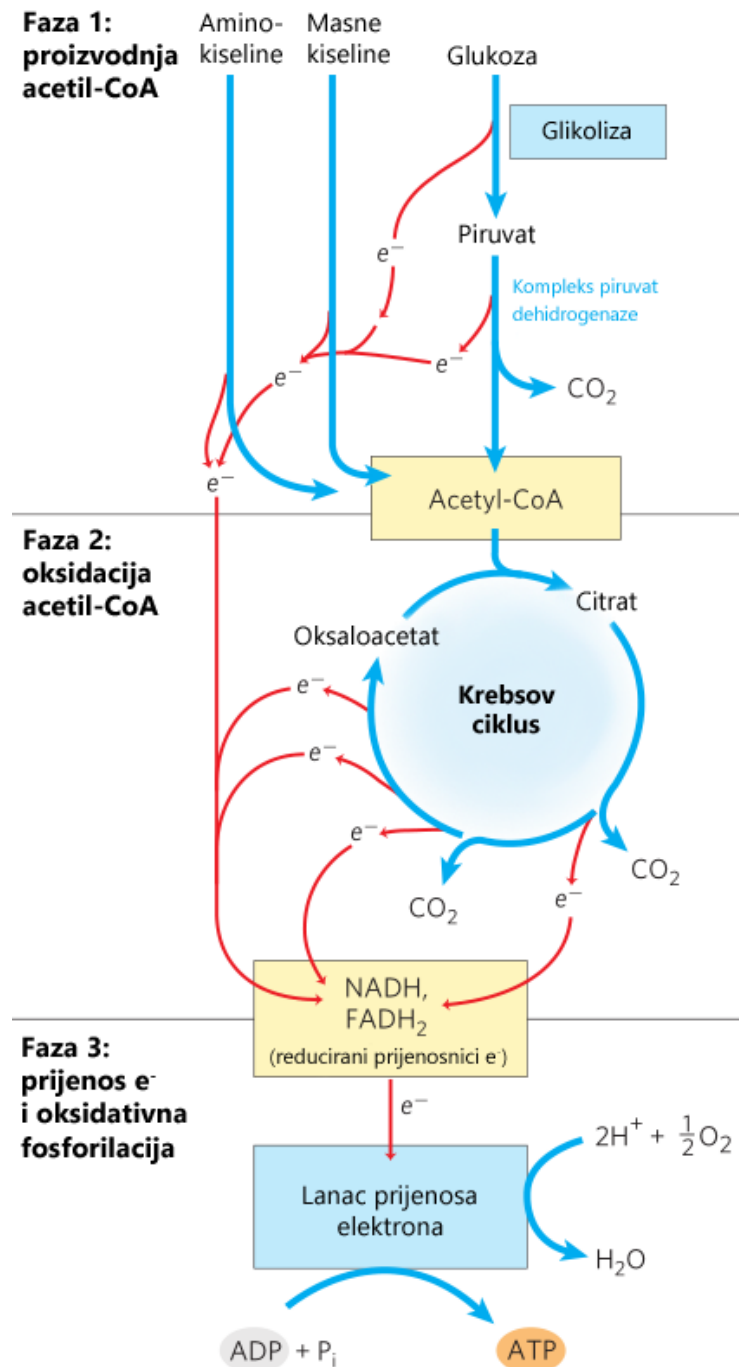
(Prilagođeno prema: Cooper i Hausman, 2002)

7. STANIČNO DISANJE

Uz fotosintezu, najvažniji proces u pretvorbi energije u živim organizmima je stanično disanje. To je metabolički proces koji se sastoji od tri glavna dijela: glikolize, Krebsovog ciklusa ili ciklusa limunske kiseline te oksidativne fosforilacije, a glavna mu je zadaća stvaranje ATP-a. Ako pogledamo pojednostavljenu jednadžbu ovog procesa, primijetit ćemo da je suprotna jednadžbi fotosinteze:



Dakle, procesom staničnog disanja oslobađa se energija pohranjena u glukozi, i to znatna količina – iz jedne molekule glukoze stvara se oko 30 molekula ATP-a. Glikoliza, već opisani prvi korak procesa, odvija se u citoplazmi i rezultatno daje svega 2 ATP-a, dok se ostatak odvija u mitohondrijima (Slika 9) (www.britannica.com).



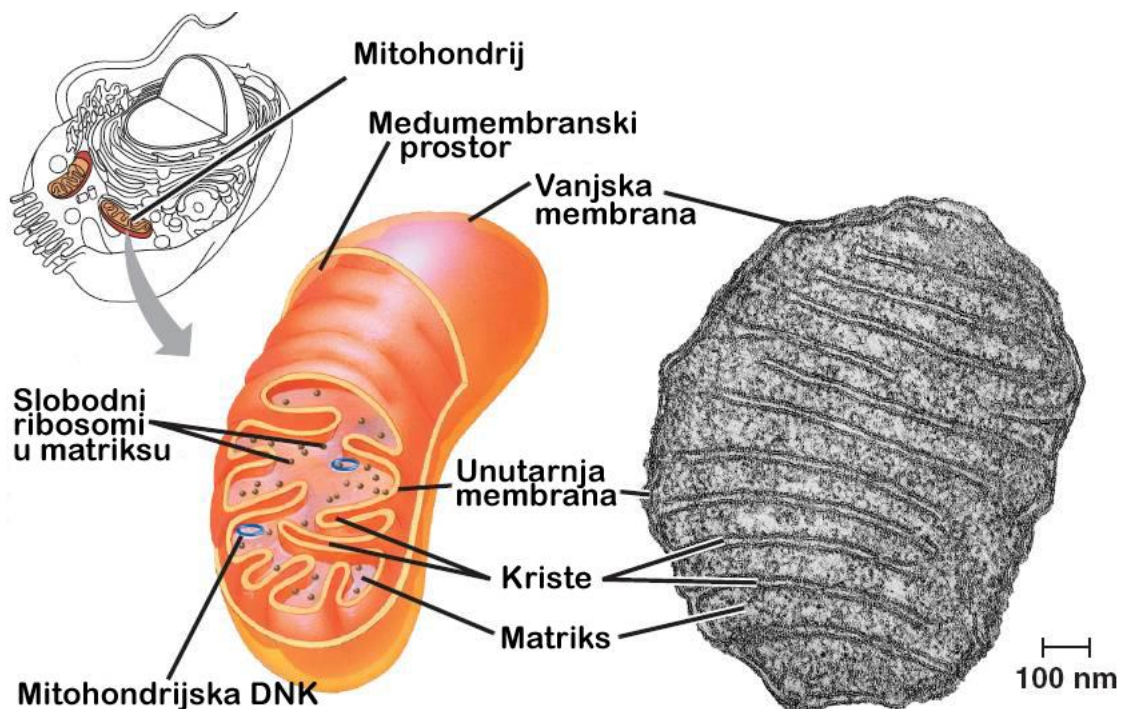
Slika 9. Stanično disanje

(Prilagođeno prema: Nelson i Cox, 2005)

7.1 Mitochondriji

Mitochondriji su stanični organeli uvelike slični kloroplastima; imaju vlastitu DNK, ribosome i dvostruki sustav membrana. Unutarnja membrana tvori mnoge nabore (kriste) radi povećanja površine, a prostor unutar nje naziva se matriks. Prostor između vanjske i unutarnje membrane naziva se međumembranski prostor. Unutar ovih organela odvija se i kataboliza masnih kiselina, poznata kao β -oksidacija, čiji produkti acetil-CoA, NADH i $FADH_2$ imaju

važnu ulogu u staničnom disanju. Dio oksidacije masnih kiselina odvija se i u peroksisomima, a kod biljaka i gljiva samo je u njima i moguća (Slika 10) (Cooper i Hausman, 2007).



Slika 10. Građa mitohondrija

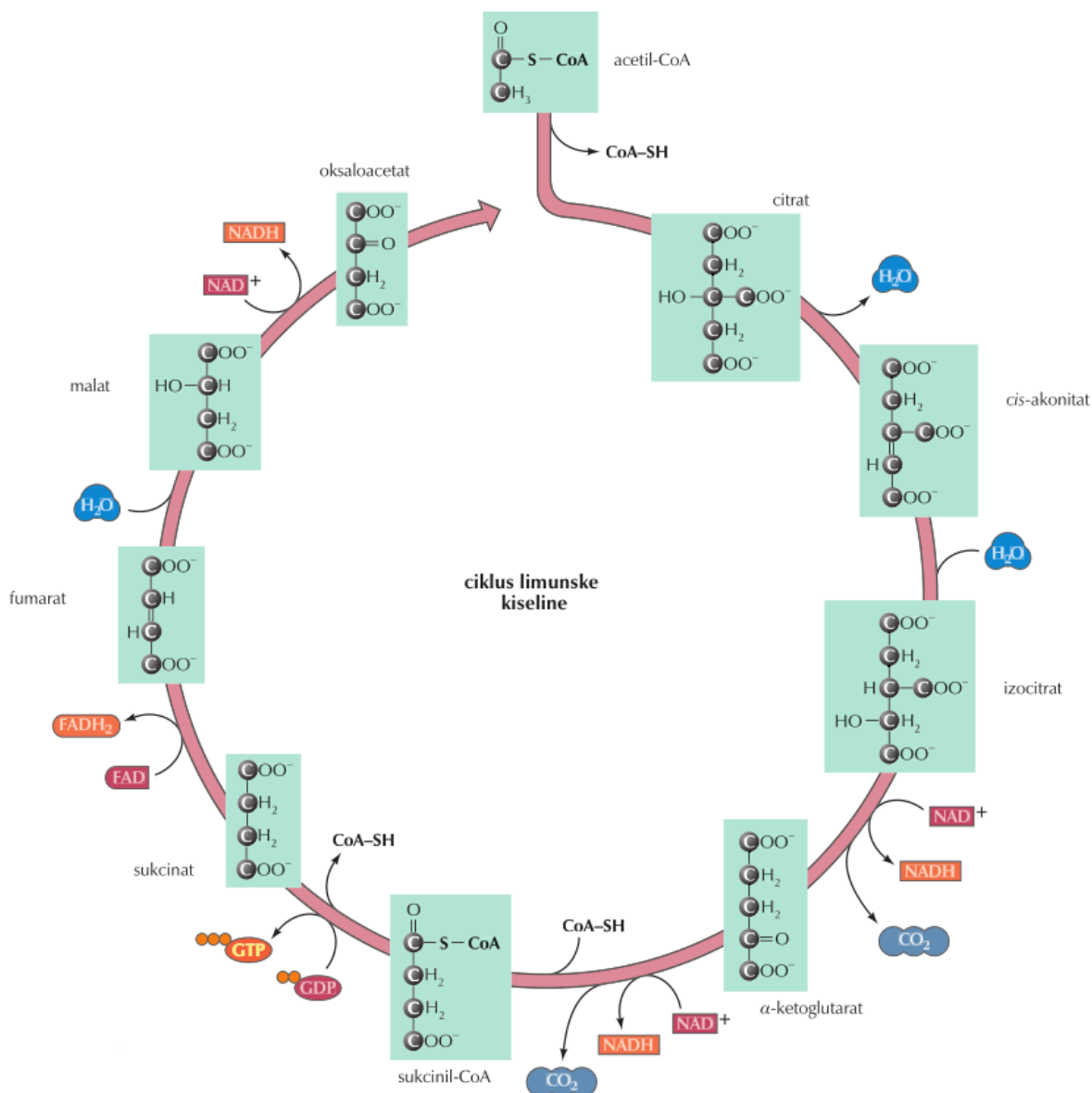
(Prilagođeno prema: bio1151.nicerweb.com)

7.2 Krebsov ciklus – ciklus limunske kiseline

Krebsov ciklus, ili ciklus limunske kiseline, sastoji se od niza reakcija u kojima se jedna molekula acetil-CoA oksidira do šest molekula ugljikovog dioksida. To je centralni mehanizam u oksidativnom metabolizmu (Cooper i Hausman, 2007).

Nakon što glikolizom nastanu potrebni piruvati, transportiraju se u mitohondrij gdje se vrši njihova oksidativna dekarboksilacija pomoću CoA, koji prima alkilnu skupinu i postaje acetil-CoA, uz reduciranje jedne molekule NAD^+ u NADH. Dodavanjem acetilne skupine s acetila-CoA na oksoacetat započinje Krebsov ciklus. Dva ugljika s dobivenog citrata (po kojemu je ciklus i dobio ime) se oksidiraju do CO_2 kroz nekoliko koraka, čime ponovo nastaje oksoacetat i ciklus se nastavlja. Važni međuprodukti u ovom ciklusu su sukcinat i fumarat koji kasnije sudjeluju u oksidativnoj fosforilaciji (Slika 11) (Cooper i Hausman, 2007).

Iz jedne molekule glukoze će tako nastati šest molekula CO_2 , dvije molekule ATP-a (točnije, njegovog energetskeg ekvivalenta GTP-a), osam molekula NADH (dvije od pretvorbe piruvata u acetil-CoA i ostatak od samog Krebsovog ciklusa) te dvije molekule FADH_2 (Cooper i Hausman, 2007).



Slika 11. Krebsov ciklus
(Cooper i Hausman, 2002)

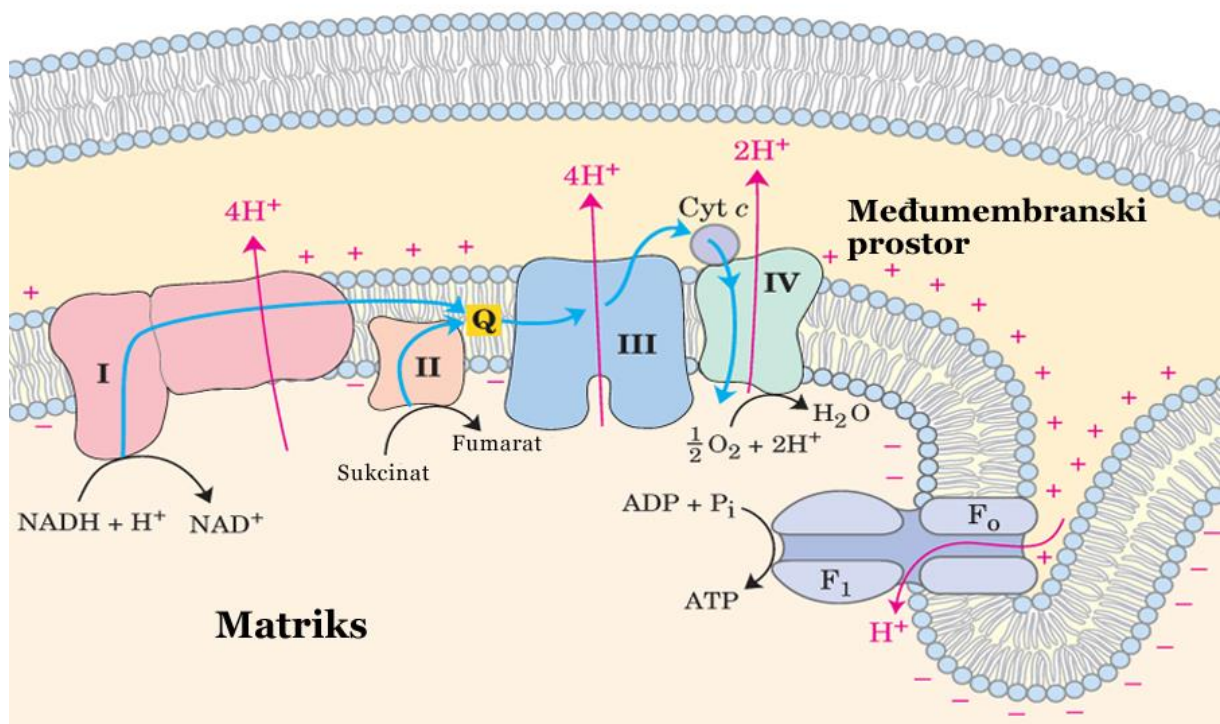
7.3 Oksidativna fosforilacija i lanac prijenosa elektrona

Posljednji korak u staničnom disanju je proces oksidativne fosforilacije. To je metabolički put za sintezu ATP-a koji kao izvor energije koristi energetski povoljan prijenos elektrona, a gdje je kisik posljednji elektron akceptor. Proces se odvija na tzv. lancu prijenosa elektrona koji se sastoji od niza kompleksa bjelančevina koji prenose elektrone kroz unutarnju membranu mitohondrija. Ovaj mehanizam je znatno učinkovitiji od fermentacije jer daje 30 – 32 ATP- a za svaku molekulu glukoze (Cooper i Hausman, 2007).

U lancu prijenosa elektrona postoji pet kompleksa bjelančevina. Prva četiri sudjeluju u transportu elektrona s NADH, odnosno FADH₂, dok je peti ATP sintaza. Kao i u fotosintezi,

ATP sintaza koristi protonski gradijent između mitohondrijskog matriksa i međumembranskog prostora kako bi oksidirala ADP u ATP (Cooper i Hausman, 2007).

Prvi kompleks, NADH dehidrogenaza, prima elektrone s NADH. S njega prelaze na koenzim Q, poznat kao i ubikinon, što oslobađa energiju. S ubikinona se prenose treći, citokrom bc1 kompleks, gdje se prenose s citokroma *b* na citokrom *c* oslobađajući još energije. Citokrom *c* prenosi elektrone na kompleks IV, odnosno citokrom *c* oksidazu. Tu se kisik reducira u vodu i tom reakcijom se oslobađa najveća energija u cijelom mehanizmu (Slika 12) (Cooper i Hausman, 2007).



Slika 12. Transportni lanac elektrona
(Prilagođeno prema: Nelson i Cox, 2005)

Prijenos elektrona s FADH₂ počinje od kompleksa II, sukcinat dehidrogenaze. Taj kompleks prima elektrone sa sukcinata, međuprodukata Kalvinovog ciklusa, i prenosi ih na FADH₂. Elektrone preuzima ubikinon i prenosi ih na kompleks III otkuda se nastavlja kao i prijenos elektrona s NADH. Razlika je u tome što prijenos elektrona s FADH₂ na ubikinon ne oslobađa toliko energije jer nije protonska pumpa (Slika 12) (Cooper i Hausman, 2007).

8. ISKORIŠTAVANJE ENERGIJE

Energija stvorena staničnim disanjem velikim dijelom se koristi za pokretanje organizma, pretvarajući se u mehaničku energiju kontrakcijama mišića, te za održavanje tjelesne temperature kod endotermnih organizama, pretvarajući se u toplinu.

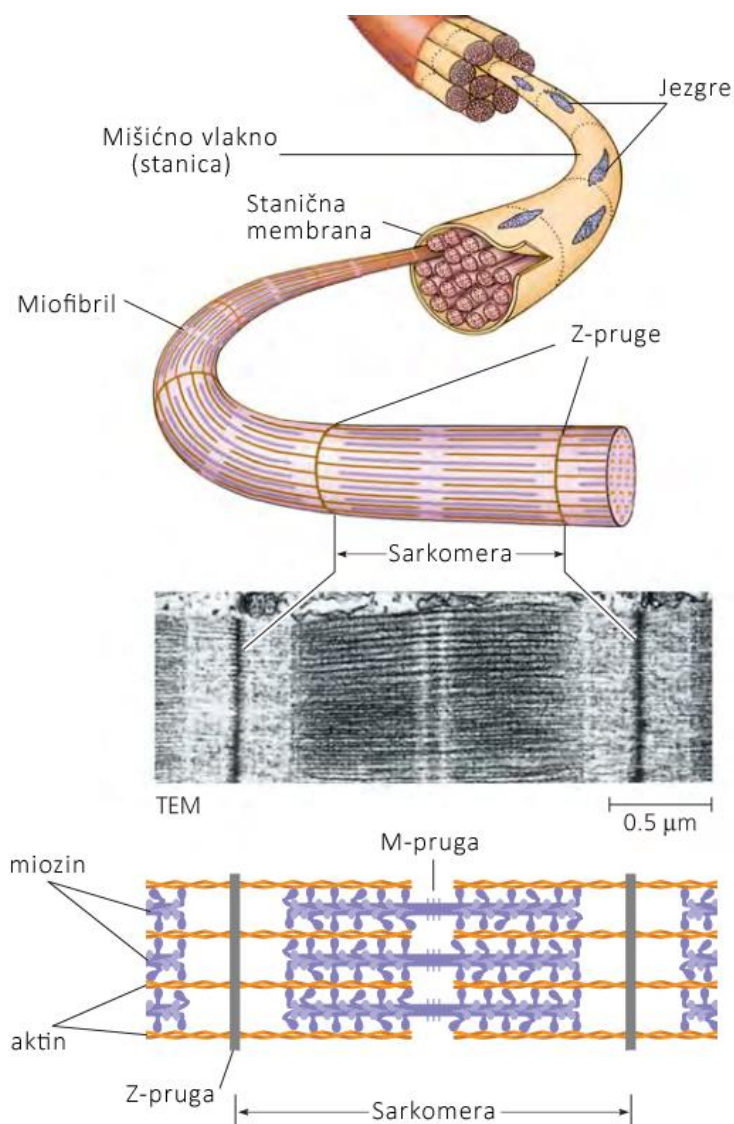
8.1 Mehanička energija

Poprečno – prugasti mišići su građeni od nekoliko podjedinica, od kojih su mišićna vlakna najmanja. Svako mišićno vlakno je jedna velika višejezgreana stanica nastala spajanjem više stanica tokom embriogeneze. Unutar tih stanica nalaze se miofibrili koji se dijele na debele i tanke, odnosno miozinska i aktinska vlakna. Prema modelu klizećih vlakana (*sliding filament model*), unutar jedne sarkomere, najmanje kontraktilne jedinice mišića, miofibrili se ne skraćuju i ne produžuju već klize jedni uz druge pritom povećavajući, odnosno smanjujući površinu kojom se preklapaju. Miozin se sastoji od snopa manjih vlakana koja imaju 2 dijela – rep i glavu. Repom prijanjaju jedni na druge, dok glavom vežu ATP koji hidroliziraju u ADP i anorganski fosfat. Tom reakcijom privlače na sebe aktinsko vlakno. Kada se na glavu veže nova molekula ATP-a aktinsko vlakno se otpušta. Za jednu kontrakciju mišića potrebno više ovih ciklusa (Slika 13) (Reece i dr, 2011).

8.2 Toplina

Osim mehaničke energije, mišići stvaraju i toplinu. Ona može poteći od voljnog pokretanja mišića, ali i drhtanjem, nevoljnim kontrakcijama kojima upravlja hipotalamus (Reece i dr, 2011).

Tjelesna temperatura se može održavati i pojačanom mitohondrijskom aktivnošću koju reguliraju razni hormoni (Reece i dr, 2011). Kod sisavaca je prisutno i smeđe masno tkivo koje u mnogobrojnim mitohondrijima svojih stanica sadrži termogenin. Ova bjelančevina djeluje tako da povećava permeabilnost unutarnje membrane mitohondrija za protone, čime se smanjuje snaga protonskog gradijenta, a time i produkcija ATP-a, što omogućuje veći intenzitet reakcija oksidacije koje stvaraju toplinu (Nelson i Cox, 2005). Smeđe masno tkivo je uglavnom smješteno oko ramena, vrata i prsa kako bi se vitalni organi i glavne krvne žile prve zagrijale, a u najvećoj količini ga nalazimo kod mladunaca i hibernatora (Reece i dr. 2011).



*Slika 13. Građa mišićnih vlakana
(Prilagođeno prema: Reece i dr. 2011)*

9. ZAKLJUČAK

Sva energija koju koriste živi organizmi na Zemlji potječe od Sunca. Na zemlji dolazi kao svjetlosna energija. U fotosintetskim organizmima pretvara se u kemijsku te u ostalim organizmima u mehaničku energiju i toplinu. Svim anaboličkim reakcijama je zajedničko to što su endergone i reduktivne te to što koriste ATP kao izvor energije i NADPH kao reducirani prijenosnik elektrona, dok su kataboličke reakcije egzergone i oksidativne te oslobađaju ATP i NADH. Razgradnja glukoze može biti aerobna ili anaerobna, a potonja oslobađa znatno više energije, odnosno ATP-a koji je univerzalni oblik za pohranu slobodne energije u živim organizmima.

10. LITERATURA

Berg J M, Tymoczko J L, Stryer L, 2002. Biochemistry, Freeman and Company, New York

Cooper G M, Hausman R E, 2007. The Cell: A Molecular Approach, Sinauer Associates Inc, Sunderland

Nelson D L, Cox M M, 2005. Lehninger Principles of Biochemistry, W. H. Freeman and Company, New York

Reece J B, Urry L A, Cain M L, Wasserman S A, Minorsky P V, Jackson R B, 2011. Campbell Biology, Benjamin Cummings, Pearson Education, San Francisco

<https://www.britannica.com/science/cellular-respiration>

<https://www.britannica.com/topic/fat>

http://earthguide.ucsd.edu/virtualmuseum/ita/07_1.shtml

<http://enciklopedija.lzmk.hr/>

<http://environ.andrew.cmu.edu/m3/s2/02sun.shtml>

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/astro/procyc.html>

<https://solarsystem.nasa.gov/docs/Photons-ST-PO.pdf>

http://www.ucolick.org/~bolte/AY4_00/week6/sun_fusion.html

11. SAŽETAK

U Suncu se jezgrenim spajanjem oslobađa velika količina energije koju ono zrači u obliku elektromagnetskih valova, od kojih dio dopireva i do Zemlje. Autotrofni organizmi pretvaraju tu svjetlosnu energiju u kemijsku stvarajući glukozu, glavni izvor energije za sve organizme. Njena razgradnja može biti anaerobna, što se naziva glikolizom, ili aerobna, i to je proces koji se naziva stanično disanje. Stanično disanje oslobađa višestruko više energije nego glikoliza. Osim ugljikohidrata, neizostavni spojevi u metaboličkim procesima su i masti i bjelančevine. Kemijska energija se u živim organizmima pretvara u mehaničku te u toplinu.

12. SUMMARY

Nuclear fusion in the Sun releases great amounts of energy, which is radiated in form of electromagnetic waves. Some of that energy comes to Earth, where autotrophic organisms convert it to chemical energy in the form of glucose, which is the main source of energy in living organisms. The breakdown of glucose can be anaerobic, called glycolysis, or aerobic, called cellular respiration. The latter releases significantly greater amounts of energy. Fats and proteins are, alongside carbohydrates, crucial chemical compounds in metabolic processes. Chemical energy in living organisms is transformed into mechanical energy and heat.