**4. METABOLIZEM**

Osnovno načelo v biologiji je, da je celica osnovna življenjska enota. Celica je enota, ki jo od drugih celic in okolja ločuje vsaj membrana, veliko število celic pa tudi celična stena na zunanji strani membrane. Membrana označuje ali definira delček prostora, ki ga imenujemo celica. Poleg tega membrana vzdržuje primerna velikostna razmerja med notranjimi sestavnimi deli celice in preprečuje uhajanje celične vsebine v okolje. Celična stena pa daje celici trdnost. Čeprav je celica samostojna enota, to ne pomeni, da je zaprta enota. Nasprotno, membrana je izbirno propustna, zato je celica odprta, dinamična struktura. Celica lahko komunicira, se premika in izmenjuje snovi s svojim okoljem ter je zato podvržena stalnim spremembam. 1 Katere osnovne lastnosti so značilne za celico? V vseh celicah poteka določena vrsta ali oblika metabolizma. To pomeni, da v celico iz okolja prehajajo hranilne snovi, ki se v celici pretvorijo v snovi, ki jih celica potrebuje in odpadne produkte. Med potekom teh sprememb hranilnih snovi, se shranjuje energija v taki obliki, da jo celica lahko uporabi za potek sintez. s sintezami v celici nastajajo snovi, ki jih celica potrebuje za izgradnjo osnovnih gradbenih struktur. Proizvodnja gradbenih struktur celice je največja med delitvijo, ko iz ene nastaneta dve celici. Metabolne aktivnosti različnih celic se lahko močno razlikujejo med seboj, vendar je končni cilj metabolnih aktivnosti vsake celice, nastanek dveh celic – razmnoževanje. V mikrobiologiji se za označevanje povečanja števila celic z delitvijo uporablja izraz rast namesto izraza razmnoževanje.

Celice vseh organizmov so podvržene evoluciji. Evolucija je proces sprememb, pri katerih so genetske variante izbrane na osnovi svojih sposobnosti za razmnoževanje. (Razmnožujejo se lahko le tiste celice ali organizmi, ki so jim genetske spremembe omogočile boljše prilagoditve na določeno okolje in s tem večjo možnost preživetja. Torej bodo naslednjo generacijo ustvarili le tisti organizmi, ki jih je naključna genetska sprememba ohranila pri življenju v spremenjenem okolju. Organizmi, ki se niso enako dobro prilagodili bodo umrli in se ne bodo razmnoževali.) Evolucija je običajno počasen proces, lahko pa lahko v mikrobnih celicah postane hiter, če so selektivni dejavniki v okolju dovolj močni. Na primer: priča smo nastajanju patogenih bakterijskih sevov, ki so odporni na antibiotike, zaradi vsesplošne uporabe antibiotikov v humani in veterinarski medicini.

V vseh celicah poteka metabolizem in vse celice rastejo (se razmnožujejo) ter se spreminjajo z evolucijo. Se pa celice različnih organizmov med seboj močno razlikujejo po drugih osnovnih lastnostih značilnih za celice. Veliko vrst celic je sposobnih premikanja, ki jim omogoča, da se umaknejo od nevarnosti ali iz okolja z neugodnimi pogoji ter izkoristijo druge vire ali okoliščine. Nekatere celice se diferencirajo (spremenijo obliko). Diferenciacija celic omogoči nastanek spremenjenih celic, ki so lahko specializirane na primer za rast (razmnoževanje) ali za preživetje neugodnih razmer. Nekatere celice se odzivajo na kemijske signale v svojem življenjskem okolju. Odzivajo se tudi na tiste signale, ki jih ustavrijo druge vrste celic, ki živijo v istem okolju. Kemijski signali v okolju lahko kot odgovor sprožijo nove celične aktivnosti. Zato lahko trdimo, da celice komunicirajo. Bolj ko raziskujejo to področje življenja celic, bolj postaja mogoče, da je sposobnost komuniciranja med celicami v istem življenjskem okolju, lastna vsem mikroorganizemskim celicam**. 1**

**4.1 Kaj je metabolizem?**

Osnovna definicija metabolizma pravi, da je metabolizem izmenjava snovi in energije med celico in okoljem.

Vemo, da vsi organizmi na Zemlji za življenje potrebujejo energijo in hranilne snovi. Vsi organizmi na tak ali drugačen način iz okolja v katerem živijo dobijo hranilne snovi, ki se v njih pretvorijo v snovi, ki jih potrebujejo njihove celice. Organizmi, ki naseljujejo Zemljo lahko kot vir hranilnih snovi uporabljajo neorganske in organske snovi. Pri pretvorbi snovi, ki pridejo v celico kot hranilne snovi, nastane tudi nekaj za celico nerabnih snovi, ki jih je potrebno iz celice izločiti. Pri kemijskih pretvorbah snovi v celici se sprošča in porablja tudi kemijska energija. Nekateri organizmi pa lahko kot vir energije potrebne za življenje uporabljajo svetlobno energijo.

Metabolizem je torej sestavljen iz :

* sprejemanja hranilnih snovi v celico,
* presnove v celici, ki zajema razgradnjo hranilnih snovi in izgradnjo snovi, ki jih celica potrebuje za življenje in razmnoževanje,
* izločanja nerabnih snovi iz celice.

**4.2 Tipi metabolizma**

Kot hranilne snovi lahko na zemlji živeči organizmi uporabljajo zelo različne neorganske in organske snovi. Energija, ki jim omogoča življenje pa je lahko svetlobna ali kemijska. To omogoča izredno raznolikost tipov metabolizma med organizmi.

Glede na osnovni vir energija organizme lahko delimo na:

* litotrofne,
* organotrofne in
* fototrofne.

Litotrofni in organotrofni organizmi s kemijsko pretvorbo hranilnih snovi pridobijo kemijsko energijo, ki se skladišči v ATP in jo celice lahko uporabljajo. Za fototrofne organizme je vir energije potrebne za življenje, svetlobna energija, ki jo pretvarjajo v ATP.

Litotrofni organizmi neorganske molekule (fosfatne, sulfidne, sulfatne, amonijakove, nitritne in železove ione), uporabljajo kot vir elektronov za elektronsko transportno verigo v kateri nastane velika količina ATP. Organotrofni organizmi kot vir elektronov za elektronsko transportno verigo uporabljajo organske snovi (ogljikove hidrate, lipide, proteine,..). **2**

Autotrofne imenujemo tiste organizme, ki so sposobni dveh pomembnih biosintez. Prva je fiksacija CO2 v snovi potrebne za celično rast. Druga pa je redukcija atmosferskega dušika (N2) v amonijak (NH3), s katerim pokrivajo potrebe celic po dušiku. Ti organizmi so iz neorganskih snovi sposobni sintetizirati organske snovi, ki jih celica potrebuje.

Kemoorganotrofni so organizmi, ki kot hranilne snovi (za katabolne procese) lahko uporabijo organske snovi. Ti procesi lahko potekajo v aerobnih ali anaerobnih razmerah. V prokariotskih organizmih potekajo anaerobne razgradnje hranilneih snovi na zelo različne načine. Veliko prokariotov lahko pridobiva energijo z oksidacijo neorganskih snovi. Tak tip metabolizma imenujemo kemolitotrofski. Veliko različnih vrst bakterij in arhej je kemolitotrofnih. Neorganske snovi, ki jih ti organizmi oksidirajo za pridobivanje energije so H2, H2S, NH3 in železovi ioni. Ker sorodne skupine kemolitotrofnih organizmov oksidirajo iste skupine neorganskih snovi, govorimo o »žveplovih » bakterijah, »železovih« bakterijah in podobno. Sposobnost pridobivanja energije z oksidacijo neorganskih snovi je dobra strategija za prživetje, ker je konkurenca za hrano mnogo manjša kot med organotrofi. Poleg tega pa je veliko število snovi, ki jih oksidirajo kemolitotrofi (H2, H2S) dejansko odpadni metabolni produkt kemoorganotrofnih organizmov. Ker so kemolitotrofi razvili sposobnost uporabe snovi, ki jih kemoorganotrofi ne morejo uporabiti kot hrano, organizmi teh dveh fizioloških skupin zelo pogosto živijo skupaj v istem življenjskem okolju. **1**

Fototrofnost (sposobnost uporabe svetlobne energije) je med mikroorganizmi močno razširjena. Mikroorganizmi svetlobno energijo po različnih metabolnih poteh spreminjajo v kemično energijo v ATP. Najpomembnejši biološki proces na Zemlji je fotosinteza, ki poteka v celicah fototrofov. Večina fototrofnih organizmov je avtotrofov (njihov edini vir ogljika je CO2). Energija iz svetlobe je potrebna, da se CO2 reducira do organskih snovi. Taki organizmi so fotoavtotrofi.

Nekateri fototrofni organizmi kot vir ogljika uporabijo organske snovi. Tak tip metabolizma imenujemo fotoheterotrofen.

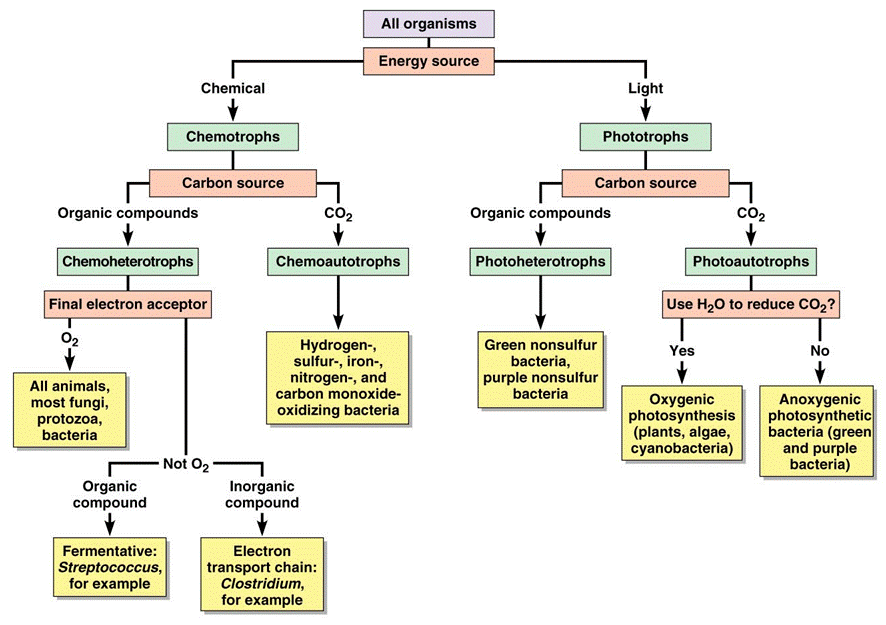
Za razliko od kemotrofnih organizmov, fototrofni ne potrebujejo kemijskih spojin kot vir energije. To je pomembna prednost v borbi za preživetje, ker ne tekmujejo s kemotrofnimi organizmi za vire energije. Poleg tega pa je sončna svetloba dostopna v velikem številu habitatov, ki jih naseljujejo mikroorganizmi na zemlji.

Da lahko fotosinteza poteka mora biti v celici prisoten vsaj eden od pigmentov (klorofilov), ki so sposobni absorbirati svetlobno energijo. Z absorpcijo svetlobne energije se v celici začne proces konverzije (pretvorbe) energije. Končni produkt konverzije je kemijska energija shranjena v kemijskih vezeh molekule ATP. V fotoavtotrofnih organizmih morata hkrati potekati dve skupini reakcij. V prvi nastaja ATP in v drugi se CO2 reducira v celični material. Energijo za rast avtotrofov zagotavlja nastali ATP, vir elektronov za redukcijo CO2 je NADH. NADH nastane z redukcijo NAD+. Viri elektronov za redukcijo NAD+ so lahko različne snovi v življenjskem okolju celic . Fototrofne bakterije lahko uporabljajo na primer H2S in H2. Zelene rastline in alge pa uporabljajo elektrone iz vode in pri tem oksidirajo vodo v molekularni kisik. Tak tip fotosinteze pri kateri z oksidacijo nastane kisik imenujemo oksigenska fotosinteza. Med mikroorganizmi je tak tip fotosinteze značilen za cianobakterije in alge.

Večina fototrofnih bakterij vode ne oksidira do kisika, zato se fotosinteza, ki poteka v njihovih celicah imenuje anoksigena fotosinteza. Med mikroorganizmi je ta tip fotosinteze značilen za šklatne in zelene bakterije ter heliobakterije.

Kisik, ki je na Zemlji omogočil nastanek današnje atmosfere je bil produkt fotosinteze cianobakterij. Kisik v zraku igra zelo pomembno vlogo v biokemijskih procesih velikega števila prokariotov in dobesedno vseh eukariotov. Oksigenacija zemeljskega ozračja je pripravila pogoje za razvoj izredno velikega števila mikroorganizemskih eukariotov in razvoj rastlin in živali.  **1**

Vsi organizmi potrebujejo ogljik v velikih količinah in jih lahko delimo na heterotrofe in avtotrofe. Heterotrofi potrebujejo kot vir ogljika organske snovi. Avtotrofi pa lahko kot vir ogljika uporabljajo ogljikov dioksid. Kemoorganostrofi so po definiciji heterotrofi. Za razliko od kemolitotrofov in fototrofov, ki so avtotrofi. Avtotrofe včasih imenujemo tudi primarne proizvajalce, ker iz neorganske snovi (CO2) sintetizirajo nove organske snovi, ki jih kot vir ogljika uporabijo tudi kemoorganotrofi. Kemoorganotrofi kot hrano uporabijo celice avtotrofov ali pa snovi, ki jih primarni proizvajalci – avtotrofi izloćijo. Dobesedno vse organske snovi na Zemlji sintetizirajo primarni proizvajalci, še posebej fototrofi.



Vir: <http://classes.midlandstech.edu/carterp/courses/bio225/chap05/lecture7.htm>

Celice pridobijo hranilne snovi iz okolja v katerem živijo. Od kod pa pridejo hranilne snovi, ki jih celice uporabljajo? Popolnoma vse organske snovi na Zemlji so proizvod živih celic, ki lahko energijo sončne svetlobe pretvorijo v makromolekule, ki v kemijskih vezeh med atomi zadržujejo energijo. Ta proces (fotosinteza) je osnova kroženja ogljika na Zemlji. Organizmi, ki so sposobni fotosinteze so osnova velike večine vseh prehranskih verig. **3**



Rastline med fotosintezo sintetizirajo organske molekule in s tem priskrbijo obilje energije za druge organizme. Na Zemlji obstajajo rastline zelo različnih oblik in velikosti:

1. *Coleochaete orbicularis* (Charophyceae) gametophyte; magnification x 75 (photograph courtesy of L. E. Graham)
2. Chara (Charophyceae) gametophyte; magnification x 1.5 (photograph courtesy of M. Feist).
3. Riccia (liverwort) gametophyte showing sporangia (black) embedded in the thallus; magnification x 5 (photograph courtesy of A. N. Drinnan).
4. Anthoceros (hornwort) gametophyte showing unbranched sporophytes; magnification x 2.5 (photograph courtesy of A. N. Drinnan)
5. Mnium (moss) gametophyte showing unbranched sporophytes with terminal sporangia (capsule); magnification x 4.5 (photograph courtesy of W. Burger)
6. Huperzia (clubmoss) sporophyte with leaves showing sessile yellow sporangia; magnification x 0.8.
7. Dicranopteris (fern) sporophyte showing leaves with circinate vernation; magnification x 0.08.
8. Psilotum (whisk fern) sporophyte with reduced leaves and spherical synangia (three fused sporangia); magnification x 0.4.
9. Equisetum (horsetail) sporophyte with whorled branches, reduced leaves, and a terminal cone; magnification x 0.4
10. Cycas (seed plant) sporophyte showing leaves and terminal cone with seeds; magnification x 0.05 (photograph courtesy of W. Burger).

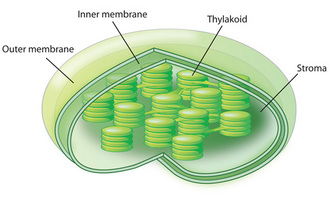
**Vir: © 1993 [Elsevier](http://www.elsevier.com/" \t "_blank) Part A: Graham, L. E. *Origin of land plants*. New York: J. Wiley and Sons, 1993. All rights reserved. Part B: courtesy of M. Feist, University of Montpellier. Parts C and D: courtesy of Andrew Drinnan, Univeristy of Melbourne, School of Botany. Parts E, F and J: Courtesy of William Burger, Field Museum, Chicago. [Opis: View Terms of Use](javascript:show_inform(%22Terms%20of%20Use%22,%20%22Nature%20Education%20has%20been%20granted%20permission%20to%20this%20material%20in%20Scitable%20but%20is%20not%20authorized%20to%20sublicense%20you%20to%20use%20this%20material%20outside%20of%20Scitable%20except%20for%20the%20following%20two%20circumstances.%20%20You%20may%20reproduce%20this%20material,%20without%20modifications,%20in%20print%20form%20for%20your%20personal,%20non-commercial%20use%20or%20in%20print%20form%20for%20non-commercial%20use%20in%20an%20educational%20environment.%20%20To%20obtain%20permission%20for%20usage%20beyond%20these%20cases,%20please%20contact%20the%20original%20publisher.%22);)**

**4.2.1 Kaj je fotosinteza in zakaj je pomembna?**

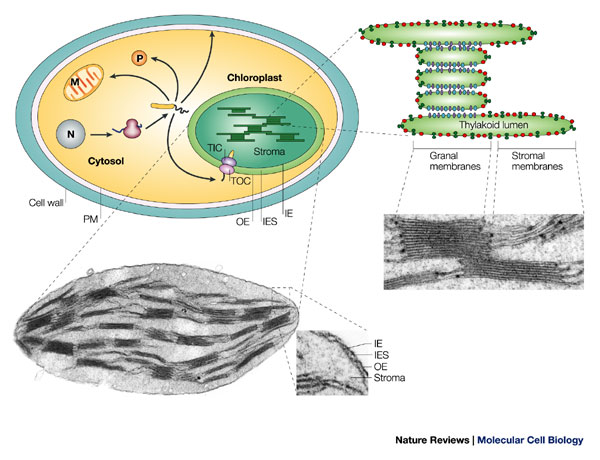
Večino živih organizmov z organskimi snovmi oskrbujejo organizmi, ki so sposobni fotosinteze. Celice, ki so sposobne fotosinteze so lahko zelo različne. Med njimi so rastline, fitoplankton in cianobakterije. Med procesom fotosinteze v celici iz ogljikovega dioksida s sodelovanjem sončne svetlobe nastanejo molekule sladkorja in kisik. Molekule sladkorja so osnova za bolj kompleksne molekule, ki nastanejo v celici (na primer glukoza). V procesih dihanja celice uporabijo molekule glukoze in kisik za sintezo molekul, ki prenašajo veliko energije (na primer ATP). Ogljikov dioksid pa je odpadni produkt teh sintez. Organske snovi se izgradijo iz CO2 (fotosinteza) in se razgradijo nazaj v CO2 (dihanje).

Izgradnja in razgradnja organskih snovi (snovi, katerih osnova je ogljik)sta del kroženja ogljika. Fotosinteza omogoča kroženje ogljika in zagotavlja kisik potreben za dihanje. Rastline, fitoplankton in cianobakterije proizvedejo od 1/3 do ½ vsega atmosferskega kisika. Tudi fosilnih goriv, ki jih uporabljamo danes brez fotosinteze ne bi bilo.

Fotosinteza lahko poteka samo v celicah, ki vsebujejo barvila (pigmente), ki absorbirajo energijo svetlobe. Pigmenti so različni in absorbirajo energijo iz svetlob vidnega spektra, ki imajo različne valovne dolžine. Eden od pigmentov je klorofil II, ki odbija zeleno svetlobo in najmočneje absorbira rdečo in modro svetlobo. V rastlinskih celicah so pigmenti v kloroplastih, ki jih ovijajta dve plasti membrane, znotraj pa imajo še tretjo membrano (tilakoidna membrana) v kateri je vgrajen klorofil

 Zgradba kloroplasta

Vir: <http://www.nature.com/scitable/ebooks/essentials-of-cell-biology->

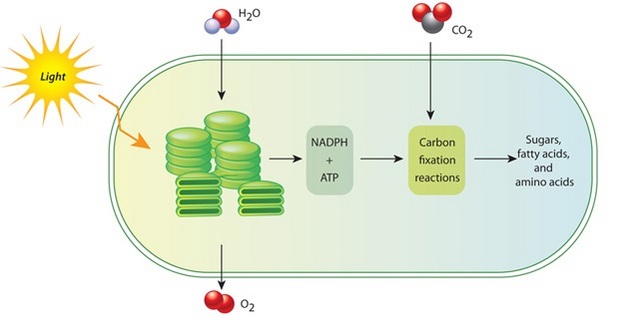


Kloroplasti znotraj celice in tilakoidi v kloroplastih

**© 2004**[**Nature Publishing Group**](http://www.nature.com/)**Soll, J. & Schleiff, E. Protein import into chloroplasts. *Nature Reviews Molecular Cell Biology* 5, 198-208 (2004) doi:10.1038/nrm1333. All rights reserved. [Opis: View Terms of Use](javascript:show_inform(%22Terms%20of%20Use%22,%20%22Nature%20Education%20has%20been%20granted%20permission%20to%20this%20material%20in%20Scitable%20but%20is%20not%20authorized%20to%20sublicense%20you%20to%20use%20this%20material%20outside%20of%20Scitable%20except%20for%20the%20following%20two%20circumstances.%20%20You%20may%20reproduce%20this%20material,%20without%20modifications,%20in%20print%20form%20for%20your%20personal,%20non-commercial%20use%20or%20in%20print%20form%20for%20non-commercial%20use%20in%20an%20educational%20environment.%20%20To%20obtain%20permission%20for%20usage%20beyond%20these%20cases,%20please%20contact%20the%20original%20publisher.%22);)**

Fotosintezo sestavljajo reakcije, ki lahko potekajo samo na svetlobi in reakcije, ki lahko potekajo brez svetlobe. Reakcije za katere je nujna svetloba potekajo na tilakoidnih membranah v kloroplastih. Ko svetloba doseže molekule pigmenta jim doda energijo, ki jim omogoči, da preidejo v elektronsko transportno verigo v tilakoidni membrani. Na vsaki stopnji elektronske transportne verige elektron izgubi del svoje energije, ki omogoči nastanek molekul ATP in NADPH. Vsaka molekula klorofila pa medtem iz vode nadomesti izbite elektrone. Zaradi tega se molekule vode razcepijo in se sprošča kisik.

Reakcije za katere ni potrebna svetloba potekajo zunaj tilakoidov v stromi. V teh reakcijah se energija, ki je shranjena v ATP in NADPH, porabi za fiksacijo CO2. Ogljikov dioksid iz atmosfere se uporabi za izgradnjo gliceraldehid-3-fosfata (molekula s 3 atomi ogljika ali trikarbonski sladkor), ki ga celice uporabijo za izgradnjo različnih sladkorjev (na primer glukoze) in drugih organskih molekul. Nastali sladkorji in druge organske molekule so transportirani v druge dele celice (tudi mitohondrije), kjer se razgradijo. Med njihovo razgradnjo natanejo prenašalci energije (ATP), ki so potrebni za metabolizem celice. **3**

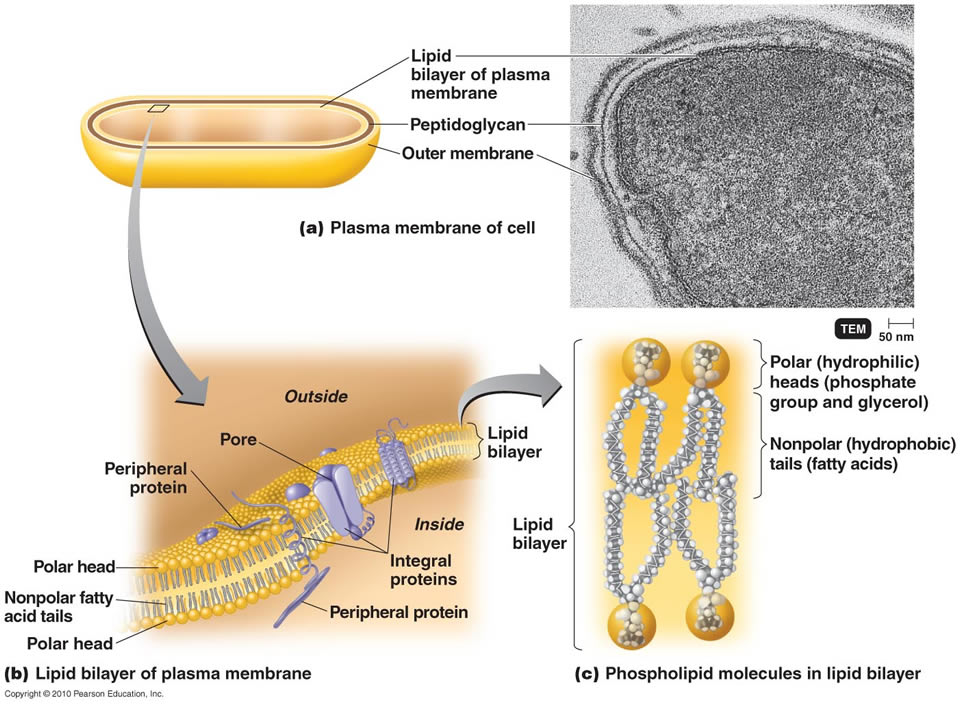


Reakcije fotosinteze

Vir: <http://www.nature.com/scitable/ebooks/essentials-of-cell-biology->

**4.3 Prehod hranilnih snovi v celico**

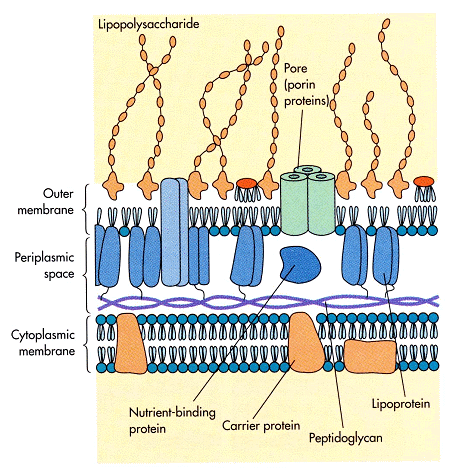
Vse žive celice in mnogi organeli v živih celicah so oviti s tankimi membranami. Membrane, ki ovijajo celice so sestavljene predvsem iz fosfolipidnih in beljakovinskih molekul. Običajno njihovo zgradbo opišejo kot fosfolipidni dvosloj.



Vir: <http://classes.midlandstech.edu/carterp/courses/bio225/chap04/lecture5.htm>

Prokarionti imajo citoplazemske membrane, ki jih sestavlja fosfolipidni dvosloj v katerega so vgrajeni membranski proteini. Ti proteini imajo tistem delu, ki prehaja skozi plast hidrofobnih maščobnih kislin, močno hidrofobno zunanjo plast. Isti proteini imajo v delu, ki prihaja v stik z zunanjim okoljem hidrofilno zunanjo plast ali površino. Hidrofilni proteini in druge hidrofilne snovi (na primer kovinski ioni) se lahko vežejo na hidrofilne površine. Celotna struktura citoplazemske membrane je utrjena z vodikovimi vezmi. Poleg tega pri stabilizaciji citoplazemske membrane sodelujejo tudi kalcijevi in magnezijevi ioni.

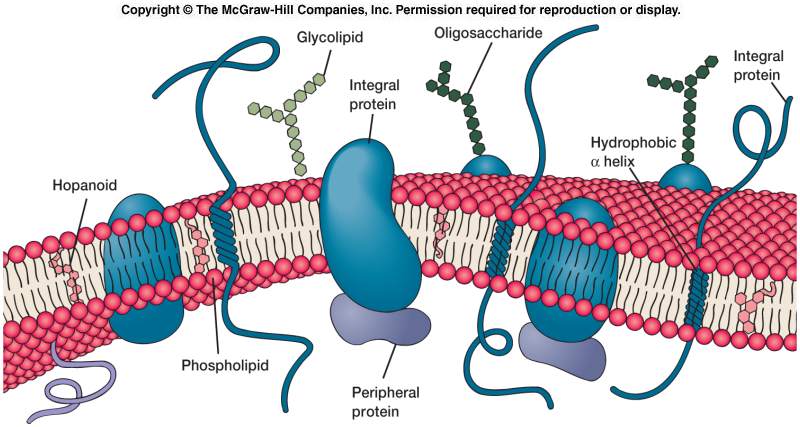
Zunanja površina citoplazemske membrane prihaja v stik z zunanjim okoljem oziroma življenjskim okoljem celic. Pri določenih bakterijah je kontakt z okoljem vzpostavljen z velikim številom različnih proteinov, ki lahko vežejo molekule substrata ali pa sodelujejo pri transportu velikih molekul v notranjost celice. Te proteine imenujejo periplazemski proteini. Notranja površina citoplazemske membrane je v stiku s citoplazmo. Na tem delu citoplazemske membrane poteka interakcija s proteini, ki sodelujejo v reakcijah s katerimi celica pridobiva energijo ter pri drugih pomembnih celičnih funkcijah. **4**



vir: http://www.federica.unina.it

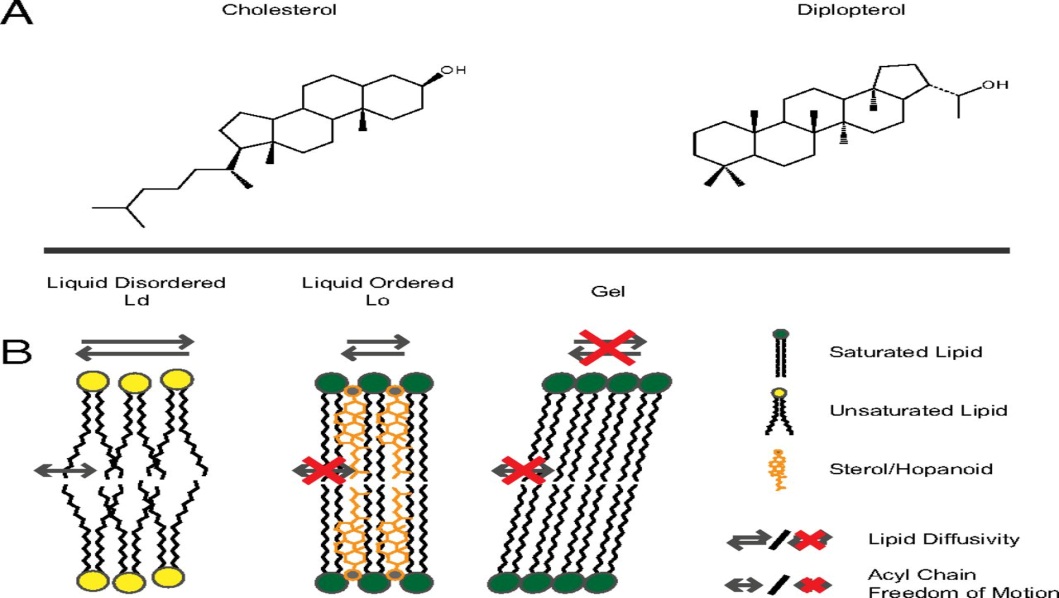
Veliko membranskih proteinov je trdno vgrajenih v citoplazemsko membrano in jih imenujejo integralni membranski proteini. Drugi proteini pa niso vgrajeni v membrano ampak so trdno povezani s površino membrane in dejansko funkcionirajo kot bi bili del membrane. Taki so proteini v periplazmi (del med citoplazemsko membrano in zunanjo celično membrano pri gram negativnih bakterijah) in nekateri citoplazemski proteini. Te proteine imenujejo periferni membranski proteini. Nekateri od njih so lipoproteini, ki vsebujejo na aminokislinski del vezano lipidno verigo (lipidni rep), ki omogoča vezavo proteina na membrano. Ti periferni proteini direktno sodelujejo z integralnimi membranskimi proteini pri pomembnih procesih v celici (na primer pridobivanje energije).

Na slikah ali skicah je citoplazemska membrana videti rigidna (trda in neelastična), vendar je v resnici skoraj tekoča. Fosfolipidi in beljakovinske molekule se lahko gibljejo znotraj membrane. Viskoznost citoplazemske membrane je podobna viskoznosti olja. Čeprav je citoplazemska membrana zelo mobilna, so njeni sestavni deli znotraj membrane zelo dobro povezani. Ta povezanost strukturnih delov membrane (tekoči mozaik) omogoča in vodi funkcije citoplazemske membrane.



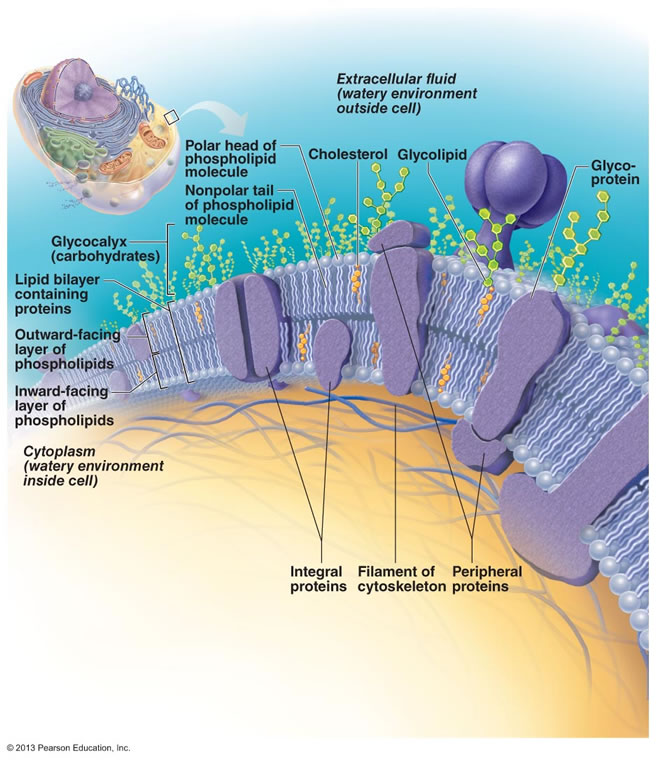
<http://www.google.si/classroom.sdmesa.edu>

Citoplazemska membrana je kljub nekaterim razlikam podobna pri prokariontskih in evkariontskih celicah. Glavna razlika med citoplazemskimi membranami prokariontov in evkariontov je v vsebnosti sterolov. Citoplazemske membrane različnih evkariontskih celic vsebujejo različne količine sterolov. Odvisno od tipa celice jih je lahko v citoplazemskih membranah od 5 do 25% celotne količine lipidov. Steroli in njim podobne molekule so toge molekule, medtem, ko so maščobne kisline fleksibilne (prilagodljive, upogibljive). Membrane, ki vsebujejo sterole so bolj stabilne in manj upogibljive. Sterolom podobne molekule imenovane hopanoidi so prisotne v membranah velikega števila različnih bakterij in imajo podobno vlogo kot steroli v citoplazemski membrani evkariontov. Hopanoidov do zdaj niso našli v citoplazemski membrani arhej. Lipidi, ki sestavljajo citoplazemsko membrano arhej se razlikujejo od lipidov v membranah drugih organizmov.



[www.pnas.org](http://www.pnas.org)

Celične membrane vsebujejo v fosfolipidnem dvosloju tudi holesterol. V nekaterih membranah je samo nekaj molekul holesterola, v drugih pa je razmerje med količino holesterola in fosfolipida 1 : 1. Zaradi vsebnosti holesterola je dvosloj močnejši in bolj fleksibilen (upogljiv) ter manj tekoč in manj prepusten za vodo in v vodi topne snovi, kot so na primer ioni in monosaharidi. **4**

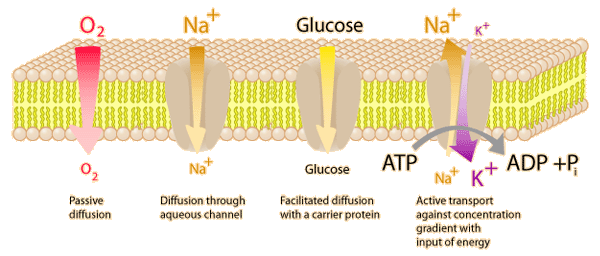


Vir: <http://classes.midlandstech.edu>

**4.3.1 Načini transporta skozi celično membrano**

Dela metabolizma in s tem življenja celice sta sprejemanje hranilnih snovi in izločanje nerabnih snovi skozi celično membrano. Vse snovi, ki v celico vstopajo ali iz nje izstopajo morajo skozi celično membrano, ki celico in njeno okolje hkrati povezuje in razmejuje.

Snovi lahko skozi celično membrano prehajajo s pasivnimi in aktivnimi procesi prehoda ali transporta. Pasivni transport imenujemo tiste procese pri katerih ni potrebe po energiji, da snovi iz okolja vstopijo v celico skozi plazmalemo ali citoplazemsko membrano. Aktivni transport pa so tisti procesi pri katerih je potrebna energija, da snovi iz okolja pridejo v celico.

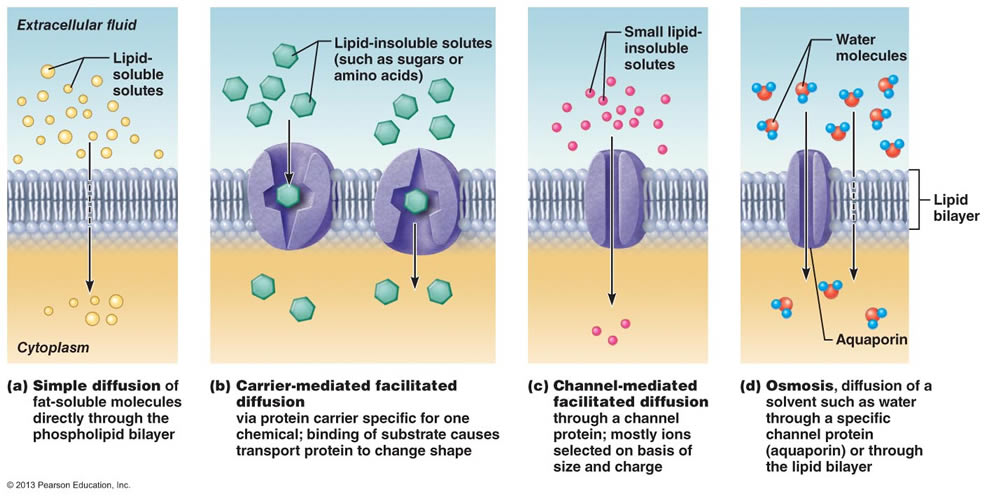


Vir: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/biology/prokar.html#c3>

Procesa **pasivnega transporta** sta difuzija in osmoza. Delci, ki skozi plazmalemo potujejo s pasivnim transportom se spontano gibljejo s tiste strani membrane, na kateri je njihova koncentracija višja skozi membrano na tisto stran, kjer je njihova koncentracija nižja. Prehajanje delcev traja dokler koncentraciji delcev na obeh straneh membrane nista enaki.

Poznamo tri tipe difuzije:

* Enostavna difuzija, s katero direktno skozi fosfolipidni dvosloj prehajajo v maščobi topne snovi .
* Olajšana difuzija s katero v maščobah netopne snovi (na primer sladkorji in aminokisline) prehajajo skozi membrano s pomočjo specifičnih proteinov prenašalcev. Ti proteini so vgrajeni v membrano in vsak protein veže samo eno vrsto molekul ter jim omogoča prehod skozi membrano tako, da spremeni svojo obliko.
* Olajšana difuzija pri kateri majhne v maščobah netopne molekule prehajajo skozi membrano tako, da gredo skozi kanalčke v membranskih beljakovinah. Na tak način prehajajo večinoma ioni, ki so dovolj majhni in imajo primeren naboj.**4**

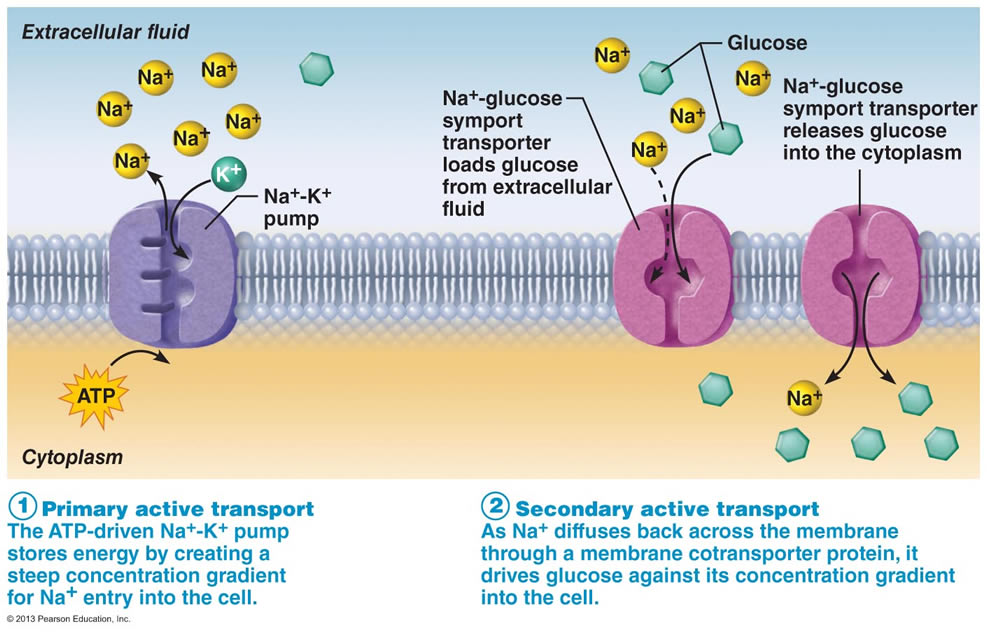


Vir: <http://classes.midlandstech.edu/>

Osmoza je prehod ali difuzija vode skozi izbirno prepustne membrane, ki ovijajo vse celice. vse celice živijo v vodnem okolju. Torej so obdane z vodnimi raztopinami različnih snovi. Zaradi izbirne prepustnosti membrane molekule raztopljenih snovi ne morejo potovati skozi membrano. Da se lahko koncentraciji tekočin na obeh straneh membrane izenačita mora skozi membrano, ki raztopini ločuje prehajati voda. Molekule vode prehajajo skozi izbirno prepustno membrano dokler koncentraciji topljencev na obeh straneh membrane nista enaki. Biološka membrana ali citoplazemska membrana ali plazmalema je za vodo popolnoma prepustna. Vodne molekule so dovolj majhne in polarne prehajajo skozi membrano tudi skozi kanalčke membranskih beljakovin.

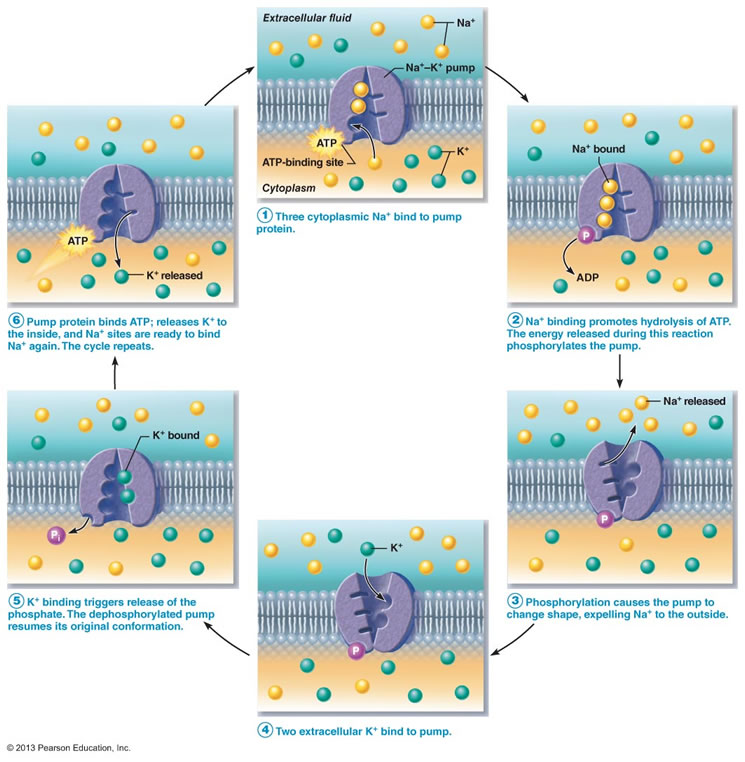
Pravimo, da osmoza poteka dokler osmotski pritisk ni enak nič. Osmotski pritisk je razlika v koncentracijah topljencev raztopinah ločenih z membrano. Ena vodna raztopina je znotraj celice – citoplazma. Druga vodna raztopina je življenjsko okolje celice – vodna raztopine na zunanji strani membrane. Če sta koncentraciji topljencev v obeh raztopinah različni je osmotski pritisk večji od nič in voda prehaja skozi membrano, iz raztopine z manjšo koncentracijo topljencev, v raztopino z večjo koncentacijo topljencev. Voda prehaja toliko časa, da se koncentraciji izenačita in je osmotski pritisk enak nič. Voda na enak način prehaja skozi membrano v celico in iz nje. Zaradi osmoze se spremeni volumen vode v celici s tem pa tudi velikost celice in tlak v celici.

Z **aktivnim transportom** snovi skozi plazmalemo prehajajo s pomočjo membranskih črpalk, ki so posebne vrste beljakovin v membrani. Za delovanje teh membranskih črpalk je potrebna energija (ATP). V membrani je za vsako snov, ki prehaja z aktivnim transportom posebna membranska črpalka. Na primer Na+K+ črpalka, ki iz celice črpa Na+ ione in v celico K+ ione. Membranske črpalke so beljakovine, ki imajo kanalčke in lahko spreminjajo njihovo obliko ter tako omogočajo prehod snovi skozi membrano. Aktivni transport omogoča celici, da nekatere snovi kopiči v citoplazmi in druge aktivno izloča. Zaradi aktivnega transporta se razlika v koncentracijah določenih snovi na obeh straneh membrane (citoplazma – življenjsko okolje) še povečuje. **4**



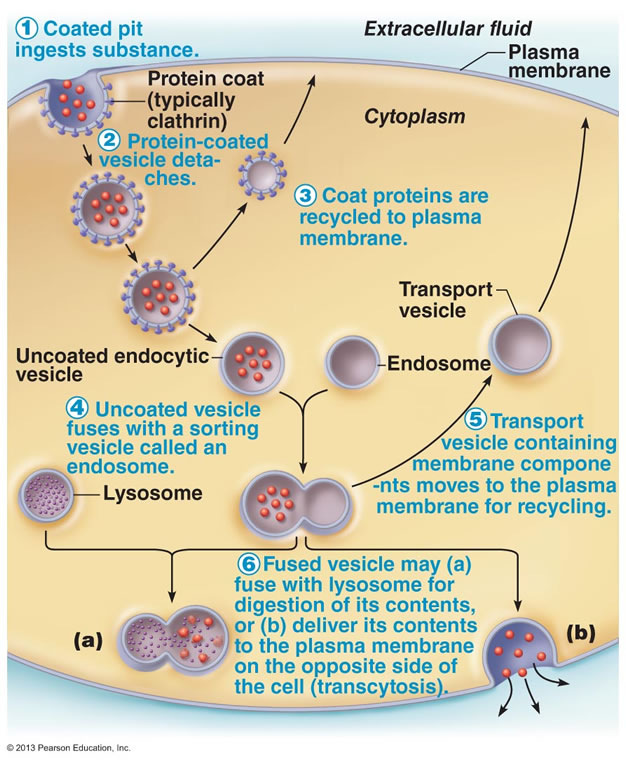
Vir: <http://classes.midlandstech.edu/carterp/courses/>

Na+K+ črpalka deluje tako, da se trije ioni Na+ iz citoplazme vežejo na beljakovino črpalke. Vezava Na+ ionov sproži hidrolizo ATP, pri tem pride do fosforilacije beljakovine v črpalki, ker se nanjo veže en fosfatni ostanek iz ATP. Zaradi fosforilacije se spremeni oblika kanalčka v beljakovini in Na+ ione iztisne v okolje celice. Iz raztopine v okolju celice se na beljakovino membranske črpalke vežeta K+ iona. Vezava K+ ionov na beljakovino povzroči defosforilacijo beljakovine v membranski črpalki, ker se od nje odcepi fosfatni ostanek. Kanalček v beljakovini (v katerem sta zdaj vezana dva K+ iona) se povrne v začetno obliko. Na črpalkino beljakovino se spet veže ATP in K+ iona se sprostita v citoplazmo. V kanalček črpalkine beljakovine se lahko vežejo novi Na+ ioni in ves cikel se spet ponovi. **4**



Vir: <http://classes.midlandstech.edu/>

V celico ali iz nje lahko prehajajo tudi večji delci snovi, ki so preveliki za prehod skozi membranske beljakovine. Celična membrana lahko ovije snov v neposredni bližini celice tako, da ustvari žep v katerega ujame snov. Ta proces imenujemo endocitoza ali fagocitoza. Nerabne snovi se iz celice izločijo tudi z eksocitozo. Oba procesa sta povezana med seboj.

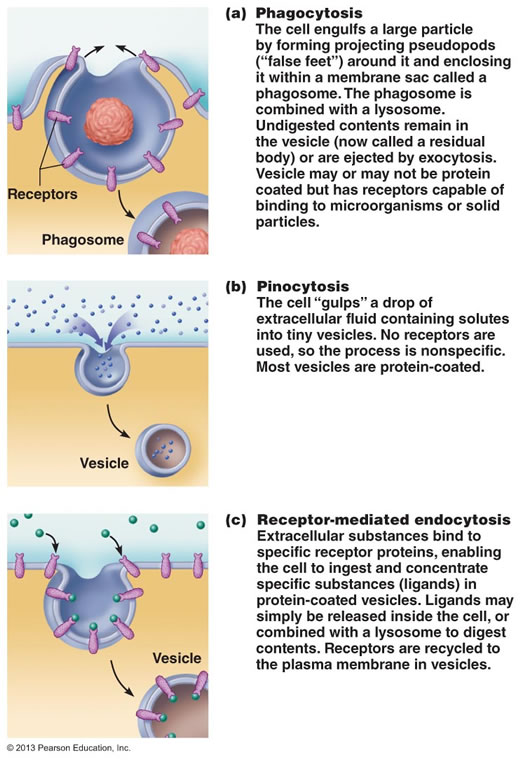
V membrani se naredi vdolbina v kateri so delci snovi iz življenjskega okolja celice. Vdolbina iz plazmaleme nastane tako, da se na notranjo stran dela plazmaleme vežejo proteini, ki povzročijo upogib plazmaleme. Membrana ovije delce in nastane mešiček ali vezikel iz dela citoplazemske membrane tako, da so proteini na zunanji citoplazemski strani mešička. Ti plaščni proteini se odcepijo in se vgradijo v plazmalemo. Na vezikel brez proteinskega ovoja se veže drug vezikel imenovanim endosom. Tak združen endocitski vezikel se lahko združi z lizosomom ali pa služi samo kot transportni vezikel, ki prenese vsebino na nasprotno stran celice (transcitoza). Če se endocitski vezikel združi z lizosomom se snovi, ki so v njem razgradijo zaradi delovanja encimov, ki jih vsebuje lizosom. Spremeni se prepustnost membrane, ki ovija vezikel in iz njega v citoplazmo izstopijo nekatere snovi. Te snovi bo celica uporabila za sintezo potrebnih snovi ali pa za pridobivanje energije. Snovi, ki so ostale v veziklu so za celico neuporabne. Vezikel (vakuola ali mešiček) se veže na notranjo stran citoplazemske membrane, se vanjo vgradi in odpre navzven. Snovi, ki so bile v veziklu preidejo v okolje v katerem celica živi. **4**

Vir: <http://classes.midlandstech.edu/>

Snovi lahko v celico preidejo tudi s fagocitozo, pinocitozo in z receptorsko endocitozo.

Fagocitoza imenujemo proces s katerim celice »požre« večje delce snovi. Celica najprej tvori pseudopode (izrastke iz citoplazme ovite v membrano). V membrani pseudopodov so receptorji, ki se lahko vežejo na mikroorganizemske celice ali trdne delce. Ti receptorji določajo katero snov ali celico bo pseudopod objel. V pseudopodu nastane vdolbina in vanjo celica zavije delček snovi. Membrana okrog delčka se sklene in loči od membrane, ki ovija celico. Nastane membranska vrečka ali fagosom, ki se lahko združi z lizosomom. V fagosomu zajet delček snovi se razgradi zaradi delovanja encimov iz lizosoma. Snovi, ki so dovolj majhne gredo skozi membrano fagosoma v citoplazmo, preostale nerazgrajene snovi pa se izločijo z eksocitozo.

Pinocitoza je proces v katerem celična membrana v nastalo vdolbino zajame kapljico tekočine v kateri živi. Iz membrane nastane majhen vezikel, ki vsebuje raztopino iz njenega življenjskega okolja. V membrani iz katere nastane vezikel ni receptorjev, zato proces ni specifičen. To pomeni, da celica nima mehanizma, ki bi pri tem procesu določal katero vrsto snovi lahko zajame. Večina tako nastalih veziklov je nastala iz delov celične membrane prekritih s proteini, zato imajo tudi sami proteinski ovoj. **4**

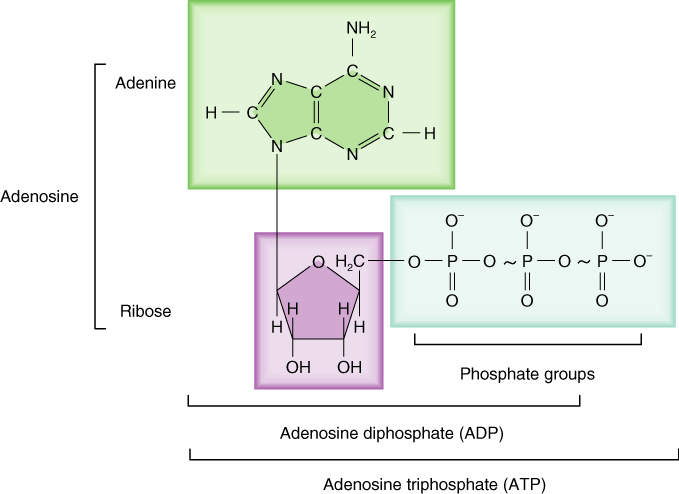


Vir: <http://classes.midlandstech.edu/carterp/courses/bio225/chap04/lecture5.htm>

Receptorska endocitoza je proces pri katerem nastane endocitotski vezikel iz celične membrane v katero so vgrajeni specifični receptorski proteini. Ti receptorski proteini so vgrajeni v membrano tako, da se nanje lahko vežejo snovi iz življenjskega okolja celice. Specifičnost teh receptorjev omogoča, da se na vsako vrsto receptorjev veže samo ena vrsta snovi - ligand. Na receptorje na zunanji strani celične membrane se vežejo ligandi nato se ta del membrane vboči in zapre ter nastane vezikel, ki ima v notranjosti zavite ligande vezane na proteinske receptorje. Ligande so lahko preprosto izpuščeni v notranjost celice ali pa se vezikel združi z lizosomom, kar omogoči razgradnjo ligandov. **4**

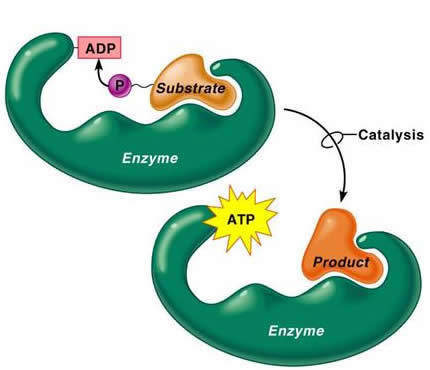
**4.4 Presnova v celici**

Metabolizem je skupek vseh kemijskih reakcij v celici živega organizma. Metabolne poti so serije kemijskih reakcij v katerih je produkt ene reakcije reaktant za drugo reakcijo. Kemijske reakcije v celici katalizirajo encimi, zato je od vrste encimov, ki so prisotni v določeni celici odvisno katere metabolne poti bodo v tej celici potekale. Vrsta encimov v celici pa je odvisna od njenega genetskega zapisa. Katabolizem imenujemo tiste kemijske reakcije katerih rezultat je razgradnja kompleksnih organskih molekul v bolj enostavne snovi. Ob poteku katabolnih reakcij se običajno sprosti energija, ki omogoča potek kemijskih reakcij. Anabolizem so kemijske reakcije v katerih z združevanjem (ali sintezo) iz enostavnih snovi nastajajo bolj kompleksne molekule. Za potek anabolnih procesov je potrebna energija. V anabolnih reakcijah nastajajo nove molekule in/ali se shranjuje energija. Energija iz katabolnih reakcij je potrebna za potek anabolnih reakcij. Kemijska energija se shrani v ATP. **4**

 <http://classes.midlandstech.edu/>

V organizmu mora nastajati ATP, da lahko potekajo metabolne aktivnosti. Obstajajo trije osnovni mehanizmi nastajanja molekul ATP v celici. Ti mehanizmi so:

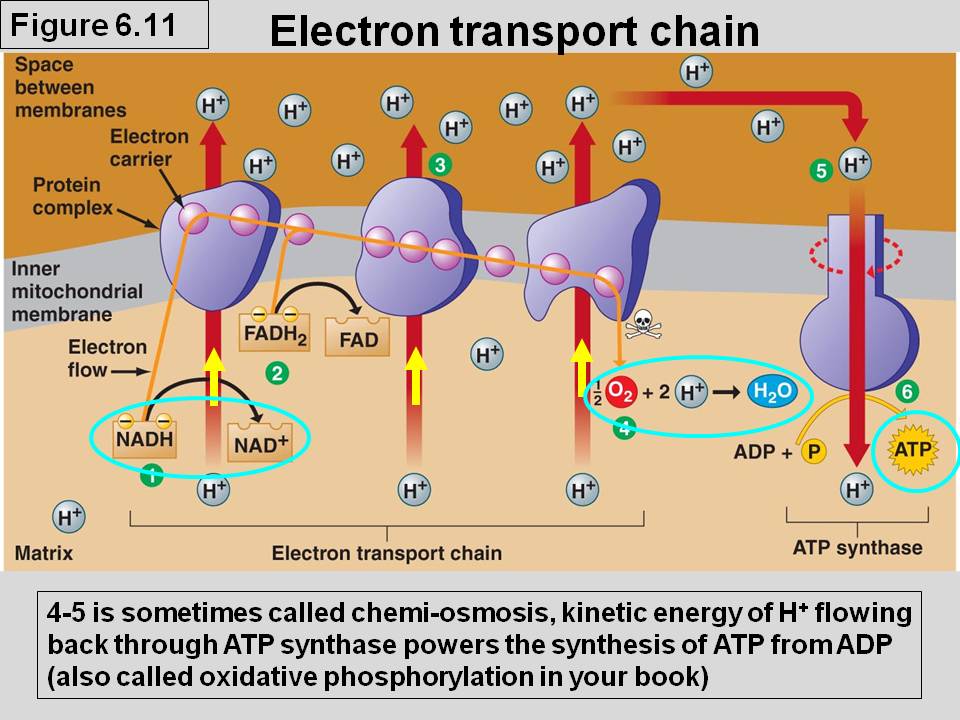
* Fosforilacija na nivoju substrata – encim prenese fosfatno skupino z donorske molekule (substrata) na ADP in s tem nastane ATP

 Fosforilacija na nivoju substrata

vir: <http://classes.midlandstech.edu/>

* Oksidativna fosforilacija – z oksidacijo organskih snovi se sprostijo elektroni z veliko energije. Ti elektroni potujejo po elektronski verigi do končnega prejemnika elektronov. Med gibanjem elektronov po eletronski transportni verigi se sprosti energija, ki se z kemiosmozo uporabi za sintezo molekul ATP. Kemiosmoza je energija protonov, ki prehajajo skozi membrano in aktivirajo encim ATP sintaza, ki katalizira proces fosforilacije ADP v ATP.

Vir: <http://classes.midlandstech.edu/>

 elektronska transportna veriga

Vir: <https://blogmistry62.wordpress.com>

Elektronska transportna veriga je zaporedje molekul v membrani, ki poberejo elektrone s prenašalnih molekul (kot sta NADH in FADH2). Elektroni prehajajo od ene molekule do naslednje s serijo oksidacijsko – redukcijskih reakcij. Pri tem se iz elektronov sprosti energija, ki jo uporabljena za potiskanje protonov skozi membrano. Zaradi prehajanja protonov skozi membrano se na eni strani membrane poveča koncentracija protonov. Zaradi razlike v koncentraciji na obeh straneh membrane protoni difundirajo skozi membranske kanale in pri tem aktivirajo encim ATP sintazo, ki ADP fosforilira v ATP.

Da se lahko v elektronski transportni verigi sprosti energija in nastanejo molekule ATP, morajo poteči reakcije med donorjem elektronov (kot je na primer NADH) in prejemnikom elektronov (kot je na primer O2). Zaradi teh reakcij pride do transporta vodikovih ionov skozi membrano (s pomočjo cele serije biokemijskih reakcij). Za nastanek adenozin tri fosfata ATP so uporabljeni vodikovi ioni, ki so transportirani skozi membrano. Elektronska transportna veriga je uporabljena za pridobivanje energije iz sončne svetlobe (fotosinteza, fotofosforilacija) kot tudi iz redoks reakcij, ki so del celičnega dihanja ali oksidacije sladkorjev. **5**

* Fotofosforilacija – svetloba elektrone z nižjih energetskih nivojev dvigne na višje nivoje, da lahko med potovanjem po elektronski transportni verigi do končnega prejemnika elektronov oddajo več energije. Pri tem s kemiosmozo nastane več molekul ATP, kot bi jih, če začetni energetski nivo elektronov ne bi bil povečan zaradi svetlobe. **4**

Molekule ATP nastajajo (se generirajo) med procesom celičnega dihanja in med fotosintezo.

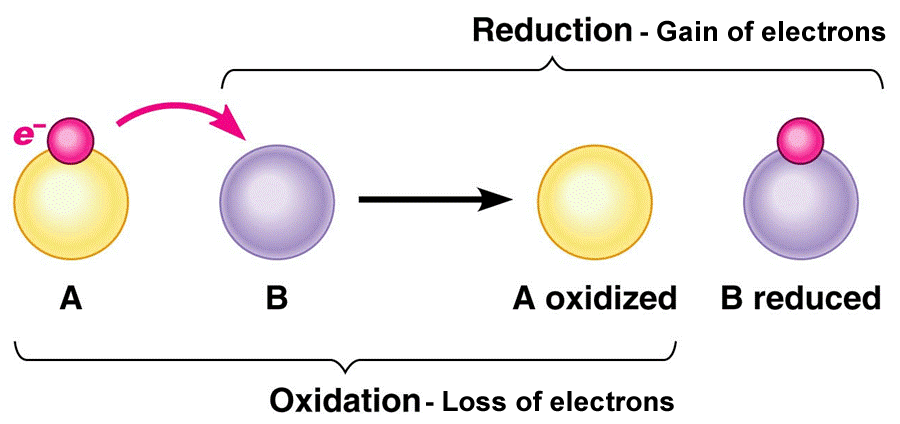
Celično dihanje – ATP nastaja z oksidacijo organskih molekul, elektronsko transportno verigo in kemiosmozo. Končni prejemnik elektronov je vedno neorganska snov. Pri aerobnem dihanju je končni prejemnik elektronov kisik O2. Pri anaerobnem dihanju je končni prejemnik elektronov druga neorganska molekula, vendar ne kisik.

Pri fermentaciji ali vrenju je ATP sintetiziran z oksidacijo organskih molekul in tudi končni prejemnik elektronov so organske molekule. Elektroni, ki se sprostijo med oksidacijo organskih snovi med fermentacijo se ne uporabijo za sintezo ATP. Med fermentacijo ATP nastaja s fosforilacijo na nivoju substrata.

Med fotosintezo se ATP sintetizira s fosforilacijo. Med fotosintezo lahko sinteza ATP lahko poteka s cikličnimi ali necikličnimi reakcijami. Pri nastajanju ATP s cikličnimi reakcijami elektroni, ki potujejo po elektronski transportni verigi prihajajo iz klorofila in se v klorofil tudi vračajo. Pri necikličnih reakcijah nastajata ATP in NADPH. Elektroni, ki naj potujejo po elektronski transportni verigi prehajajo na NADP, da nastane NADPH. Klorofil je reduciran s H2O ali H2S, da se nadomestijo izgubljeni elektroni. **4**

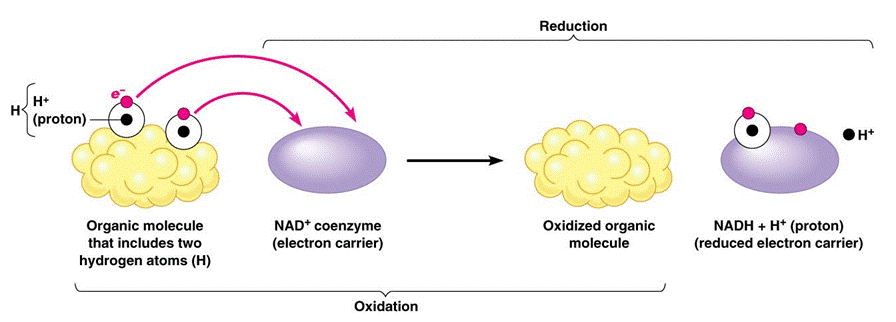
**4.4.1 Kako celice pretvorijo hranilne snovi v uporabno energijo**

Kompleksne organske spojine kot so sladkorji, maščobe in beljakovine so viri energije za celico, ker je veliko energije shranjene v kemijskih vezeh, ki atome v molekulah hranilnih snovi držijo skupaj. V celicah se ta shranjena energija sprošča v velikem številu zaporednih reakcijah oksidacije. Oksidacija je kemijska reakcija pri kateri se elektroni prestavijo iz ene molekule v drugo. Molekula, ki elektrone odda je donor in molekula, ki elektrone sprejme je prejemnik. **4**



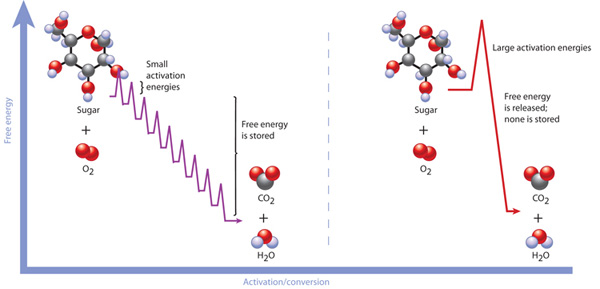
Vir: <http://classes.midlandstech.edu/carterp/courses/bio225/chap05/lecture3.htm>

Med oksidacijo se donorski in sprejemniški molekuli spremeni kemijska zgradba in količina kemijske energije, ki je shranjena v vezeh med atomi, ki jo sestavljajo. Molekule hranilnih snovi so donorji elektronov.**4**



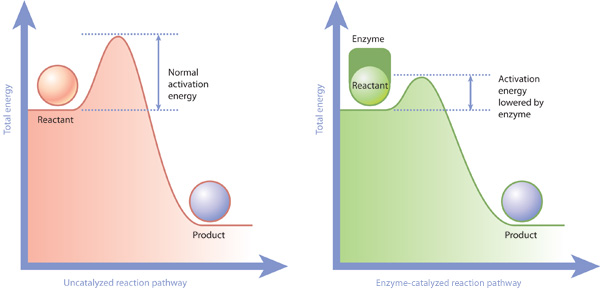
Vir: <http://classes.midlandstech.edu/carterp/courses/bio225/chap05/lecture3.htm>

Z vsako reakcijo oksidacije, ki poteče med razgradnjo hranilne snovi nastane snov, ki vsebuje manj kemijske energije kot snov iz katere je nastala. Hkrati pa molekula sprejemnika elektronov dobi nekaj energije, ki jo je izgubila molekula hranilne snovi. V molekuli sprejemnika elektronov se energija shrani. Ko so ob koncu verige reakcij vsi ogljikovi atomi, iz kompleksne organske molekule hranilne snovi, oksidirani, jih celica izloči kot odpadno snov v obliki ogljikovega dioksida. **3**



Vir: <http://www.nature.com/scitable/ebooks/essentials-of-cell-biology-14749010/118237915#bookContentViewAreaDivID>

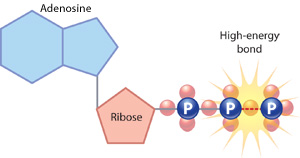
Celice energije, ki jo pridobijo z oksidacijami, ne uporabijo takoj. Shranijo jo v majhnih energetsko bogatih molekulah kot sta ATP (adenozin tri fosfat) in NADH (nikotinamid adenin dinukleotid). Tako shranjena energija je uporabna za pogon metabolizma in sintezo novih celičnih komponent. Poleg tega pa tako shranjeno energijo lahko uporabijo encimi za kataliziranje ali pospeševanje kemijskih reakcij v celici. Brez sodelovanja encimov kemijske reakcije v celici potekajo izredno počasi ali pa sploh ne. Encimi pospešijo kemijske reakcije v celici tako, da znižajo aktivacijsko energijo, ki je potrebna da neka reakcija poteče.



Vir: <http://classes.midlandstech.edu/carterp/courses/bio225/chap05/lecture7.htm>

Encimi znižajo aktivacijsko energijo, ki je potrebna, da se reaktant spremeni v produkt. Med kataliziranjem reakcije se encim veže na reaktant in olajša njegovo transformacijo v produkt.

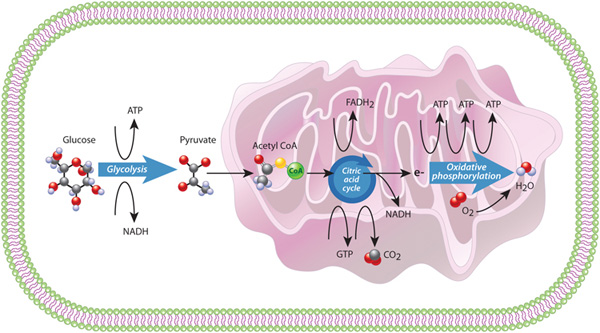
ATP je zgrajen iz dušikove baze adenozina, sladkorja riboze in verige fosfatnih skupin. V kemijskih vezeh med fosfatnimi skupinami je shranjeno veliko energije, zato ima ATP tako dobro sposobnost hranjenja energije. V vezi med drugo in tretjo fosfatno skupino v verigi je sharnjeno posebej veliko energije. ATP je v celici najbolj pogosto uporabljen prenašalec energije.

 Adenozin tri fosfat

Vir: <http://www.nature.com/scitable/ebooks/essentials-of-cell-biology>

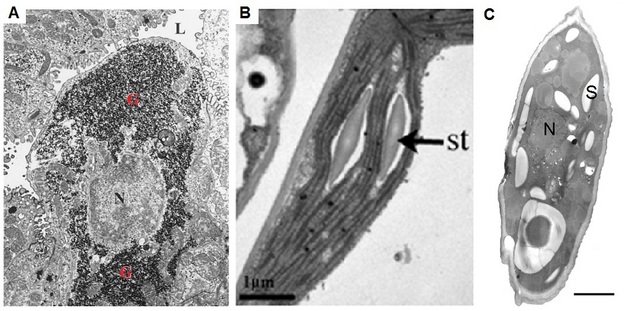
Metabolna pot po kateri bo celica iz molekul hranilnih snovi pridobivala energijo je v veliki meri odvisna od tega ali je celica prokariot ali evkariot. **3**

Pretvorba energije shranjene v vezeh molekul hranilnih snovi v bolj uporabno obliko v eukariotskih celicah poteka v treh osnovnih procesih: glikolizi, fermentaciji (ali ciklu trikarbonskih kislin) in elektronski transportni verigi (ali oksidativni fosforilaciji).**4**



Vir: <http://classes.midlandstech.edu/carterp/courses/bio225/chap05/lecture7.htm>

Ko je energije pridobljene iz hranilnih snovi v izobilju eukariotske celice začnejo tvoriti energetsko bogate molekule, da v njih lahko shranijo energijo, ki je ne morejo porabiti. Snovi, ki jih eukariotske celice uporabljajo kot shranjevalce energije so rezervne snovi polisaharidi in lipidi. Te snovi so shranjene v celicah. V živalskih celicah kot rezervna snov nastaja glikogen (polimer glukoze), v živalskih celicah pa nastaja škrob (polimer glukoze). V živalskih in rastlinskih celicah nastajajo kot rezervne snovi tudi maščobe.



A – prerez celice ledvičnega tkiva podgane. Črno obarvane so granule glikogena (G), ki obkrožajo jedro (N).

B – na prerezu rastlinske celice je videtigranule škroba, ki so prisotne v kloroplstu (st).

C – v celici amebe (eukariontski enoceličar) poleg jedra (N) je videti shranjen škrob (S) in maščobo (L).

Vir: <http://www.nature.com/scitable/ebooks/essentials-of-cell-biology>

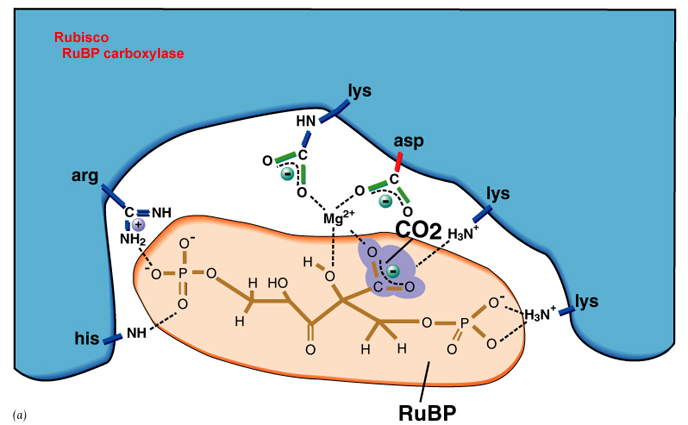
1. **Bamri-Ezzine, S. *et al.* (2003) doi:10.1097/01.LAB.0000078687.21634.69. All rights reserved. B) © 2011 PLoS. Qian H. *et al.* (2011) doi:10.1371/journal.pone.0019451. C) © 2011 PLoS. Letcher P. M. *et al.* (2013) doi:10.1371/journal.pone.0056232.**

**4.5 Encimi**

Normalno delovanje celice je mogoče zaradi biokemičnih reakcij, ki potekajo v celici. Te reakcije se začnejo ali končajo, pospešijo ali upočasnijo, ko je to za delovanje celice potrebno. V vsakem trenutku življenja celice poteka hkrati veliko različnih metabolnih poti razgradnje in izgradnje snovi. Potek vseh metabolnih poti je potrebno nadzorovati in prilagajati trenutnim potrebam celice. v celici je to mogoče, ker različni encimi sodelujejo pri poteku reakcij, ki tvorijo metabolne poti. **3**

**4.5.1 Zgradba encimov**

Encimi so proteini. Kot vse beljakovine imajo primarno, sekundarno in terciarno strukturo, veliko število encimov pa ima tudi kvartarno strukturo. Njihova kompleksna zgradba določa njihove naloge v celici. Sama reakcija, ki jo encim katalizira poteka na zelo majhnem delu encima, ki ga imenujemo aktivno mesto. Ves ostali beljakovinski del encima pa ima nalogo opore, ki substrat vezan na aktivno mesto drži v položajo, ki omogoča potek reakcije. Okrog aktivnega mesta so aminokisline, ki molekulo substrata držijo . Oblika, število in razporeditev aminokislin okrog aktivnega mesta določa obliko substrata, ki se na aktivno mesto lahko veže. Zaradi tega se na en encim vežejo samo snovi z določeno obliko. Snovi z drugačno tridimenzionalno obliko se na encimovo aktivno mesto ne morejo vezati. To sposobnost vezave samo določenih snovi, imenujemo specifičnost encimov.



Aminokisline okrog aktivnega mesta encima na katerega je vezana molekula CO2. (vir: <http://www.biologymad.com/resources/Ch%204%20-%20Enzymes.pdf> )



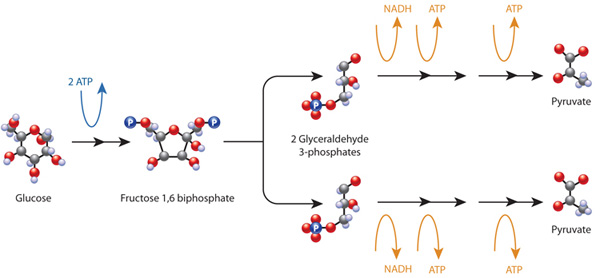
Na aktivno mesto encima vezan substrat (rumeno rdeč) (Vir : <http://www.biologymad.com/resources/Ch%204%20-%20Enzymes.pdf> )

Veliko encimov potrebuje za pravilno delovanje koencime ali kofaktorje. Ti koencimi so lahko kovinski ioni (Fe2+, Mg2+, Cu2+) ali organske molekule (hem, biotin, FAD, NAD ali koencim A). Veliko teh organskih koencimov je preobraženih vitaminov, ki v celico pridejo kot hranilne snovi. Popoln encim skupaj s kofaktorjem se imenuje holoencim. Samo proteinski del encima pa imenujejo apoencim. **3**

Encimi so torej proteini in v nekaterih primerih molekule RNK. So specifični. To pomeni da vsak encim katalizira eno samo vrsto kemijske reakcije. Nekateri encimi lahko katalizirajo skupine zelo podobnih ali sorodnih reakcij. Encimi so lahko specifični, ker ima vsaka molekula encima vedno enako tri dimenzionalno strukturo. Med katalizacijo reakcije se encim veže na substrat in nastane encimsko – substratni kompleks. Ko reakcija poteče in ko se od encima odcepi produkt reakcije se encim povrne v prvotno obliko. Molekula encima je običajno veliko večja od molekule substrata, ki se veže na aktivno mesto encima. Celoten proces, od takrat ko se substrat veže na encim do konca reakcije, ki jo encim katalizira, poteče v nekaj milisekundah. Veliko encimov vsebuje majhne neproteinske molekule, ki sodelujejo v katalitskem procesu, vendar niso del substrata. Te majhne molekule lahko delimo v dve skupini: prostetične skupine in koencimi. Delimo jih glede na to kako so povezane z encimom. Prostetične skupine so tesno in permanentno vezane na svoje encime s kovalentnimi vezmi. Primer za prostetično skupino je hem, ki je prisoten v citokromu. Koencimi so rahleje vezani na encime in ena molekula koencima lahko sodeluje z večjim številom različnih encimov. Večina koencimov je derivatov vitaminov (preoblikovani vitamini) in NAD1/NADH.

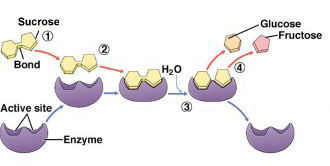
Encimi so regulacijske beljakovine, ki sodelujejo v veliki večini vseh reakcij in procesov, ki potekajo v živi celici. V DNK vsake celice je zapis za zgradbo beljakovin in s tem tudi encimov. Encimi pospešijo veliko kemijskih reakcij, ki bi sicer potekale prepočasi, da bi lahko celica ostala živa. Vsaka celica ima v DNK zapis za zgradbo vseh beljakovin, tudi encimov. Encimi pospešijo hitrost reakcije za 106 do 1012 krat. S tem omogočijo potek reakcij v normalnem okolju celice pri optimalni temperaturi za žive celice. Encimi imajo vgrajene aktivne centre na katere se lahko vežeta dve ali več molekul. Te molekule so zaradi vezave na encim blizu skupaj, poleg tega pa so orientirane tako, da prenos elektronov med njimi (nastanek ali razcep vezi) lažje poteče. Encimi imajo tudi mesto za vezavo ATP molekul v katerih je shranjene dovolj energije, da omogoči procese, ki potekajo na encimu. **6**

Encimi so proteini, ki lahko pospešijo biokemijske reakcije tako, da omogočajo prestrukturiranje molekul (spremembo njihove zgradbe). Med potekom kemijske reakcije se molekule substratov (reaktantov) prestrukturirajo ali spremenijo v molekule produktov. Pogosto se to zgodi s pripajanjem ali odcepljanjem kemijskih ali funkcionalnih skupin. Na primer v zadnji stopnji glikolize encim (piruvat kinaza) prenese fosfatno skupino z ene molekule (razgradni produkt glukoze) na drugo (ADP). Zaradi tega prenosa fosfatne skupine nastaneta ATP (iz ADP) in piruvična kislina (končni produkt razgradnje glukoze).



Vir: <http://www.nature.com/scitable/ebooks/essentials-of-cell-biology>

Encimi so prožni proteini, ki lahko spremenijo obliko, ko se vežejo z molekulami substrata. Pravzaprav ravno ta sposobnost vezave in spreminjanja oblika omogoča encimom povečanje hitrost kemijskih reakcij. V veliko primerih encim deluje tako, da približa molekuli dveh različnih substratov in ju obrne tako, da je prenos elektronov lažji. **3**

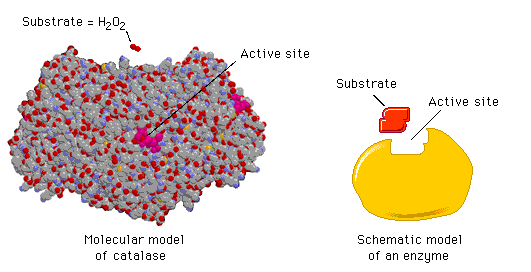


Razcep vezi med glukozo in fruktozo v saharozi

(Vir: <http://www.biologymad.com/resources/Ch%204%20-%20Enzymes.pdf> )

**4.5.2 Delovanje encimov**

Da bi encim lahko kataliziral reakcijo se mora substrat vezati na aktivno mesto encima. Pri tem nastane encimsko substratni kompleks. Medtem, ko je substrat vezan na encim poteče reakcija in substrat se pretvori v produkt. Produkt se sprosti z encima in encim se lahko veže na novo molekulo substrata. Oblika molekule substrata je komplementarna obliki aktivnega mesta encima. Teoretično torej nalegata eden na drugega kot ključ in kljčavnica. Teorija o ključu in ključavnici razloži zakaj so encimi specifični. Vendar ta teorija ne pojasni mehanizma delovanja encima in ne razloži zakaj reakcija pretvorbe substrata v produkt sploh poteče. **7**

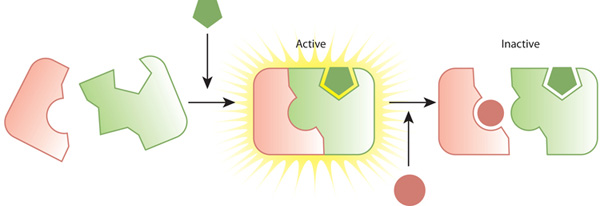


Vir: <http://www.phschool.com/science/biology_place/labbench/lab2/active.html>

Vemo, da substrat in aktivno mesto encima spremenita obliko, ko je formiran encimsko substratni kompleks (ko je substrat vezan na encim). Obliko spremenita tako, da so kemijske vezi v substratu, ki bi se morale spremeniti, ukrivljene in napete ter s tem oslabljene. Na primer, če naj bi se molekula substrata med reakcijo razcepila, se s spremembo oblike substrata (zaradi spremembe oblike encima) tarčna vez raztegne. S tem je več možnosti, da se bo vez razcepila. Poleg tega so lahko pogoji (pH, koncentracija vode, naboj) na aktivnem mestu encima drugačna kot v okolici encima. Zaradi spremenjenih pogojev je več verjetnosti, da bo reakcija potekla.

Encimi lahko spremenijo hitrost kemijskih reakcij, ne morejo pa spremeniti smeri kemijske reakcije. Encim enako lahko, odvisno od koncentracije snovi, spremeni produkt v substrat ali substrat v produkt. Skrivljeno obliko aktivnega mesta in substrata v encimsko substratnem kompleksu imenujejo prehodno stanje. **7**

Sprememba oblike encima lahko deluje tudi kot mehanizem za aktiviranje ali inaktiviranje encima. Če se na primer inhibitorska molekula veže na substrat, lahko s tem povzroči, da encim postane neaktiven, ker se ne more vezati na substrat. S tem prepreči encimu, da bi kataliziral reakcijo. Vezava aktivatorske molekule na encim povzroči, da encim zavzame obliko v kateri je aktiven. S tem aktivatorska molekula aktivira encim.**3**



Aktivacija in inaktivacija encima.

Vir : <http://www.nature.com/scitable/ebooks/essentials-of-cell-biology>

Encimi so proteini, ki lahko spreminjajo obliko in s tem postanejo aktivni ali neaktivni. Aktivator (zelen petkotnik) se veže na encim (svetlo zelena oblika) in spremeni obliko encima in mu omogoči, da se lažje veže na substrat (roza oblika). Če se inhibitor (krog) veže na substrat, prepreči vezavo encima na substrat in encim je neaktiven. **3**

Kako encimi delujejo lahko vidimo, če pogledamo spremembe energije med kemijsko reakcijo. V reakciji v kateri ima produkt manj energije kot substrat, se bo substrat sprememnil v produkt (kemijsko ravnotežje je v smeri produkta). Preden pa se substrat spremeni v produkt mora premegati energetsko oviro, ki jo imenujemo aktivacijska energija. Višja kot je aktivacijska energija počasnejša bo reakcija. To pa zato, ker bo imelo samo nekaj molekul substrata dovolj energije, da bo premagalo oviro (aktivacijsko energijo). Predstavljajte si, da morate poriniti določeno število skal na hrib, da se bodo po drugi strani skotalile navzdol. Ko so vse skale na drugi strani, je reakcija končana. Višji kot je hrib, več časa bo trajalo, da vse skale zrinete na vrh. **7**

Večina reakcij, ki potekajo v celici ima velike aktivacijske energije in bi brez sodelovanja encimov potekale prepočasi, da bi bile uporabne. Encimi zmanjšajo aktivacijsko energijo kemijske reakcije tako, da kinetična energija večine molekul presega aktivacijsko energijo, ki je potrebna za začetek reakcije. Na primer: za kemijsko reakcijo razgradnje H2O2 na vodo in kisik je aktivacijska energija 86kJ/mol brez katalizatorja. Z neorganskim katalizatorjem je za isto reakcijo aktivacijska energija 62kJ/mol in z encimom katalazo je aktivacijska energija iste reakcije 1kJ/mol. **7**

**4.5.2.1 Kaj je aktivacijska energija?**

Preden lahko molekule med seboj reagirajo, potrebujejo nekaj energije, ki omogoči pretrganje nekaterih kemičnih vezi v molekulah, ki sodelujejo v reakciji. Energija, ki je potrebna za to, da molekule sploh vstopijo v reakcijo, je aktivacijska energija. Molekula, ki sprejme aktivacijsko energijo, preide v prehodno nestabilno ebliko in reakcija lahko poteče. Aktivacijsko energijo običajno dovajamo v obliki toplote. Zaradi toplote se molekule hitreje gibljejo, poveča se število in jakost trkov med molekulami in kemične vezi v molekulah se začnejo trgati. Vse to je potrebno, da reakcija med molekulami poteče. Ker celice živih organizmov normalno delujejole pri razmeroma stalni temepraturi, toplotna energija za celico ni upraben vir aktivacijske energije. Da lahko reakcije v celici potekajo pri nižjih temperaturah, encimi v celicah znižajo aktivacijsko energijo. **6**

Eksergonska reakcija (kemijska reakcija pri kateri se energija sprošča – reaktanti imajo več energije, kot produkti) poteče spontano, vendar je lahko tako počasna, da poteka niti ne zaznamo. Razpad saharoze (disaharid) na molekuli glukoze in fruktoze je primer eksergonske reakcije. Če raztopimo saharpzo v vodi, bo pri sobni temperaturi začela razpadati, vendar tako počasi, da bi do razpada vseh molekul saharoze trajalo leta. Če pa enako koncentrirani vodni raztopini saharoze, pri sobni temperaturi, dodamo encim saharazo, je razpad vseh molekul disaharida končan v nekaj sekundah. **6**

Evkariontska celice ni preprosta vreča kemikalij, v kateri bi bili encimi pomešani z molekulami različnih snovi, na katere encimi lahko delujejo. Biokemične reakcije so v celici povezane v presnovne poti. Te biokemične reakcije potekajo na membranah organelov ali v notranjosti organelov. celični organeli so majhni, zato je v njih koncentracija encimov in snovi na katere delujejo večja kot citoplazmi. S tem pa je večja tudi verjetnost, da bo encim prišel v stik s snovjo na katero deluje ( s aktero tvori substratno encimski kompleks). Na primer: encimi, ki so potrebni za presnovne poti celičnega dihanja so zbrani v mitohondriju. Encimi, ki sodelujejo pri podvajanju DNK so v jedru in v lizosomih so encimi, ki so sposobni katalizirati reakcije razgradnje snovi. **8**

**Reducirani koencimi kot elementi za shranjevanje energija**

Potek večine biokemičnih procesov v živih celicah regulirajo encimi, ki so kontrolni ali regulacijski proteini. Učinkovitost z encimi katalizirane reakcije je pogosto povečana s prisotnostjo molekul imenovanih koencimi. Koencim, ki je prisoten v vsaki živi celici je NAD+. Ta koencim sodeluje pri transportu elektronov v metabolnih procesih, kot je na primer glikoliza. Drugi pomemben koencim v celici je FAD, ki tudi lahko sodeluje pri transportu elektronov.

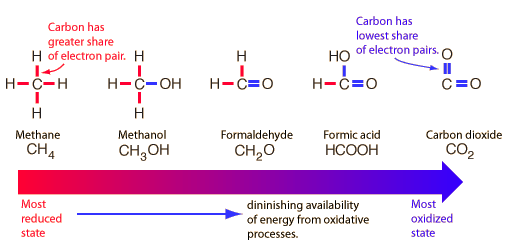
Veliko energije iz cikla trikarbonskih kislin (Krebsov cikel), ki je del aerobnega dihanja, se porabi za redukcijo koencima NAD+ v NADH. Zaradi te redukcije elektroni pridejo v elektronsko transportno verigo z višjo energijo.

V celicah organizmov, ki so sposobni fotosinteze, svetlobna energija poganja proces elektronske transportne verige, ki poteka na membranah kloroplastov. Veliko energije se porabi za redukcijo koencima NADP+ v obliko NADPH, ki ima višji energetski nivo. Energija iz NADPH se uporabi v kalvinovem ciklu, ki je del sinteze ogljikovih hidratov.

Redukcija, oksidacija in energija, ki je na voljo

Pridobivanje energije iz goriva običajno vključuje oksidacijo goriva. Bolj ko so molekule goriva reducirane, več energije lahko iz njih pridobimo z oksidacijo. Reducirane molekule imajo zato glede na njihovo popolnoma oksidirano obliko, višji energetski nivo ali status. V celici je to pomembno za procese kot je celično dihanje.

Če sledimo stopnjam procesa oksidacije na sliki spodaj, si lahko ustvarimo predstavo o tem koliko energije ime celica na razpolago v molekulah, ki vstopajo v metabolne procese.



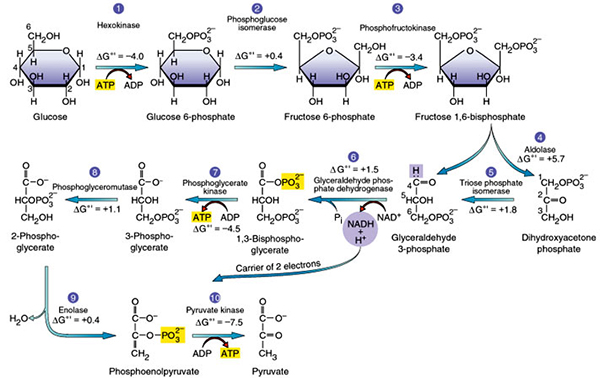
Vir: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/biology/prokar.html#c3>

Maščobe so boljši vir energije kot ogljikovi hidrati, ker so bolj reducirane. V procesih celičnega metabolizma, kot sta glikoliza in cikel trikarbonskih kislin (CTK ali Krebsov cikel) se energija iz oksidacije glukoze shrani v reducirani obliki koencimov NAD+  in FAD. Z oksidacijo teh dveh koencimov celica pridobi energijo za nekatere celične procese.**6**

**4.5.2.2 Kaj so presnovne poti?**

Metabolne ali presnovne poti so lahko enostavna linearna zaporedja majhnega števila reakcij ali pa razvejana zaporedja velikega števila reakcij. Lahko so krožne ali ciklične kot na primer Krebsov cikel ali cikel trikarbonskih kislin ali CTK. Nekatere metabolne poti imajo več namenov. Na primer Krebsov cikel je najbolj znan zaradi svoje vloge v oksidaciji sladkorjev in drugih organskih molekul, s katero celica pridobi ATP. V Krebsovem ciklu lahko nastanejo tudi prekurzorske molekule za sinteze snovi v celici. Z evolucijo organizmov se spreminjajo tudi funkcije metabolnih poti v njihovih celicah.

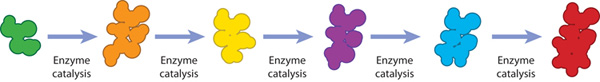
V biokemičnih reakcijah, ki potekajo v celici se spreminjajo molekule snovi. Iz reaktantov nastajajo produkti. Večina teh reakcij poteka v več korakih. Ko v celici glukoza razpade na dve molelluli piruvične kisline se to zgodi v 10 korakih. Pri vsakem od teh korakov sodeluje encim. **3**



Presnovna pot: glikoliza

Vir: <http://www.microbiologyinfo.com/glycolysis-10-steps-explained-steps-by-steps-with-diagram/>

Ta koordinirana serija kemijskih reakcij, ki sestavljajo glikolizo je primer presnovne ali metabolne poti, v kateri produkt ene reakcije postane substrat (reaktant) naslednje reakcije. Encimi sodelujejo pri vsaki od reakcij. Od encima, ki katalizira določeno reakcijo je odvisno katera snov bo produkt reakcije. V vsakem koraku presnovne poti molekula, ki je v to pot stopila, spremeni obliko, zaradi prisotnosti določenega encima. Produkt presnovne poti je lahko nova molekula (biosinteza). Lahko pa je presnovna pot razgradnja začetne molekule.**3**



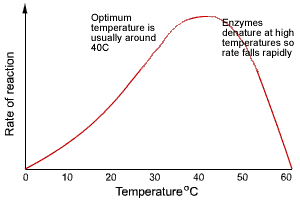
Vir: <http://www.nature.com/scitable/ebooks/essentials-of-cell-biology->

Včasih so encimi, ki katalizirajo reakcije iste presnovne poti, tudi fizično povezani. Taka povezanost omogoča, da molekula, ki je produkt ene reakcije pride takoj po nastanku v stik z encimom, ki katalizira naslednjo reakcijo presnovne poti. Na primer: piruvat dehidrogenaza je kompleks treh različnih encimov, ki katalizirajo razgradnjo piruvata (končni produkt glikolize) do acetil CoA (vstopa v Krebsov cikel ali cikel trikarbonskih kislin). Encimi, ki sestavljajo piruvat dehidrogenazo, so fizično povezani v kompleks in substrat prehaja direktno z enega encima na drugega. **3**

**4.5.2.3 Vplivi na aktivnost encimov**

**Temperatura**

Encimi imajo optimalno temperaturo pri kateri je njihovo delovanje najhitrejše. Za encime v sesalskih celicah je optimalna temperatura 40 0C. Vendar so optimalne temperature za različne encime lahko zelo različne. Za encime v celicah arktične snežne bolhe je optimalna temperatura -10 0C, za encime v celicah termofilnih bakterij pa 90 0C. **7**



Vpliv temperature na hitrost encimskih reakcij

vir: : <http://www.biologymad.com/resources/Ch%204%20-%20Enzymes.pdf>

Z naraščanjem temperature do optimalne, narašča tudi hitrost reakcij. Hitrost reakcij narašča, ker imajo encimi in molekule substrata več kinetične energije in se večkrat zaletijo. Pa tudi zato, ker imajo oboji dovolj energije, da presežejo aktivacijsko energijo. Pri temperaturah višjih od optimalne se hitrost reakcij zmanjša, ker encimske molekule denaturirajo. Toplotna energija razcepi vodikove vezi, ki ustvarjajo sekundarno in terciarno strukturo encimskih beljakovin. Encimi zato izgubijo svojo značilno obliko. Iz njih nastanejo naključno zviti klobčiči aminokislinskih verig. Oblika prostora v katerem je aktivno mesto ne ustreza več molekuli substrata, zato se ta ne more vezati nanj. Denaturacija je ireverzibilna (nepopravljiva) sprememba. Pri normalnih temperaturah se razcepijo samo vodikove vezi, peptidne vezi ostanejo nedotaknjene. Če bi hoteli razcepiti peptidne vezi, bi morali beljakovino segrevati (na temperaturi vrelišča) v močno kisli vodni raztopini več ur ali pa uporabiti encime proteaze. **7**

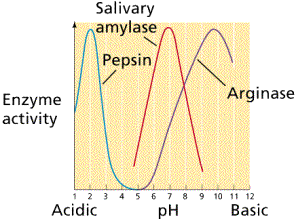


Vir: <http://classes.midlandstech.edu/carterp/courses/bio225/chap05/lecture3.htm>

Hitrost reakcij narašča z naraščajočo temperaturo, zato jo označujejo z oznako Q10, ki pove kalikokrat se relativna hitrost rekcij poveča z dvigom temperature za 10 0C. Če je Q10 za neko vrsto encima 2, to pomeni, da se hitrost reakcij podvoji pri dvigu temperature za vsakih 10 0C. seveda to velje samo dokler ni dosežena optimalna temperatura. Pri temperaturi 0 0C encimi ne prenehajo delovati. Je pa hitrost reakcij, ki jih katalizirajo počasnejša. Encimi lahko delujejo tudi v ledu. Je pa hitrost reakcij pri tem zelo majhna predvsem zaradi zelo počasne difuzije molekul encimov in substrata skozi kristalno strukturo ledu. **7**

**Kislost in bazičnost okolja – pH**

Encimi imajo optimalno vrednost pH, pri kateri je njihovo delovanje najhitrejše. Za večino encimov je optimalna vrednost pH med 7 in 8. Nekateri encimi pa lahko delujejo tudi ekstremnih vrednostih pH. Na primer optimalna vrednost pH za pepsin, ki je proteaza v želodčnem soku, je 2. **7**



Vpliv vrednosti pH na aktivnost encimov amilaza, pepsin in arginaza.

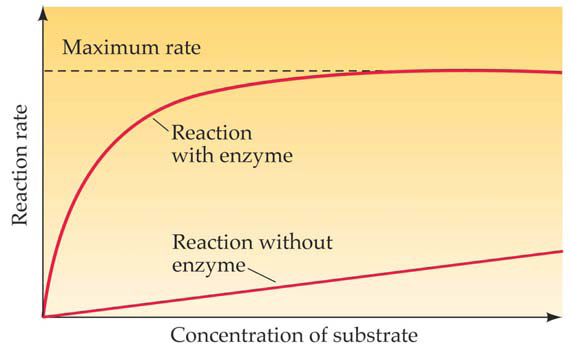
Vir: <http://www.biologymad.com/resources/Ch%204%20-%20Enzymes.pdf> )

pH okolja v katerem se encim nahaja vpliva na naboje aminokislin, ki sestavljajo encimske beljakovine. Karboksilne skupine radikalov aminokislin bodo pri nizkih vrednostih pH nenabite (COOH), pri visokih vrednostih pH pa nabite (COO-), ker bodo oddale H+ atom. Zaradi spremembe nabojev aminokislin se sprememenijo lastnosti aktivnega mesta in substrat se nanj ne more več vezati. **7**

**Koncentracija encimov in substrata**

Koncentracija encimov pomeni količino encimov v okolju v katerem potekajo reakcije. Z naraščajočo koncentracijo encimov narašča tudi hitrost reakcij. Z večjo količino prisotnih encimskih molekul je večje tudi število aktivnih mest na katera se molekule substrata lahko vežejo. Zato nastane več encimsko – substratnih kompleksov. V celicah je vedno presežek substrata in hitrost reakcij nikoli ne doseže maksimalne vrednosti. V laboratorijskih razmerah pa lahko poljubno spreminjamo količine encimov in substrata ter lahko dosežemo maksimalno hitrost reakcij.

Hitrost reakcij, ki jih katalizirajo encimi je odvisna tudi od koncentracije ali količine substrata. Z naraščajočo koncentracijo substrata v okolju kjer potekajo reakcije, narašča tudi hitrost reakcij. Z naraščajočo količino substrata se povečuje število molekul, ki s prisotnimi encimi tvorijo encimsko – substratni kompleks.**7**



Vpliv koncentracije substrata na hitrost kemijskih reakcij

Vir: <http://www.biologymad.com/resources/Ch%204%20-%20Enzymes.pdf> )

Pri visokih koncentracijah substrata se molekule encimov nasičinijo s substratom in ni nobenih prostih aktivnih mest. Od določene koncentracije substrata naprej z naraščanjem količine substrata hitrost reakcij ne narašča več, čeprav se še vedno povečuje število trkov med molekulami encimov in substrata. Hitrost reakcij (vmax) pri koncentraciji ob nasičenju encima in koncentracija substrata pri kateri encim doseže polovico maksimalne hitrosti delovanja (KM) je značilna za vsak encim. Dober encim ima visoko vmax in nizko KM.**7**

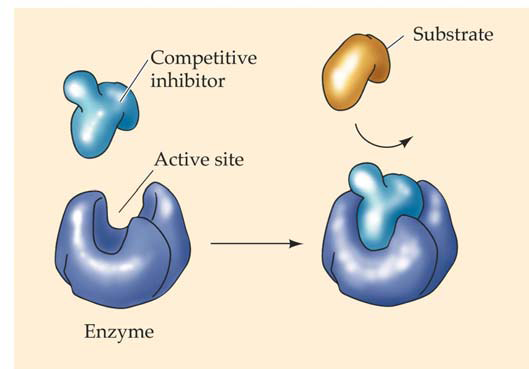
**Kovalentna modifikacija**

Aktivnost nekaterih encimov se lahko spreminja zaradi delovanja drugih encimov. Nekateri encimi lahko modificirajo proteinsko verigo drugih encimov tako, da jo razrežejo ali pa nanjo vežejo fosfatne ali metilne skupine. Take spremembe v beljakovinskem delu encima lahko encim aktivira ali inaktivira. Na tak način je na primer regulirana aktivnost pepsina in renina. Ta mehanizem je uporabljan za kontrolo delovanja več metabolnih encimov. Na primer prisotnost HCl v želodcu aktivira encim pepsin, aktiven pepsin pa aktivira encim renin. **7**

**Inhibicija encimov**

Inhibitorji so snovi, ki zavirajo delovanje encimov (zmajšajo aktivnost encimov) in s tem zmanjšajo hitrost reakcij, ki jih encimi katalizirajo. Inhibitorje najdemo v naravi, so pa lahko tudi sintetični in jih uporabljamo kot zdravila, pesticide in kot orodje za raziskave. Poznamo dve vrsti inhibitorjev: kompetitivne inhibitorje in nekompetitivne inhibitorje.

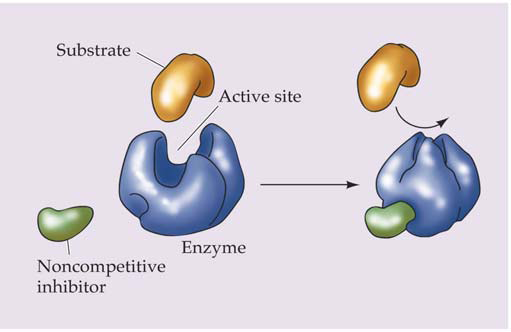
Kompetitivni inhibitorji so snovi, katerih molekule imajo podobno strukturo kot molekule substrata za katerega je določen encim specifičen. Ker je molekula inhibitorja po dobna molekuli substrata se lahko veže na aktivno mesto encima in s tem upočasni reakcijo. Ko je inhibitor vezan na aktivno mesto encima se nanj ne more vezati substrat in zato sprememba substrata (reakcija) ne poteče. To zmanjša število spremenjenih molekul substrata v časovnem intervalu in s tem upočasni reakcijo. Če povečamo koncentracijo substrata, se poveča tudi hitrost reakcije. V okolju je zaradi povečane koncentracije substrata več molekul substrata in encim v takem okolju večkrat trči v molekulo substrata, kot v molekulo inhibitorja. Kompetitivna inhibicija je običajno začasna in reverzibilna. Kompetitivna inhibicija poveča KM encima, vendar ne vpliva na vmax pri dovolj povečani koncentraciji substrata je hitrost reakcij skoraj enaka, kot da inhibitor ne bil prisoten. **7**



Kompetitivna inhibicija

Vir: <http://www.biologymad.com/resources/Ch%204%20-%20Enzymes.pdf> )

Molekula nekompetitivnega inhibitorja je po kemijski zgradbi popolnoma drugačna kot substrat in se zato ne prilega na aktivno mesto. Nekompetitivni inhibitor se veže na molekulo encima tako, da spremeni obliko celotnega encima, vključno z aktivnim mestom. Ker je spremenjeno aktivno mesto se najn ne more več vezati substrat in reakcija, ki bi jo moral encim katalizirati ne bo potekla. Na tak način nekompetitivni inhibitor zmanjša količino aktivnih encimov in zmanjša koncentracijo encimov. Zaradi tega se zniža vmax, KM pa se ne spremeni. Večina nekompetitivnih inhibitorjev se močno veže na molekulo encima in jo ireverzibilno spremeni. Taka inhibitorja so na primer strup cianid in ioni nekaterih težkih kovin. Na enak način delujejo tudi nekateri živčni strupi in insketicidi. **7**

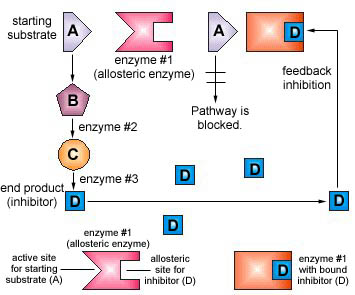


Nekompetitivna inhibicija

Vir: <http://www.biologymad.com/resources/Ch%204%20-%20Enzymes.pdf> )

**Inhibicija s povratno zanko ali alosterična inhibicija**

Aktivnost nekaterih encimov kontrolirajo določene molekule, ki se vežejo na specifično regulatorsko (ali alosterično) mesto na encimu. To mesto ni aktivni center encima. Različne molekule lahko encim aktivirajo ali inhibirajo njegovo delovanje. Ta mehanizem omogoča bolj sofisticirano reguliranje hitrosti delovanja encima. Tak mehanizem je uporabljen za regulacijo aktivnosti samo nekaterih encimov v celici in to encimov, ki sodelujejo v začetnih reakcijah dolgih presnovnih poti. Običajno tak encim aktivira substrat, ki se v tej presnovni poti spreminja, inhibira pa ga snov, ki je končni produkt te presnovne poti. Ta mehanizem regulacije delovanja encimov omogoča, da v celici kemijske reakcije določene presnovne poti potekajo samo takrat, ko jih celica potrebuje. Torej takrat, ko je v celici substrat, ki se v biokemičnih reakcijah te presnovne poti spremeni. **7**



© IHW October 2005

Inhibicija s povratno zanko

Vir: <http://www.biologymad.com/resources/Ch%204%20-%20Enzymes.pdf> )

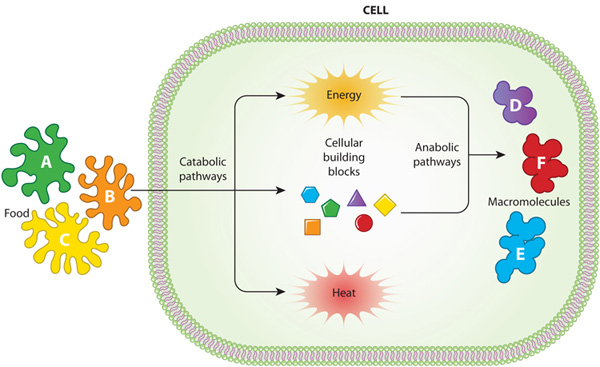
**4.6 Procesi metabolizma**

Metabolizem je dinamičen proces. V celici se brez prekinitve razgrajujejo in izgrajujejo molekule. Dinamična narava metabolizma se vidi tudi v stalni razgradnji in ponovni izgradnji snovi, ki del celične zgradbe. Na primer, beljakovine obstajajo v celici le določen čas, potem jih celica razgradi. Celične beljakovine so obstojne od nekaj minut do nekaj tednov. Večina baljakovin v celici je obstojna nekaj dni. Strukturne beljakovine so običajno obstijne dlje časa kot beljakovine v encimih. Vendar se tudi strukturne beljakovine po določenem času razgradijo in jih nadomestijo novo sintetizirane beljakovine. Enako je tudi z drugimi snovmi v celici. Stalna izmenjava snovi v celici ohranja celico v dobri kondiciji. Molekule v celici, ki so morda poškodovane (na primer zaradi oksidacije), se po določenem času razgradijo in jih nadomestijo nove nepoškodovane molekule. V celičnem metabolizmu sena osnovnem nivoju pokažejo vse dinamične lastnosti življenja. V kompleksni interakciji različnih metabolnih poti, v njihovi organizaciji in regulaciji je videti odlično izpopolnitev biokemije življenjskih procesov. **9**

**4.6.1 Kako celice vzdržujejo ravnovesje kemijskih reakcij?**

Celice znajo izredno dobro reciklirati. Razgradijo velike molekule v enostavne gradbene dele in te uporabijo za izgradnjo novih molekul, ki jih celica potrebuje. Razgradnja kompleksnih organskih molekul je del metabolizma, ki ga imenujemo katabolizem in običajno vključuje tudi sproščanje kemične energije. V procesih katabolizma se polimeri kot so proteini, nukleinske kisline in polisaharidi razgradijo na svoje osnovne sestavne dele kot so aminokisline, nukleotidi in sladkorji. Izgradnja ali sinteza snovi, ki jih potrebuje celica je anabolizem. V anabolnih procesih iz osnovnih sestavnih delov (aminokislin, nukleotidov, sladkorjev) nastajajo kompleksne snovi, ki jih celica potrebuje (proteini, nuklinske kisline, polisaharidi). Med potekom anabolnih procesov se porablja energija.

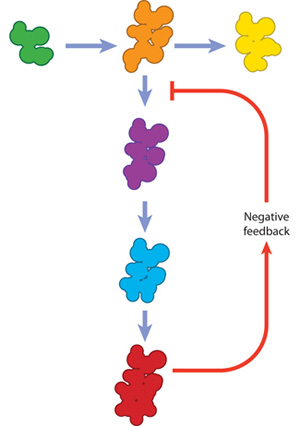
Celice morajo uravnovesiti katabolne in anabolne procese zato, da lahko nadzirajo količino kritičnih metabolitov in zagotovijo, da je v celici na razpolago dovolj energije. Metaboliti so snovi, ki so nastale zaradi aktivnosti encimov. Če na primer v okolju zmanjka hrane in se v celici zmanjšajo zaloge glukoze, se bo v celici začela sintetizirati glukoza iz drugih snovi ali pa bo celica začela pridobivati ATP z razgradno maščobnih kislin v ciklu citronskih kislin. Ko je hrane v okolju celice veliko se presežna glukoza pretvori v molekule, ki jih celica lahko shrani (glikogen, škrob, maščobe). **3**



Vir: <http://www.nature.com/scitable/ebooks/essentials-of-cell-biology->

V celico pridejo kompleksne organske molekule, ki so hrana (A,B,C). V katabolizmu se razgradijo na osnovne sestavne dele. Pri teh procesih se sprošča energija, ki se v celici shrani kot ATP ali pa sprosti kot toplotna energija. V anabolnih procesih v celici iz osnovnih gradbenih enot, ob porabi energije, nastanejo makromolekule (D,E,F). Iz teh molekul nastalih v anabolnih procesih nastajajo celične strukture, ki omogočajo rast in vzdrževanje celice.

Ko nastane dovolj snovi, ki je produkt ene metabolne poti, ta snov zavira (inhibira) potek te iste metabolne poti tako, da vpliva na encime, ki omogočajo reakcije v tej metabolni poti. Metabolna pot je zaporedje kemijskih reakcij v celici pri kateri nastane ena snov (metabolit). To imenujejo povratna inhibicija (feedback inhibition).



Vir: <http://www.nature.com/scitable/ebooks/essentials-of-cell-biology->

Celice morajo uravnovesiti katabolne in anabolne procese in poleg tega tudi nadzorovati pomanjkanje in presežke snovi, ki so produkti vseh različnih metabolnih poti, ki v celici potekajo. Vse kemijske reakcije v celici potekajo s sodelovanjem encimov. Zato morajo celice vplivati na encime, da povečajo ali zmanjšajo količino snovi, ki je produkt ene metabolne poti. Za povečanje količine snovi se mora povečati količina encimov, ki v njej sodelujejo ali pa se mora s pomočjo aktivatorjev povečati količina aktivnih encimov. Za zmanjšanje količine produkta ene metabolne poti pa mora celica zmanjšati količino encimov ali pa uporabiti inhibitorje, ki inaktivirajo encime.

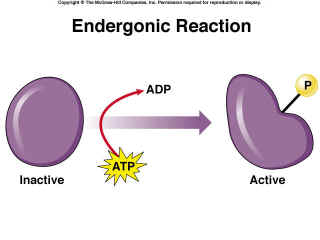
Do takšne regulacije metabolnih poti pogosto pride zaradi sprememb v koncentracijah ključnih metabolitov v celicah. Ko je, na primer, v celici dovolj velika zaloga vmesnega metabolita, celica prilagodi ( zmanjša) hitrost glikolitske metabolne poti. V nekaterih primerih produkti metabolnih poti delujejo kot inhibitorji za metabolno pot v kateri nastajajo. V procesu (metabolni poti) razgradnje glukoze ali glikolizi kot produkt prve reakcije nastane glukoza-6-fosfat. Ta snov je inhibitor encima (hexokinaza), ki reakcijo vezave fosfatnega ostanka na glukozo omogoča. **3**

**4.6.2 Katabolni in anabolni procesi metabolizma**

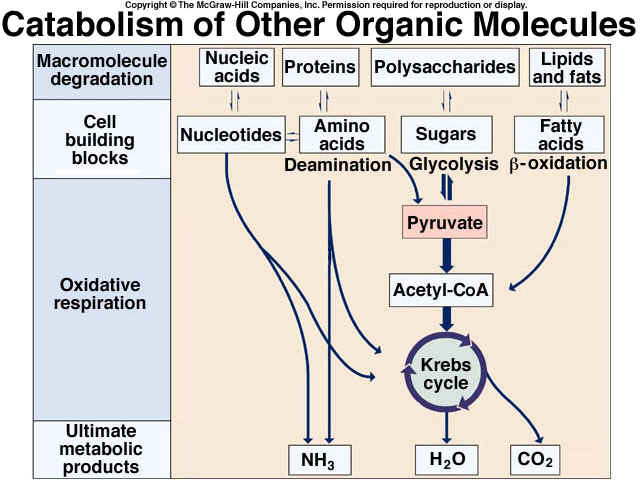
Procese metabolizma delimo v dve osnovni skupini: katabolizem ali procesi razgradnje hranilnih snovi in anabolizem ali procese izgradnje snovi, ki jih celica potrebuje.

**Katabolni procesi ali razgradnja snovi** običajno vsebujejo odstranjevanje elektronov iz molekul (oksidacija) in te procese navadno spremlja sproščanje energije. Anabolni procesi zajemajo sinteze kompleksnih molekul. Med nastajanjem molekule sprejemajo elektrone (redukcija) in celica porablja energijo, ki je shranjena v ATP. Reakcije pri katerih se energija sprošča imenujemo eksergonske, tiste pri katerih se energija porablja pa endergonske. Torej je večina katabolnih procesov eksergonskih in večina anabolnih procesov endergonskih. 8

Celično dihanje je katabolen proces razgradnje hranilnih snovi, da celica pridobi energijo v uporabni obliki kot ATP. Največkrat se razgrajuje glukoza, lahko pa tudi glikogen, proteini in lipidi. Kadar se fosfatni ostanek odcepi iz ATP in se veže na drugo molekulo, ta molekula pridobi energijo. To je endergonska reakcija. Ko se fosfatni ostanek od te molekule odcepi odda energijo in toploto in je taka reakcija eksergonska. Molekula od katere se je fosfat odcepil pa vsebuje manj energije kot prej. **10**



Vir: <http://faculty.southwest.tn.edu/>



Vir: <http://faculty.southwest.tn.edu/>

Osnovna naloga anabolnih procesov je sinteza štirih osnovnih vrst makromolekul, ki jih celica potrebuje: polisaharidi, lipidi, nukleinske kisline, proteini. Čeprav se te molekule med seboj razlikujejo po kemijski zgradbi, v celici vse nastanejo v reakcijah enakega tipa. Te reakcije so kondenzacijske sinteze, v katerih se monomeri združijo v polimere tako, da se zaporedno vežejo eden na drugega. Med reakcijo kondenzacije se iz enega monomera izloči vodikov atom, iz drugega monomera pa hidroksilna skupina. Med obema monomeroma nastane vez, izloči pa se voda. Na tak način nastajajo polisaharidi, proteini in nukleinske kisline. Makromolekule teh snovi tvorijo dolge verige zaporedno vezanih molekul monomerov. Pri lipidih pa polimerov ne tvorijo dolge verige posameznih monomerov ampak so po tri verige maščobnih kislin vezane na drugo molekulo (propan-3-ol). Se pa maščobne kisline vežejo na propan-3-ol z enako vrsto reakcije – kondenzacijo.

Osnovna naloga katabolnih procesov je razgradnja makromolekul na monomere (razgradnja hranilnih snovi). Monomeri, ki nastanejo pri tem se lahko razgradijo naprej do še manjših molekul ali pa jih celica uporabi v anabolnih procesih. Osnovna reakcija, ki omogoča razgradnjo snovi v celici, je hidroliza. Ta reakcija je obratna od kondenzacije. Med potekom hidrolize se med dva monomera veže molekula vode pri čemer se razcepijo vezi med monomeroma. Eden od vodikovih atomov iz vode ostane vezan na en monomer, hidroksilna skupina pa na drugega. Hidroliza je osnovni tip katabolne reakcije, čeprav se med njenim potekom ne sintetizira ATP. Produkti hidrolitskih reakcij so monomeri, ki se razgrajujejo naprej in pri teh nadaljnih razgradnjah pride do sinteze ATP.**4**

S katabolnimi procesi pri katerih se oksidirajo organske snovi, celica dobi energijo za življenje. Ena od takih organskih snovi je glukoza. Oksidacija glukoze je katabolni proces v katerem glukoza izgubi nekaj elektronov. Skupaj z elektroni pa molekulo glukoze zapusti tudi nekaj protonov in molekula glukoze se razgradi. Energija, ki se v katabolnih presnovnih procesih sprošča, se uporabi za sintezo ATP, ki v celici daje energijo za opravljanje večine dela.

V vseh katabolnih procesih se elektroni prenašajo iz močno reduciranih molekul na bolj oksidirane. Pri tem se organske molekule oksidirajo, reducira pa se neka druga molekula, ke elektrone sprejme. Reakcije oksidacije in redukcije so povezane v redoks sistem. Končni prejemnik elektronov je pogosto molekula kisika, ki se reducira v molekulo vode.

organska spojina + kisik → ogljkov dioksid + voda + energija

Organske spojine v hrani, ki vsebujejo veliko vodikovih atomov so odličen vir energije za celico. Vezi med atomi vodika in atomi ogljika, ki jih tvorijo elektronski pari, predstavljajo kemično vezano energijo, ki se sprosti pri prenosu elektronov in odcepitvi protonov iz molekule. Oksidacija glukoze v ogljikov dioksid in vodo je eksergonska reakcija in lahko poteče spontano, vendar je pri običajni temperaturi izredno počasna. V celici reakcijo pospešijo encimi, ki znižajo aktivacijsko energijo. Oksidacija glukoze ne poteče naenkrat, temveč je metabolna ali presnovna pot, ki poteka v več stopnjah. Energija se sprošča postopno in se porablja za sintezo ATP iz ADP in fosfata. Pri tem se glukoza oksidira v CO2 in kisik se reducira v vodo. Med samim procesom se del energije pretvori v toplotno energijo.

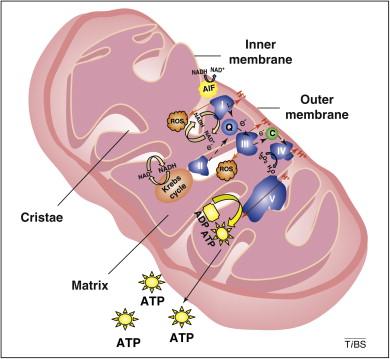
C6H12O6 + 6O2 → 6CO2 + 6H2O + energija (ATP + toplota)

V evkariontski celici oksidacija glukoze poteka v mitohondriju. Pri tem se na molekulo kisika prenašajo pari elektronov skupaj s pari protonov (H+). Med razgradnjo ene molekule glukoze se prenese 6 parov elektronov in 6 parov protonov na 6 molekul kisika.

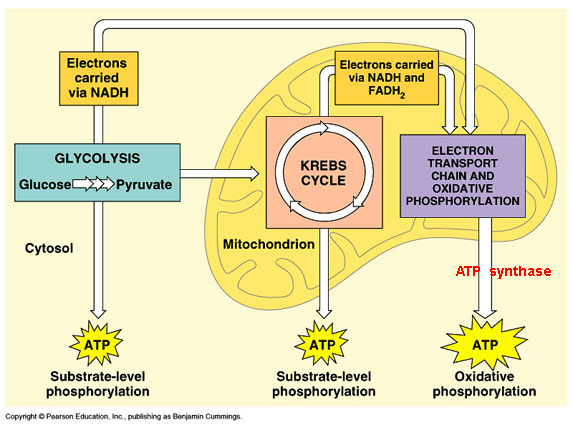
Protoni in elektroni se na molekulo kisika ne prenesejo direktno. Vmes jih prestreže molekula NAD+ (nikotinamid adenin dinukleotid), ki deluje kot koencim encima dehidrogenaze. Molekula NAD+ se reducira, ker sprejme en par elektronov in en proton. Drugi proton se sprosti v raztopino v notranjosti mitohondrija.

Med tem procesom nastane molekula NADH, ki je začasno skladišče potencialne energije. Ko se elektroni prenesejo, je molekula NADH začasno skladišče potencialne energije. Ko se elektroni z NADH prenesejo na molekulo kisika, se prosta energija porabi za sintezo ATP. NADH elektronov ne preda direktno kisiku, ampak je s kisikom povezana preko verige 4 encimov, ki elektrone sprejmejo in oddajajo naprej. Zadnji od encimov v verigi preda elektrone kisiku. Iz dveh energijsko osiromašenih elektronov in atoma ksika nastane molekula vode. Energija, ki se sprosti ob prenosu elektronov, omogoči encimu ATP sintazi, da veže fosfat na ADP. To reakcijo imenujemo oksidativna fosforilacija.

Eden od najučinkovitejših načinov za pridobivanje energije v celici je celično dihanje. Celično dihanje je presnovna pot, na kateri se pri razgradnji molekule glukoze v prisotnosti kisika sprosti energija za sintezo ATP. Celično dihanje je sestavljeno iz treh procesov: glikolize, Krebsovega cikla in elektronske transportne verige. Vsak od teh poteka v drugem delu celice. Glikoliza poteka v citoplazmi, Krebsov cikel poteka v prostoru, ki ga zapira notranja mitohondrijska membrana in dihalna veriga poteka na notranji mitohondrijski membrani.

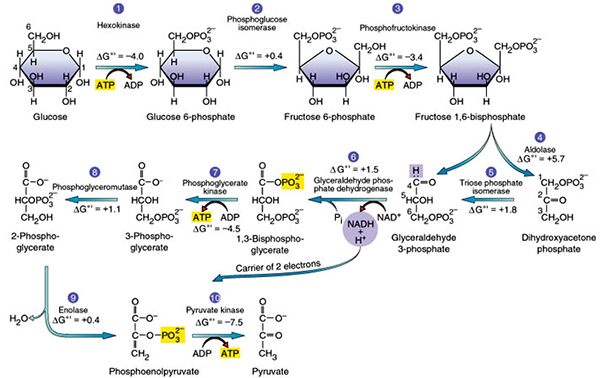


Vir: <http://www.easynotecards.com/>



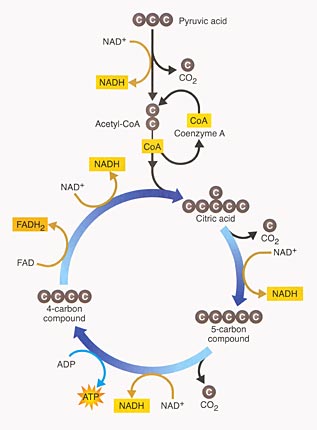
Glikoliza in Krebsov cikel sta katabolni presnovni poti, ker se glukoza razgradi najprej na dva piruvata in nato naprej na CO2. Pri tem se sprostijo elektroni in protoni, ki se vežejo na NAD+ in nastane NADH. Nastali NADH prenese elektrone in protone v dialno verigo (elektronska transportna veriga). V tem procesu se elektroni prenašajo z enega prenašalca na drugega in končno na molekulo kisika. Pri tem se sprosti energija, ki se izrabi za anabolni proces – sintezo ATP.**8**

Glikoliza je razgradnja sladkorja in poteka v citoplazmi zunaj mitohondrijev. Da lahko glikoliza poteče je potrebno glukozo najprej aktivirati. To se zgodi z vezavo dveh molekul ATP. Molekula glukoze, ki je zgrajena iz šestih ogljikovih atomov, se razgradi v dve molekuli s po tremi ogljikovimi atomi. Iz vsake od teh molekul se par elektronov in protonov prenese na NAD+. Pri tem se del energije porabi za sintezo ATP. Končno nastaneta dve molekuli piruvata, ter dve molekuli NADH in dva H+. NADH prenese elektrone v dihalno verigo, sproščena energija pri glikolizi pa se že v citoplazmi izrabi za sintezo štirih molekul ATP. Glede na porabo in pridobivanje energijo lahko glikolizo razdelimo na dva dela ali stopnji. V prvi stopnji se energija porablja (iz dveh molekul ATP nastaneta dve molekuli ADP). Ta stopnja je na spodnji sliki v korakih od 1 do 5. Pretvorba ATP v ADP je označena v prvem in tretjem koraku. Druga stopnja glikolize je pridobivanje energije pri čemer nastanejo štiri molekule ATP. Njihov nastanek je prikazan v korakih 7 in 10. Ker sta se dve molekuli ATP razgradili in so štiri nastale je izplen celotnega procesa dve molekuli ATP.



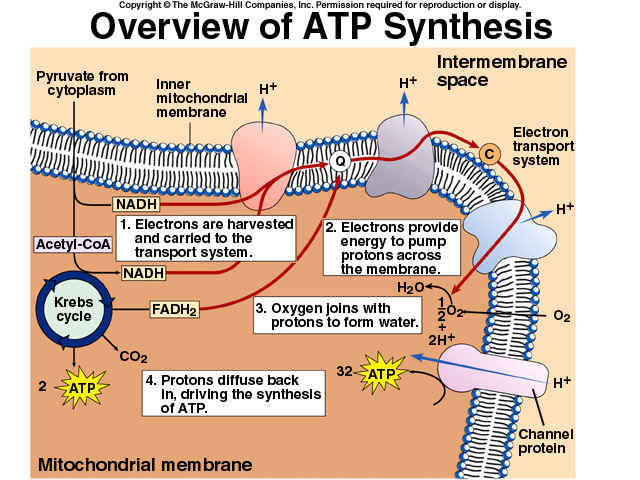
Vir: <http://www.microbiologyinfo.com/>

Pri glikolizi se sprosti manj kot četrtina energije, ki je uskladiščena v molekuli glukoze. Ostanek energije je v dveh molekulah piruvata na katteri je glukoza razpadla. Če piruvat vstopi v mitohondrij se v Krebsovem ciklu dokončno oksidira. Krebsov cikel je zaporedje encimskih reakcij, ki potekajo v notranjosti mitohondrija in omogočijo prekinitev vezi med ogljikovimi atomi v piruvatu. Ogljikovi atomi se oksidirajo, ker se v rekacijah odcepljajo tudi elektroni. Nastane CO2 sproščena energija pa se porabi za sintezo ATP.

 vir: <http://ncam.wgbh.org/>

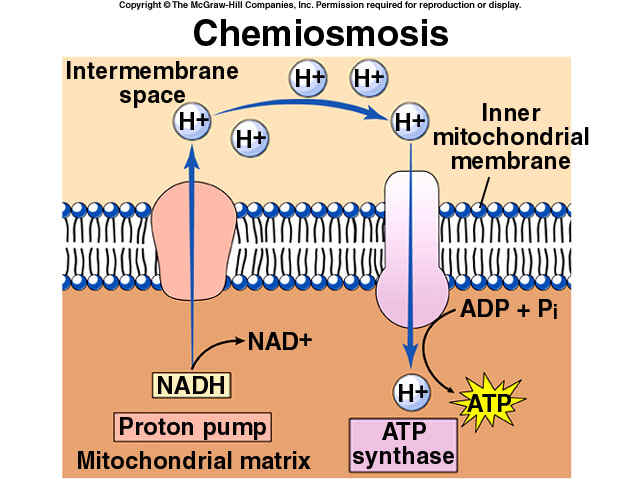
Še preden piruvat v notranjosti mitohondrija vstopi v Krebsov cikel, se od njega odcepi CO2 ter par elektronov in par protonov. Nastala molekula z dvema ogljikovima atomoma se s pomočjo koencima A (CoA) vključi v Krebsov cikel. V ciklu se postopoma odcepita še dve molekuli CO2 ter elektroni in protoni, ki jih sprejme prejemnik elektronov in jih prenese v verigo za prenos elektronov. Nastane tudi molekula ATP. Ogljikov dioksid zapusti mitohondrij in potem tudi celico, prejemnik elektronov pa elektrone preda beljakovinam v notranji mitohondrijski membrani. Te beljakovine delujejo kot prenašalci elektronov. Od začetka razgradnje ene molekule glukoze je pri glikolizi in Krebsovem ciklu nastalo šest molekul ATP, dve molekuli ATP pa sta se porabili. Skupaj smo dobili štiri molekule ATP.

Večina energije je še vedno v elektronih vezanih na prenašalce elektronov. Verigo za prenos elektronov skupaj z encimi, ki na koncu omogočijo sintezo ATP, imenujemo dihalna veriga ali elektronska transportna veriga. To je skupek beljakovinskih molekul, ki sprejemajo in oddajajo elektrone in so pri evkariontih vgrajene v notranjo membrano mitohondrijev, pri prokariontih pa so te beljakovinske molekule vgrajene v plazmalemo (citoplazemsko membrano).



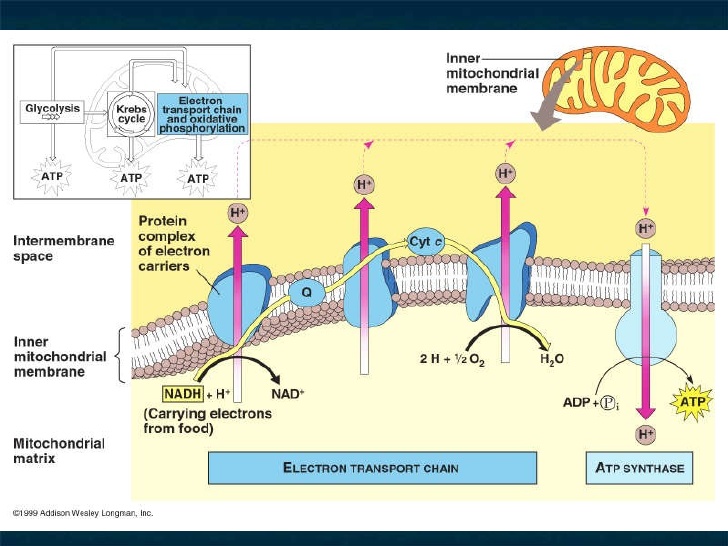
Vir: <http://faculty.southwest.tn.edu/>

V dihalni verigi elektroni tečejo le v eni smeri, prva molekula v verigi lahko odda elelktron naslednji, ne more pa ga od nje sprejeti. Druga molekula sprejme elektron od predhodnje in ga preda naslednji. Ker je notranja mitohondrijska membrana nagubana, ima veliko površino, s tem pa dovolj prostora za veliko število takih skupkov beljakovin – dihalnih verig. V dihalno verigo so elektrone prinesle molekule NADH, ki izvirajo iz glikolize in Krebsovega cikla.



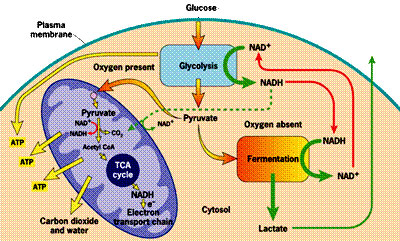
Vir: <http://faculty.southwest.tn.edu/>

Elektroni potujejo vzdolž dihalne verige proti končnemu prejemniku elektronov kisiku. Ob prenosu elektronov od ene molekule v verigi na drugo se sprosti del proste energije elektronov. Ta se izkoristi za prenos protonov (H+) iz prostora, ki ga zapira notranja membrana mitohondrija, v prostor med mitohondrijskima membranama. Protoni so nastali v Krebsovem ciklu med oksidacijo glukoze. Razlika v koncentraciji protonov v prostoru, ki ga zapira mitohondrijska membrana, in v prostoru med obema membranama predstavlja zalogo potencialne energije. Protoni spontano tečejo nazaj v notranjost mitohondrija, kjer je njihova koncentracija nižja, pri tem pa se del energije lahko izrabi za sintezo ATP. V dihalni verigi nastane 34 molekul ATP. Skupaj s štirimi molekulami ATP, ki so nastale med glikolizo in Krebsovim ciklom je to 38 molekul ATP. Energijska učinkovitost celičnega dihanja je 40%. 60% energije se izgubi kot toplotna energija.**8**



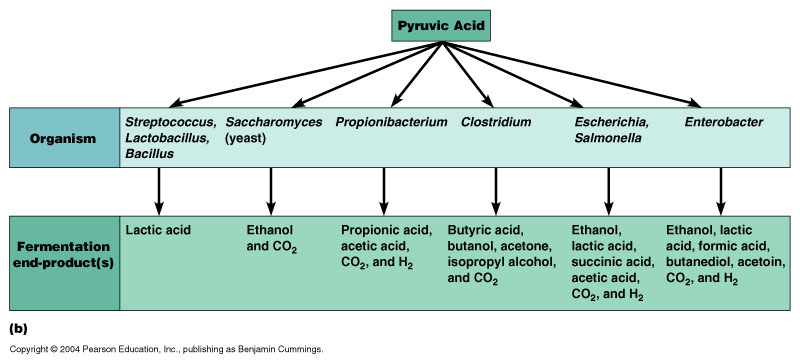
Vir: <http://www.slideshare.net/>

Če kisik ni prisoten glikolizi namesto Krebsovega cikla sledi fermentacija. Če kisik ni prisoten se bo Krebsov cikel ustavil, ker ne bo končnega prejemnika elektronov v elektronski transportni verigi in se NAD+ ne bo obnavljala ter ne bo delovala kot prejemnik elektronov znotraj cikla. **8**



vir: <http://www.enotes.com/>

**Vrenja ali fermentacija** so procesi, ki sledijo glikolizi, če ni prisoten kisik. Končni razgradni produkti vrenj so lahko različne snovi. Katere snovi nastanejo kot končni produkt vrenja je odvisno od vrste organizma v katerem ta razgradnja ogljikovih hidratov poteka. Razgradnja poteka po različnih metabolnih poteh, ki so odvisne od vrst encimov, ki so v celicah prisotni. Vrste encimov v celici so odvisne od genskega zapisa celice. **11**



Glavne metabolne poti nastanka različnih fermentacijskih produktov iz piruvata.

10
 

Vir: <http://www.slideshare.net/shalinisaini9828/fermentation-of-carbohydrates>

Če je prisoten kisik (levo), aerobni organizmi piruvat popolnoma oksidirajo do CO2 in H2O. če kisik ni prisoten se piruvat razgradi v več vrst reduciranih molekul. V nekaterih celicah (na primer v celicah kvasovk) nastaneta etanol in CO2 (v sredini). V drugih celicah (na primer v celicah mišičnega tkiva) poteka fermentacija, katere edini organski produkt je laktat (desno). V celicah nekaterih mikroorganizmov poteka fermentacije pri katerih katerih končni produkti so druge kisline ali alkoholi (ne samo etanol in laktat). Osnovni namen vseh fermentacijskih procesov je regeneracija NAD+, kar omogoči, da glikoliza še naprej poteka.

20
Fates of Pyruvate
 

Vir: <http://www.slideshare.net/shalinisaini9828/fermentation-of-carbohydrates>

Viri:

1. Brock biology of microorganisms / Michael T. Madigan . . . [ tal.].—13th
2. prirejeno po: <http://collegebio.net/College_Bio_Microbes.htm>
3. <http://www.nature.com/scitable/ebooks/essentials-of-cell-biology>
4. <http://classes.midlandstech.edu/>
5. <https://blogmistry62.wordpress.com>
6. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/biology/prokar.html#c3>
7. <http://www.biologymad.com/resources/Ch%204%20-%20Enzymes.pdf>
8. Biologija 1: učbenik za 1. letnik gimnazij in srednjih srokovnih šol/ Neil A. Campbell, Jane B. Reece;Mohorjeva 2011)
9. <http://www.biologyreference.com/Ma-Mo/Metabolism-Cellular.html>
10. <http://faculty.southwest.tn.edu/>
11. <http://www.slideshare.net/shalinisaini9828/fermentation-of-carbohydrates>