ORGANIZEM\_ KOT ENERGIJSKISISTEM

Organizmi izkoriščajo pretvarjanje ene oblike energije v drugo za biotsko delo

Organizmi so **energijsko odprti sistemi,** ki nenehno sprejemajo, pretvarjajo, izkoriščajo, shranjujejo in oddajajo energijo. Energijo, ki se pretvarja v njihovih celicah, potrebujejo za *življenjske procese in za ohranjanje življenja*.

Bolj zapleteno zgrajeni organizmi porabljajo za svoje vzdrževanje več energije od preprostejših. Za življenjske procese organizmi izkoristijo le tisto energijo, ki jo lahko porabijo za celično delo. Preostala energija se sprosti kot *toplota*.

BIOTSKO DELO

Delo,ki poteka v organizmih, imenujemo **biotsko delo.** Poznamo več vrst biotskega dela:

* prenos molekul skozi membrane,
* osmotsko nabrekanje celic,
* sintezo večjih molekul,
* mišično krčenje,
* gibanje mikrotubulov,
* premikanje in zvijanje kromosomov,
* električno nabijanje celic in drugo (slika 1-50).

Energijo, ki jo organizmi v različnih oblikah sprejemajo iz okolja, pretvarjajo v *kemijsko energijo*. (ENERGIJA -–organizmi spremenijo🡪Kemijska energija)

Shranjujejo jo tako, da s pomočjo sprejete energije sintetizirajo v celicah večje organske molekule. Nekateri organizmi sprejemajo take že izdelane molekule iz okolja.

**Kemijska potencialna energija** imenujemo energijo, ki jo vsebujejo molekule. Kadar potrebujejo energijo za delo, jo sprostijo z razgradnjo teh energijsko bogatih molekul. Pri tem jo pretvarjajo v druge oblike in opravljajo delo. Tisti del, ki se pri pretvorbi lahko izkoristi za opravljanje dela, imenujemo **prosta energija.**

Organizmi torej za svoje delovanje izkoriščajo prosto energijo različnih organskih snovi. Kemične snovi se razgrajujejo in pretvarjajo ene v druge, pri vsaki pretvorbi pa se količina proste energije manjša.

Če morajo organizmi kemijsko energijo izkoristiti za biotsko delo, jo pretvorijo v druge oblike. Pri pretvorbi kemijske energije v mehansko opravijo delo na primer mišice, pri pretvorbi v električno pa živčno tkivo.

Za opravljanje biotskega dela se nikoli ne more izrabiti vsa energija. Njen precejšen del organizrnorn "uide" v obliki **toplote**, ki je ne morejo neposredno izkoriščati za delo. Poleg tega je sproščanje večje količine toplote naenkrat za organizme škodljivo.

Pri močno povišani temperaturi telesa se namreč beljakovine poškodujejo, kar je za celice oziroma organizme usodno. Zato so se med evolucijo organizmov razvili posebni mehanizmi, ki omogočajo postopno pretvarjanje kemijske energije v primerno obliko za opravljanje biotskega dela. Pri tem se toplota sprošča postopno in se sproti odvaja iz organizma.

Ko je:

* TOPLO: Vsa toplotna energija pa kljub temu ne uide v okolje brez koristi. Ko molekule sprejmejo toploto, se poveča njihova hitrost in s tem tudi njihova kinetična energija. Pri večji hitrosti molekule med seboj močneje in hitreje trkajo, zato hitreje potekajo tudi kemijske reakcije, pri katerih se odvija pretvorba kemijske energije. Organizmi torej del toplotne energije izkoristijo posredno za pospeševanje kemijskih reakcij.
* HLADNO: Pri nižjih temperaturah potekajo nekatere reakcije precej počasneje ali pa sploh ne stečejo. Količina kemijske energije je v različnih snoveh različna. Iz njih se zato za delo izkoristi različna količina proste energije in sprosti različna količina toplote. Pri sežigu, snovi se vsa prosta energija sprosti kot toplota. Če npr. sežgemo določeno količino sladkorja, se v kratkem času sprosti prav toliko energije kot med počasno in postopno oksidacijo enake količine v organizmu.

Količino proste energije ugotavljamo tako, da snov sežgemo v posebni posodi, **kalorimetru.** Sproščena toplota segreje znano količino vode. Večkot je sproščene toplote, večjaje razlika v temperaturi vode pred sežigom in po njem. Snov,iz katere se sprosti pri sežigu več toplote, imatorej več proste energije, organizmi pa iz take snovi pridobijo več energije za delo.

Avtotrofen in heterotrofen način pridobivanja energije

Organizmi morajo imeti zagotovljen stalen vir energije, ker jo med opravljanjem različnih biotskih del nenehno izgubljajo. Dobivajo jo v različnih oblikah.

* **AVTOTROFNI ORGANIZMI**: Organizmi, ki so sposobni sami sintetizirati organske snovi iz anorganskih s pomočjo s**vetlobe ali z oksidacijo nekaterih anorganskih snovi.** Mednje prištevamo *večino rastlin in nekatere prokarionte.*

**Biosinteza:** je Proces, pri katerem se v organizmu sintetizirajo snovi z višjo energijsko vrednostjo od izhodnih snovi, torej snovi z več proste energije. Najpomembnejši in najbolj razširjen način biosinteze je **fotosinteza**. Veliko proste energije vsebujejo končni produkti fotosinteze, kot so sladkorji, škrob, olja, maščobe, celuloza in druge snovi. V teh molekulah je je toliko, da je imajo organizmi dovolj tudi za sintezo drugih molekul, ki so potrebne za gradnjo in delovanje celic. Prosta energija je v teh snoveh shranjena v vezeh. Ko se molekule razgrajujejo v osnovne spojine, se sprošča tudi razpoložljiva prosta energija.

Organske molekule, ki jih sintetizirajo avtotrofni organizmi, pa niso vir energije le zanje, temveč tudi za druge organizme.

* **HETEROTROFNI ORGANIZMI** niso sposobni izkoriščati svetlobne ali pa kemijske energije anorganskih snovi.Energijo morajo dobiti iz organskih snovi v **hrani**, torej s sprejemanjem molekulz veliko razpoložljive proste energije. Te molekule imenujemo **energijsko bogate molekule**.

Dotok in poraba energije morata biti usklajena. Če je dotok večji od porabe, siorganizem ustvarja energijske zaloge v obliki založnih (rezervnih) snovi, prinjenem premajhnem dotoku pa jo izrablja iz rezervnih snovi. Če je na razpolagopremalo energije za ohranjanje biotskih funkcij, organizem propade. .

Hiter pritok energije za celično delo omogočajo energijsko bogate fosfatne vezi v ATP

Za nekatera dela v celici je potrebno precej manj energije, kot pa je vsebuje pomezna energijsko bogata molekula (na primer glukoza). Taka molekula Ima veliko vezi, v katerih je shranjena kemijska potencialna energija, in če bi se sprostila energija iz vseh vezi hkrati, bi se za delo na tistem delu celice izrabil le del energije, vse ostalo pa bi se zgubilo kot toplota. Zato je za celico veliko primerneje, da energijsko bogate molekule razgrajuje postopno, eno vez za drugo, sproščeno energijo pa shrani kot potencialno kemijsko energijo v vezeh primernejših molekul.

Kemijska potencialna energija v teh vezeh pa ne sme biti niti premajhna niti prevelika. Če bi bila :

* *premajhna*, sproščena energija ob razpadu vezi ne bi zadostovala za neko delo, recimo za prenos natrijevega iona skozi membrano proti višji koncentraciji.
* *prevelika*, bi se ob opravljenem delu višek energija spet neizkoriščene izgubil kot toplota.

Spojine s fosfatnimi vezmi so najprimernejše za sprotno shranjevanje potencialne kemijske energije. Med temi spojinami so najbolj uporabne molekule **adenozin trifosfata (ATP).** Zato je ATP ena najbolj razširjenih energijsko bogatih snovi v organizmih. Molekule ATP potujejo na mesta, kjer je potrebna energija za delo, in se tam cepijo. Vse energijske snovi (svetloba, ogljikovi hidrati...) se spremenijo v ATP.

Med presnovo se prosta energija veže ali sprošča

PRESNOVA (METABOLIZEM)

Vse snovne in energijske pretvorbe v organizmu potekajo v procesih, ki jih imenujemo **presnova (metabolizem)**. Pri metabolnih reakcijah se ene snovi pretvarjajo v druge, kar je vedno povezano s sproščanjem energije ali z njeno porabo.

Presnovni procesi potekajo v celicah na natančno določenih mestih in po ustaljenem zaporedju oziroma po določenih "poteh", ki jih imenujemo **presnovne (metabolne) poti**. Čeprav ima vsaka vrsta celic svoje značilne metabolne poti, pa so nekatere kljub temu enake v vseh celicah. Kemijske spremembe potekajo pri vseh metabolnih poteh v številnih zaporednih stopnjah. Pri vsaki stopnji se sprosti ali pa porabi nekaj energije. Sproščeno energijo izkoriščajo celice - za delovanje ali za tvorbo novih organskih molekul.

Razlikujemo dve skupini metabolnih poti.

* V prvo spadajo vse biokemijske reakcije, pri katerih se večje organske molekule postopoma razgrajujejo, pri čemer se energija sprošča. To skupino metabolnih reakcij imenujemo **razgrajevanje (katabolizem).**
* Pri drugi skupinimetabolnih poti pa iz manjših molekul nastajajo večje, organizmu lastne organske molekule, kar imenujemo **izgrajevanje (anabolizem).** Za njihovo sintezo je potrebna energija.

Osnovni vir **AVTOTROFOV**: svetlobna ali kemijska energija iz anorganskih molekul, **HETEROTROFI** pa pridobijo vso energijo s katabolizmom. Katabolne in anabolne reakcije so med seboj povezane, čeprav večinoma ne potekajo v istih delih celice. Pri rastlinah npr. poteka anabolizem ogljikovih hidratov v kloroplastih, njihov katabolizem pa v citoplazmi in mitohondrijih.

Za začetek vsake metabolne reakcije je potrebna aktivacijska energija

Molekule, ki so udeležene v metabolnih procesih, se pri običajnih temperaturah v večini primerov ne gibljejo dovolj hitro, da bi med seboj reagirale. Imajo premalo kinetične energije, da bi lahko premagale **energijsko pregrado**, ki je potrebna za začetek biokemijske reakcije. Energijska pregrada torej preprečuje, da bi reakcija med molekulami stekla pri običajnih temperaturah. Zato morajo molekule, ki med seboj reagirajo, prejeti še dodatno energijo, da sploh lahko vstopijo v kemijsko reakcijo. Pravimo, da se morajo aktivirati. Energijo, ki je potrebna, da molekule premagajo energijsko pregrado, imenujemo **aktiaktivacijska** **energija.**

Molekule lahko dobijo aktivacijsko energijo pri *metabolnih reakcijah* ali pa *iz okolja v obliki toplote*. Njihova kinetična energija se poveča in med sabo se začnejo močneje trkati. Zaradi trkov pride do spreminjanja kemijskih vezi in reakcije stečejo.

Zviševanje temperature v nekem razponu torej pospeši metabolne reakcije. Molekule sladkorja, ki so v stiku s kisikom, se pri temperaturi 25° C ne spajajo z njim, ker ima premalo molekul toliko aktivacijske energije, da bi prišlo do opazne oksidacije. Če zvišamo temperaturo, npr. na 3000 C, začne sladkor goreti, ker kisikove molekule množično reagirajo s sladkornimi. Pri tem se sprošča dovolj toplotne energije, da teče reakcija naprej, četudi ne segrevamo več. Začetno segrevanje je torej dovajanje aktivacijske energije, s katero sladkor in kisik premagata energijsko pregrado.

V mnogih primerih zadostuje v organizmih za premagovanje energijske pregrade že kinetična energija, ki jo imajo molekule pri običajnih temperaturah. Pri številnih reakcijah pa bi bila potrebna za sproženje reakcij tako visoka temperatura, da bi razpadle tudi organske molekule, ki gradijo celice, v katerih reakcije potekajo. Zato poteka premagovanje energijske pregrade v organizmih še na drug način, z njenim **zniževanjem**. Tako že majhna aktivacijska energija zadostuje, da reakcija steče (slika).

Sposobnost zniževanja energijske pregrade imajo določene snovi, ki jih imenujemo **katalizatorji.** Nekateri katalizalizatorji omogočijo, da poteka kemijska reakcija s primerno hitrostjo že pri precej nižji temperaturi. Katalizator sodeluje v reakciji, vendar se pri tem ne spreminja in ne porablja. Molekula katalizatorja se veže na reagirajočo molekulo in tako zniža njeno aktivacijsko energijo, da se reakcija lahko začne. Takoj nato se katalizatorska molekula sprosti in poveže z naslednjo reagirajočo molekulo. Katalizator ne vpliva na smer reakcije, kajti reakcija teče tako, kot bi tekla brez katalizatorja, vpliva pa na njeno hitrost.

Encimi - vrsta katalizatorjev v živih bitjih

Katalizatorje v živih bitjih imenujemo **biokatalizatorji.** Med njimi so najvažnejši encimi (slika 1-56). Večina encimov deluje v notranjosti celic, nekateri pa zunajnjih, na primer v prebavnem traktu. Tak je recimo encim amilaza v slini, kirazgrajuje škrob. Ker encimi povečajo hitrost reakcij, se hitreje sprošča energijaza delo, nekoliko pa se poviša temperatura organizma. Oboje prispeva kpremagovanju energijske pregrade. Zaradi zmerno povišane temperature delujejoencimi uspešneje kot bi sicer.V vsakem organizmu je mnogo različnih encimov. Nekateri katalizirajo nastanekkompleksnejših snovi iz enostavnejših, drugi pa obratno (slika 157).Snov, s katero reagira encim, se imenuje **podlaga (substrat).** Encimska molekulase združi z molekulo substrata in nastane **kompleks encim-substrat.** Dela encimske in substratne molekule se prostorsko skladata, kar navadno primerjamo sskladnost jo ključa in ključavnice. Pri taki vezavi se medatomske sile takopreuredijo, da se aktivacijska energija zmanjša in reakcija zlahka steče. Takojza tem se encim odcepi od novonastale molekule in se veže z naslednjomolekulo substrata. Tisti del encimske molekule, ki se prostorsko prilega suh**aktivno mesto** stratni molekuli, imenujemo **aktivno mesto** ali **aktivni center.** Posamezni encimidelujejo samo na eno vrsto substrata, drugi pa na več, če so substrati kemijskozelo podobni med seboj. Številni encimi vsebujejo poleg beljakovinskega šenebeljakovinski del molekule, **koencim,** ki je sestavni del aktivnega mesta. Vlogokoencima imajo mnogi vitamini, na primer B kompleks, in nekateri mikroelementi(železo, kobalt, baker).Na encimsko aktivnost delujejo poleg temperature še mnogi drugi dejavniki.

Tako nekateri antibiotiki zavirajo delovanje specifičnih bakterijskih encimov, na vretenčarske oziroma človeške encime pa ne delujejo. Na delovanje encimov vplivata tudi pH ter koncentracija substrata in encima. Če je pH nizek, je na encimu več prostih pozitivnih nabojev. Nekateri encimi delujejo v kislem okolju bolje kot valkalnem, zlasti če je na substratni molekuli več negativnih nabojev. Tudi v različnih delih prebavne cevi, kjer pH ni enak, se delovanje encimov razlikuje. Tako lahko v enem predelu bolje delujejo tisti encimi, ki so aktivnejši v kislem okolju, in obratno. Encime pogosto poimenujemo po substratnih molekulah, tako da osnovnemu imenu substrata dodamo pripono -aza. Tako se imenujejo encimi, ki cepijo ogljikove hidrate, na splošno **karbohidraze,** maščobne molekule ali lipide cepijo

**lipaze,** celulozo **celulaze,** škrob (lat. *ami/um)* amilaze, nukleinske kisline pa **nukleaze.** Pogosto imenujemo encime po vezeh, na katere delujejo. Na peptidno vez delujejo **peptidaze.** Ohranjajo pa se še stara imena (na primer tripsin,pepsin), po katerih so poimenovali encime še prej, preden je bil uveljavljen enoten način poimenovanja.

**Hitrost presnove lahko določamo**

Velik del energije se sprosti pri metabolnih procesih kot toplota, zato lahko toplotne spremembe uporabljamo za ugotavljanje hitrosti metabolizma. Čim hLtreje potekajo reakcije in čim *več* jih je *v* določenem času, tem več toplote organizem sprosti. Ce *žival* ali *človeka* zapremo *v* komoro, ki je toplotno izolirana od okolja, lahko izmerimo količino sproščene toplote *v* določenem času in iz tega ocenimo hitrost metabolizma. To pa ni edini način merjenja hitrosti metabolizma. Pri organizmih, ki oksidirajo energijsko bogate jnolekule do ogljikovega dioksida in *vode,* je hitrost metabolizma sorazmerna porabi kisika. CilJI *več* kisika porabi organizem *v* določenem času, več energijsko bogatih snovi se oksidira. *Clovek,* ki tehta 70 kilogramov, porabi med mirovanjem okrog četrt litra kisika na minuto. Pri teh meritvah merimo spremembo prostornine plina, do katere pride, ko organizem *v* zaprti komori porablja kisik, medtem ko sproščeni ogljikov dioksid kemično *vežemo* (slika 1-58). Najmanjša hitrost metabolizma, ki je nujna, da se organizem med mirovanjem ravno še ohranja pri življenju, se imenuje **bazaini metabolizem.** Pri **bazaini metabolizem** njem se sprošča samo toliko energije, kot je organizem potrebuje za preživetje. Praviloma porabljajo bitja z višjo telesno organizacijo več energije kot nižje razviti organizmi. Zato je tudi bazaini metabolizem pri različnih živalih različen. Razlike pa so tudi med istovrstnimi osebki. Hitrost bazalnega metabolizma je namreč odvisna od starosti (slika 1-59), spola, načina prehrane, telesne teže, podnebja itd. Bazaini metabolizem za odraslega moškega (70kg) znaša pri 200 C od 6300 k] (kilojoulov) do 7500 k] na dan, ženske pa potrebujejo približno 5 % manj energije. Ker je pri raznovrstnih opravilih človekova dejavnost raznolika, porabijo ljudje pri opravljanju različnih poklicev različno količino energije (slika 1-60). Pri napornem mišičnem delu se poraba energije poveča tudi do petkrat v primerjavi z mirovanjem, pri kratkotrajnih, močnejših obremenitvah pa še bolj. Pri tem se tolikokrat poveča tudi hitrost metabolizma. Pri nizkih temperaturah namreč niti encirm ne morejo več dovolj hitro zniževati aktivacijske energije. Zato se je, zlasti pri ptičih in sesalcih, med evolucijskim razvojem uveljavil lasten nadzor (kontrola) temperature v celicah. Take živali so **živali s stalno telesno temperaturo** ("toplokrvne živali").

Pretežno je njihova telesna temperatura višja kot v okolici. Ker pa se temperaturne razmere v okolju močno spreminjajo, se lahko telo podhladi ali pa pregreje. Pri fizičnem delu se metabolni procesi v mišicah tako pospešijo, da se hitro sprosti kar precej toplote. Če je je preveč, se mora čimprej odvesti iz telesa. Na previsoko temperaturo so najbolj občutljive živčne celice možganih. Pri **živalih z nestalno telesno temperaturo** ("mrzlokrvne živali") so telesna temperatura in s tem energijski procesi odvisni od temperature okolja.

SNOVNE IN ENERGIJSKE PRETVORBE

**Preden celica lahko izkoristi molekule za sproščanje energije, jih mora razgraditi na manjše enote**

Za svoje ohranjanje in delovanje organizem neprestano potrebuje energijo. Ta

se sprošča iz energijsko bogatih snovi. Enostavnejše med njimi, npr. Enostavne sladkorje, maščobne kisline in aminokisline, lahko celice privzemajo z aktivnim transportom neposredno iz okolja. Za to sicer potrebujejo energijo, vendar je pozneje z razgradnjo teh molekul v celici sprostijo precej več. Večje molekule, npr. polisaharidi in beljakovine, ne morejo prehajati skozi membrano. Celica lahko sprejema le njihove sestavne dele. Encimi kompleksne spojine razgradijo v enostavnejše zunaj celic. Polisaharide razgradijo v monosaharide, beljakovine vaminokisline itd. Kadar pridobiva celica več enostavnih energijsko bogatih snovi, kot jih sproti porablja, nastajajo iz njih kompleksnejše, vendar organizmu lastne snovi, ki se kopičijo v celicah. Če se npr. človek ali žival hrani zrastlinskim škrobom, se ta zunaj celic razgradi na glukozne monomere, v celici pa iz glukoznih molekul nastane "živalski škrob" - glikogen. Takšne snovi imajo vlogo celičnih založnih (rezervnih) snovi, ki jih celica izkorišča, kadar energijsko bogatih snovi ni na razpolago okolju. Takrat celica uporabi svoje lastne rezervne snovi in jih z encimi razgradi v enostavnejše. Energijo iz večjih energijsko bogatih molekul lahko torej celica izkoristi šele, ko jih razgradi na manjše.

**V organizmih se energija sprošča v oksidoredukcijskih procesih**

/

Večina energije se sprosti iz organskih molekul pri cepitvi vezi med vodikovimi in ogljikovimi atomi. Iz enostavnih energijsko bogatih molekul se odcepljata s pomočjo posebnega encima po dva vodika hkrati. Vežeta se na končni prejemnik, ki je pri večini organizmov kisik. Pri tem nastane voda, znaten del sproščene energije pa se izkoristi za cel ično delo. V primerjavi z gorenjem vodikova atoma ne prehajata neposredno na kisik, temveč prek več

prenašalcev. Pri vsakem prenosu z enega prenašaica na drugega se sprosti le

nekaj energije in ne vsa naenkrat, kot se to zgodi pri gorenju. V vsakdanjem življenju lahko sproščanje energije iz organskih molekul opazujemo pri gorenju lesa. Pomembna sestavina lesaje celuloza, ki je zgrajena iz molekul glukoze, torej tistih molekul, ki jih tudi celica najpogosteje uporablja kot vir energije. Energija se pri gorenju sprošča pretežno kot toplota, delno p} tudi kot svetloba, kar se zgodi zaradi kemijske reakcije med molekulami celuloze in kisika. Ce preprečimo dostop kisiku, plamen ugasne. Kaj se pri tej reakciji pravzaprav dogaja? Z energijskega vidika je bistveno, da se od celuloze odcepljajo vodikovi protoni in se spajajo s kisikom. Hkrati z vodikovimi protoni prehajajo na kisik vodikovi elektroni, ki so prej sodelovali pri vezeh v glukoznih molekulah. Ker je v vezi med ogljikovimi in vodikovimi atomi v celulozi več energije kot v vezi med vodikovimi in kisikovimi atomi v vodi, se energija sprošča. Pri opisani reakciji je pomembna predvsem energija veznih elektronov in prehajanje teh elektronov z višje energijske ravni na nižjo, višek energije pa se sprošča. Za vsako kemijsko vez je potrebna energija. Ko se vez razcepi, se energija vezi sprosti. Hkrati pa lahko nastane nova kemijska vez, za katero je potrebno manj energije. Molekule, v katerih je energija veznih elektronov manjša, so stabilnejše. Zato je prehajanje veznih elektronov iz manj stabilnih (visokoenergijskih) molekul v stabilnejše (nizkoenergijske) v naravi zelo pogosto, če je na razpolago aktivacijska energija za potek reakcije.

Snov, ki pri reakciji elektron odda, se imenuje **reducent,** snov, ki ga sprejme, pa je **oksidant.** V našem primeru je reducent molekula glukoze, oksidant pa kisik, ki sprejme elektrone od vodikovih atomov in si jih z njimi v nastali molekuli vode deli. Reakcijam, pri katerih prehajajo elektroni z reducenta na oksidant, pravimo **oksidoredukcijske reakcije.** Čim lažje snov elektrone sprejme, tem močnejši oksidant je. Obratno veljajo za reducente. Največkrat so v celici prvi prenašalci vodikovih protonov (in z njimi tudi elektronov) molekule, ki spadajo med dinukleotide. Eden najpomembnejših je **nikotinamid adenin dinukleotid, NAD+** (slika 1-61). Nastane iz vitamina, **NAD+ - prenašalee vodika** imenovanega nikotinska kislina. NAD+ prenaša od energijsko bogatih molekul vodikove protone in vezne elektrone z enega mesta v celici na drugo oziroma iz enega procesa v drugega.

**Energijski metabolizem je del metabolizma, pri katerem se sprošča energija za delo**

Za sproščanje energije iz glukoze in drugih energijsko bogatih molekul so se v celicah razvile posebne metabolne poti. Zato imenujemo ta del metabolizma

**energijski metabolizem.** Že zelo zgodaj v razvoju živih bitij je morala dobiti

glukoza vlogo osrednje energijsko bogate snovi, saj je za večino organizmov

najvažnejši vir energije.

Začetni del razgradnje glukoze je enak pri vseh današnjih celicah, od preprostih bakterij do kompleksno zgrajenih evkariontskih celic. Zato domnevamo, da se je ta metabolna pot v razvoju živih bitij pojavila Že zelo zgodaj. njenem začetnem delu poteka razgradnja sladkorja, kar imenujemo glikoliza. Pri tem se sprosti zelo malo energije. Iz te osnovne stopnje energijskega metabolizma se je med evolucijo živih bitij razvilo več različnih procesov. Procesu glikolize sledijo različne poti energijskega metabolizma, ki jih med seboj razlikujemo po tem, katere snovi so končni prejemniki elektronov in protonov. Če je končni prejemnik vodikovih elektronov in protonov organska spojina, imenujemo energijsko metabolno pot vrenje (fermentacija), če pa je končni prejemnik anorganska snov, gre za celično dihanje (celično respiracijo)

(slika 1-62). Vrenje vedno poteka brez kisika, celično dihanje pa lahko pri redkih organizmih poteka brez kisika, pri večini pa s kisikom. Zaporedja metabolnih procesov, ki potekajo brez prisotnosti prostega kisika, imenujemo anaerobne metabolne poti, tista, pri katerih je soudeležen prosti kisik, pa aerobne metabolne poti.

Koliko energije se sprosti iz energijsko bogate molekule med procesom njene razgradnje, je odvisno od končnega prejemnika vodikovih protonov in elektronov. Pri anaerobnih metabolnih poteh končni prejemnik ni kisik in glukoza se ne oksidira popolnoma. Ob koncu procesa vedno ostanejo manjše organske molekule, npr. etanol in mlečna kislina, v katerih je še večina proste energije. To pomeni, da organizem iz glukoze ne izkoristi vse energije. Med aerobnimi procesi pa iz glukoze nastajata ogljikov dioksid in voda, ki vsebujeta malo proste energije, torej je energijski izkoristek mnogo večji.

Obstajajo tudi druge anaerobne metabolne poti, pri katerih dobijo celice precej več energije kot pri vrenju. Končni prejemnik elektronov in protonov je

anorganska snov. Taki snovi sta npr. nitrat (N03-) ali sulfat (SOi-), ki ju izkoriščajo nekatere bakterije.

Pri **celičnem dihanju (celični respiraciji)** prehajajo v zadnjem delu energijske metabolne poti vsi elektroni po posebnih **elektronskih prenašalcih.** Če so pri tem končni prejemniki elektronov druge anorganske snovi, npr. sulfat in ne kisik, imenujemo tako dihanje **anaerobno celično dihanje (anaerobna celična re**spiracija), če pa je končni prejemnik elektronov kisik, je to **aerobno celično** **dihanje (aerobna celična respiracija).**

**Vrenje in celično dihanje se začneta z glikolizo**

Glikoliza je encimski proces, med katerim se heksoza (glukoza) razgradi nadve triozi (piruvata), pri čemer se sprosti nekaj energije. Glikoliza poteka v citoplazmi v več stopnjah. Preden se začne razgrajevati, mora postati rnolekula glukoze čim manj stabilna, da jo encimi lažje razgrajujejo. Pravimo, da se mora glukoza najprej aktivirati (slika 1-64). Pri tem sodelujeta *dve* molekuli ATP, iz katerih se na glukozno molekulo vežeta z energijsko bogati ma vezernadve fosfatni skupini (POl)' kar imenujemo fosforilacija. Nestabilna, energijsko bogatejša glukoza se,nato razcepi na *dve* molekuli sladkorja gliceraldehida, ki sta triozi. Vsaka od njiju ima vezano po eno fosfatno skupino. Od vsakega gliceraldehida se nato odcepita po *dva vodikova* atoma, s čimer trioziže izgubita del proste energije.

Med glikolizo se elektrona in protona vodikovih atomov preneseta na dve molekuli prenašaica NAD+ in nastaneta dva NADH+H+. Čeprav NAD+ prevzame od dveh vodikovih atomov oba elektrona in en proton, drugi proton

pa se sprosti v citoplazmo, poenostavljeno govorimo o **prenašalcuvodikov.** Pri odcepu vodikov od molekule trioze se nekaj energije sprosti in deloma porabi za vezavo fosfatne skupine na vsako triozo. Ti fosfatni skupini pa ne izvirata iz ATP tako kot prejšnji, temveč izmed prostih fosfatnih skupin, ki se

nahajajo v citosolu. Ko sta na vsako triozo vezani dve fosfatni skupini, sta s tem triozni molekuli aktivirani. Nazadnje se obe fosfatni skupini odcepita od trioz in pripojita molekulam ADP, pri čemer se energija prenese v novonastale molekule ATP. Čeprav nastanejo med glikolizo 4 molekule ATP, pa je celoten energijski izkupiček na koncu tega procesa manjši: 2 molekuli ATP. Dve molekuli ATP se namreč porabita za aktivacijo naslednje molekule glukoze pri nadaljnji glikolizi. Del energije je vezan tudi v dveh molekulah NADH+H+. Na koncu glikolize nastaneta dve molekuli **piruvata** s po tremi ogljikovimi atomi. Piruvat nastaja med razgradnjo sladkorjev pri večini organizmov, pa tudi med razgradnjo maščob in glicerola ter nekaterih aminokislin.

Iz piruvata ali pa neposredno iz aminokislin nastaja še druga zelo pomembna snov s tremi ogljikovimi atomi, **acetilkoencim** A. Piruvat in acetilkoencim A (imenovan tudi aktivirana ocetna kislina) sta osrednji snovi katabolizma in anabolizma (slika 1-65). Z nastankom piruvata se glikoliza konča, metabolne reakcije pa se nadaljujejo po različnih poteh. Te so vrenje ter anaerobno ali pa aerobno dihanje. Procese, ki sledijo glikolizi, razlikujemo glede na vrsto končnega oksidanta, torej snovi, ki nazadnje sprejme visokoenergijske elektrone in protone. Molekule NADH+H+ delujejo namreč v večini celic kot energijske transportne snovi, ki prenašajo vodikove atome zvisokoenergijskimi elektroni na druge oksidante. Če prenos elektronov in protona z NADH+H+ ne bi potekal, bi se vse molekule NAD+ hitro zasitile in glikoliza bi se ustavila. **Pri vrenju je končni prejemnik elektronov piruvat** Vrenje je biokemijski proces, med katerim sproščajo celice energijo iz energijsko bogatih snovi na anaeroben način.

Kadar v celicah ni močnejših oksidantov, je piruvat pri vrenju končni oksidant. Ko sprejme od NADH + H+ visokoenergijske elektrone in protone, se pretvori v mlečno kislino (slika 1-66). Zaradi večjega deleža vodika vsebuje mlečna kislina nekoliko več energije kot piruvat.

Metabolno pot, kjer glikolizi sledi nastajanje mlečne kisline, imenujemo **mlečnokislinsko vrenje.** Poteka v bakterijah mlečnokislinskega vrenja, pa tudi v živalskih in človeških mišicah, kadar primanjkuje kisika. Poleg mlečnokislinskega poznamo še druge vrste vrenja. Pri **alkoholnem vrenju** kvasovke spreminjajo glukozo v etanol. Pri tej vrsti vrenja odcepi poseben encim od piruvata ogljikov dioksid. Preostane spojina z dvema ogljikovima atomoma (acetaldehid), ki sprejme dva vodika in se pretvori v etanol (eti Ini alkohol, C2HsOH; slika 1-66). Energijski izkupiček je pri vrenju vedno shranjen v dveh molekulah ATP (slika 1-64). Kemijska energija se iz različnih energijsko bogatih molekul v celicah prenese na molekule ATP, ki so primerne za dovajanje energije za vse druge celične procese. Pri vrenju se od celotne energije, ki jo ima glukozna rnolekula, sprosti in izrabi približno 5 % te energije. Preostala je v obliki potencialne kemijske energije shranjena v mlečni kislini ali alkoholu.

**Celično dihanje se začne s Krebsovim ciklusom**

**Celično dihanje** je dokončna oksidacija organskih snovi v celicah, pri čemer se iz organskih snovi sprošča energija. V kemijskem smislu je celično dihanje

zaporedje oksidacij in redukcijo Pri najbolj razširjenem tipu celičnega dihanja, to je pri aerobnem dihanju, sprejme na koncu elektrone kisik, nato pa se veže še s protoni in nastane voda. Vodikovi atomi pa se s pomočjo encimov postopno cepijo od preostankov glukoze in se vežejo na prenašalce vodika. Največkrat so to molekule NAD+, niso pa edine. Prvi prenašaici prenesejo vodikove atome do drugih, ti pa povečini prenašajo naprej le elektrone. Torej kisik ne dobi elektronov in protonov neposredno od molekul NADH+H+, *temveč* preko mnogih prenašalcev. Te molekule s prenašal no *vlogo* sestavljajo ustaljeno zaporedje, ki ga imenujemo **dihaina veriga** (slika 1-67). Vsaka naslednja molekula *v* tej *verigi* je nekoliko boljši oksidant od prejšnje. Zato elektroni bodisi skupaj s protoni ali pa sami prehajajo z enega prenašalca na drugega, pri tem pa se energija postopno sprošča. Molekule dihalne *verige* so tia notranjih mernbranah mitohondrijev. Do tja prenašajo vodik pretežno molekule NADH + H+ ali drugi prenašalci.

Da lahko NAD+ in drugi prenašaici prevzamejo vodikove atome in j·ih preesejo do dihalne verige, mora potekati poseben del energijskega metaboliza, ki ga imenujemo Krebsov ciklus. Celično dihanje poteka v mitohondrijih. Piruvat prehaja iz citoplazme v itohondrije skozi njihove membrane. Nadaljnji metabolni procesi potekajo v dveh stopnjah. Prva se imenuje **nastajanje aktivirane ocetne kisline,** druga oa **Krebsov ciklus** ali **ciklus citronske kisline.** Aktivirana ocetna kislina nastaja v **ciklus citronske kisline** itohondrijih tako, da posebni encimi od piruvata odcep ijo ogljikov dioksid - dva vodikova atoma (slika 1-68), ki se vežeta na NAD+. Produkt tega orocesa je aktivirana ocetna kislina, znana tudi kot acetilkoencim A. Ta opa v drugi sklop metabolnih procesov, imenovan Krebsov ciklus. Pri tem orocesu nastaja med drugim citronska kislina, zato ga imenujemo tudi eikus citronske kisline (citratni ciklus). Te procese je odkril Hans Krebs v tridesetih letih 20. stoletja. Aktivirana ocetna kislina ali acetilkoencim A, ki vsebuje visokoenergijske elektrone, vstopi v Krebsov (citratni) ciklus. Združi se z oksalacetatom, ki je edno prisoten v celicah. Nastane spoj ina s šestimi ogljikovimi atomi, citrons a kislina (oziroma citrat). Od nje encimi postopno odcepljajo po en ogljikov dioksid in dva vodika, Najprej nastane spojina s petimi ogljikovimi atomi in casneje s štirimi (oksalacetat). Ta se združi z novo aktivirano ocetno kislino in metabolni krog se sklene. Bistvo Krebsovega ciklusa je prenos energije iz preostanka sladkorne molekule na molekule NAD+. Del te energije se. Pozneje porabi za sintezo molekul ATP.

Pri evkariontskih celicah poteka glikoliza v citosolu, nastajanje ocetne kisline **in** Krebsov ciklus pa v mitohondrijih. Zato prehaja piruvat, ki nastaja med glikolizo, iz citosola v mitohondrije. Tako kot pri nastanku aktivirane ocetne kisline se torej tudi v Krebsovem ciklu

med razgrajevanjem ostankov glukoze sprošča ogljikov dioksid, ki prehaja kozi membrane z difuzijo in se izloča iz celic. Iz ene molekule piruvata se prostijo tri molekule ogljikovega dioksida: ena med nastankom aktivirane ocetne kisline iz piruvata, dve pa v Krebsovem ciklusu. Od osmih odcepljenih vodikovih atomov se jih šest veže na NAD+ (nastanejo tri molekule (ADH+H+), dva pa na drug prenašalec, FAD (nastane FADH ). Ker nastaneta pri glikolizi dve molekuli piruvata, ki se pretvorita v dve rnolekuli aktivirane ocetne kisline, se mora za njuno razgradnjo Krebsov ciklus *,izavrteti"* dvakrat.

**Elektroni se prenašajo na kisik s prenašaici v dihaini verigi**

Energija se iz glukoze v precejšnji meri prenese na **prenašalce vodikov.** V bistvu gre za prenos elektronov in protonov z NADH+H+ in FADH2 na kisik. Pri tem, končnem delu aerobnega dihanja, se sprosti največ energije. Reakcija spajanja vodika in kisika v vodo je močno eksotermna. V tej verigi prenašalcev se elektroni večinoma prenašajo ločeno od protonov, zato govorimo tudi o **prenašalcih elektronov.** Ti so vgrajeni v notranjo membrano mitohondrija (slika 1-69). Vod ikovi atomi se kmalu potem, ko jih od NADH+H+ prevzamejo drugi prenašalci, razcep ijo v protone in elektrone. Prenašalci nato sprejemajo in oddajajo samo elektrone, protoni pa ostanejo prosti ob membrani. Med prehajanjem elektronov z enega prenašalca na drugega v dihaini verigi tečejo oksidoredukcijski procesi, pri katerih se sprošča energija. Zato govorimo o zaporedju vse do kisika. Energija, ki se sprošča med prehajanjem 'elektronov z enega prenašaica v dihaini ~erig~n~ dru~e1?a..:,.speorabi za sintezo ATP.

Na notranji rnembrani mitohondrijev so prenašalei elektronov. Ob toku elektronov med njimi se sprošča energija, ki se porablja za črpanje protonov skozi membrano in s tem za sintezo ATP. Kako se sintetizira ATP v oksidoredukcijskih procesih dihalne verige? Pri prehajanju elektronov z enega prenašal ca na drugega se sproščena energija najprej porabi za črpanje protonov v prostor med notranjo in zunanjo membrano mitohondrija. Tja se protoni namreč aktivno transportirajo. Pri tem nastane razlika v koncentraciji protonov med mitohondrijskim matriksom na eni strani in medmembransko tekočino na drugi strani notranje membrane. Velik del energije veznih elektronov se tako pretvori v koncentracijsko razliko protonov, ki je predpogoj za njihovo difuzijo. Ko protoni difundirajo skozi posebne kanale v notranji membrani nazaj v osrednji del mitohondrija, se energija tega pretoka porablja za sintezo ATP (slika 1-69).

Za vsaka dva vodikova atoma, ki ju molekula NADH+W prenese do prenašalcev dihalne verige, se vzpostavi tolikšen koncentracijski gradient protonov, da se sintetizirajo tri molekule ATP. Vodika, vezana na FAD, pa omogočita sintezo dveh molekul ATP. Med prenašalei elektronov so najbolj znani **citokromi.** Zadnji iz skupine citokromov odda elektrone kisikovemu atomu, ki hkrati sprejme tudi protona iz medmembranske tekočine, in' nastane molekula vode: 2 e- + 2 H+ + 1/2 02 -+ H20

Z nastankom vode se v dihaini verigi končajo procesi sproščanja energije.

Aktivni del citokromske molekule predstavlja **porfirinski** obroč, kakršen je tudi sestavni del molekul hemoglobina in klorofila. Sredi porfirinskega obroča citokromov je železo, ki prehaja iz trivalentnega stanja v dvovalentno. Najprej sprejme elektron trivalentno železo, ki deluje kot oksidant. Pri tem postane železo dvovalentno. Ko pa odda elektrone naslednjemu prejemniku, ki je nekoliko boljši oksidant in lažje sprejme elektrone, deluje kot reducent. Pri tem postane železo spet trivalentno in lahko sprejme nov elektron. Tako prehajajo elektroni z višje energijske ravni na nižjo in sproti oddajajo prosto energijo. Proces postopnega sproščanja energije poteka podobno kot pri vodnem toku, ki teče čez nekaj jezov in ob vsakem žene mlin. Tok elektronov od enega prenašaica k drugemu predstavlja električni tok, napetost med NADH+W in kisikom pa ::;JaŠa1,2 V (volta). Celoten tok- elektronov v vseh človeških mitohondrijih znaša med mirova- - 100 A (amperov), kar pomeni, da imajo mitohondriji 120 W (vatov) moči (1,2 V x 100 A = .- W).

ekatere snovi, kot so cianidi (npr. ciankalij), preprečujejo prehod elektronov' -.a kisik, zato prenašalci ne morejo oddati elektronov in tok elektronov se stavi. Nastanejo podobne razmere, kot če bi zmanjkalo kisika, kajti če se' stavi tok elektronov, se ustavi celotna dihaina veriga. V takih primerih žival - i človek zelo hitro izgubi energijo za vzdrževanje procesov in umre zaradi' 'X>tranje zadušitve.

ATP nastane tako, da se na molekulo ADP s pomočjo energije veže anorganski fosfat. Vsako vezavo fosfata z določeno snovjo imenujemo fosforilacija. Pri aerobnem dihanju večino fosforilacije omogoči kisik, kar imenujemo oksidativna fosforilacija. Koliko molekuf ATP torej nastane v dihaini verigi kot posledica oksidacije ene molekule glukoze? Vsak od 10 NADH+H+ ustvari koncentracijsko razliko, ki omogoči sintezo treh molekul ATP,vsak od dveh FADH2 pa da dve molekuli ATP. Skupaj torej 34 molekul ATP. Če prištejemo štiri molekule ATP, ki so nastale že prej pri glikolizi in Krebsovem ciklusu, je skupna vsota 38 rnolekul ATP (slika 1-70). a splošno prikažemo celotno aerobno reakcijo takole: C6 H12 06 + 6 02 + 6 H20 ---+ 6 CO2 + 12 H20 + energija za sintezo 38 molekul ATP Od celotne proste energije, ki jo ima 1 mol glukoze, se ohrani v 38 molekulah ATP le 1113 k] (266 kcal), preostalih 1757 k] (420 kcal) proste energije pa se porazgubi kot toplota. Govorimo o razsipani energiji (entropiji). .

**Energija je v AlP shranjena v visokoenergijskih fosfatnih vezeh**

**AlP - energijska molekula**

V celicah je najpogostejša energijsko bogata molekula adenozin trifosfat (ATP), ki lahko s pomočjo encimov posreduje končno fosfatno skupino mnogim večjim organskim molekulam, npr. sladkornim, aminokislinskim in nukleotidnim. Končna fosfatna skupina je vezana z energijsko bogato vezjo, zato se z vezavo fosfata na druge molekule (z njihovo fosforilacijo) nanje prenese tudi energija. Tako se molekulam zviša prosta energija in lažje reagirajo.

NEKEJ MANJKA

**Organizmi shranjujejo energijo kratko- ali dolgotrajno**

Spoznali smo, da se v metabolnih reakcijah, ki so povezane s sproščanjem energije, precejšen del kemijske energije prenese iz energijsko bogatih mole- 'ul v molekule ATP. V tej obliki pa energija ni shranjena dolgo, kajti zaloge ATP 'celicah zadostujejo samo za zelo kratek čas. Celice ne proizvajajo toliko molekul ATP, da bi lahko te imele vlogo energijske zaloge. ATP, čigar energija je potrebna za različna dela, se v skladu s sprotnimi potrebami nenehno sintetizira. Organizmi lahko torej neprestano po potre- količina **AlP** v celicah bi sintetizirajo molekule ATP, energija teh molekul pa se porablja skorajda proti. Pri večji mišični aktivnosti organizma se na primer v mišicah pospeši nastajanje ATP.

Izračunaliso,da ima celica bakterije*Escherichia* co/i, ki živi *v* človeškemčrevesju,okrogmilijon molekulATP,kar zadostujele za pol sekundedela. V naslednjepol sekundesintetiziraže milijon novih. Ko pa sedeli, sedelo stopnjujein vsakosekundopretvori najmanj2,5 milijona molekulATP*v* ADP in fosfat.To pomeni,da moratakrat*več* kot podvojiti tudi sintezomolekul TP.Pokončanidelitvi porabljavsaka*nova* celica spetmanj molekulATP,zato jih manj sintetizira. Molekule ATP niso primerne za daljše shranjevanje energije, ker bi velika količina teh molekul močno vplivala na povečanje osmotskega tlaka. Zato shranjujejo vse celice energijo *v* velikih polimerih (npr. polisaharidih) in maščobah. Tako organizmi "ubijejo dve muhi na mah". V molekulah teh snovi je shranjene mnogo proste energije, ki jo lahko celice s katabolizmom hitro sprostijo. Hkrati pa je njihovo ogljikovo ogrodje osnova za snovi, potrebne pri nastajanju novih celičnih struktur ali za popravilo starih. Poleg tega te molekule ne vplivajo na osmotski tlak v celicah. Večina rastlinskih celic shranjuje energijo v škrobu, ki se v amiloplastih rezervnih tkiv plastovito nalaga, tako da nastanejo škrobna zrna (slika 1-72). V večini živalskih celic se prvotno energija shranjuje v obliki oljnih kapljic, v mišičnih celicah pa *v* obliki glikogena v glikogenskih zrnih. V večini celic mnogoceličarjevni veliko rezervnihsnovi,takodate zadostujejole za kratekčas. Nekaterecelice pa so specializiraneza shranjevanjevečjih količin rezervnihsnovi (slika1-73) in sopovezane*v* založna(rezervna)tkiva. Shranjevanjerezervnihsnovi*v* rezervnihtkivih je pre- rezervna tkiva cej zapleteno. Zato obstajajo zelo natančn iregulacijski mehanizmi za uravnavanje nalaganja in ponovnega sproščanja rezervnih snovi.

NEKEJ MANJKA XD

FOTOSINTEZA

**Heterotrofni in avtotrofni organizmi**

Organizmi potrebujejo za procese presnove (metabolizma) ,energijo, ki jo dobijo s hrano. Ločimo **heterotrofne** organizme, ki pridobivajo energijo za življenjske procese z razgradnjo organskih snovi drugih organizmov (heterotrofi so živali, glive in nekatere bakterije), in **avtotrofne,** ki so sposobni zgraditi za življenje potrebne organske molekule iz preprostih anorganskih spojin (voda, ogljikov dioksid) s pomočjo svetlobne ali kemične energije. Avtotrofno živijo nekatere skupine bakterij, modrozelene cepljivke in vse rastline, ki imajo asimilacijska barvila. 1-74 Pretok energije med avtotrofnimi in heterotrofnimi organizmi. Sončna energija omogoči fotosintezo rastlin, rastline so hrana gosenici, metulj izkorišča energijo, ki jo dobi na račun rezervne hrane. Del energije pa se odda v okolje kot toplota. Energijo, potrebno za avtotrofno **asimilacijo,** dobijo organizmi od Sonca; govorimo o **fotosintezi,** to je sintezi s pomočjo svetlobe. Druga možnost je, da ta energija nastaja v kemičnih reakcijah, na primer pri oksidaciji žveplovega dioksida, čemur pravimo **kemosinteza.** To sposobnost imajo nekatere bakterije, kot so žveplove bakterije.

Avtotrofna asimilacija je življenjsko pomembna za vse organizme na Zemlji. Zelene rastline s fotosintezo ne pridelajo hrane samo zase, ampak so same tudi hrana za vse heterotrofne organizme (slika 1-74). Nekateri raziskovalci navajajo, da vse zelene rastline na svetu proizvedejo na leto okrog 150 milijard ton ogljikovih hidratov.

**Kratek pregled fotosinteze**

Fotosinteza je proces, pri katerem rastline pretvarjajo svetlobno energijo v kemično, ki omogoči pretvorbo ogljikovega dioksida in vode v sladkor (slika 1-75). 1-75 Svetlobna energija in voda sta vira za svetlobne reakcije fotosinteze, v katerih nastajata energijsko bogati snovi ATP in NADPH + H+ ter kisik. CO2 in ATP ter NAD PH + Ij+ se vključujejo v Calvinov cikel, nastajajo sladkor in druge snovi. Pri fotosintezi torej nastajajo organske snovi iz anorganskih. Poenostavljena enačba fotosinteze je: **6C02+12H20 ---+ C6H1206 + 6 H20 + 6 O2** Energija, potrebna za fotosintezo, prihaja na Zemljo v obliki **fotonov.** Človeškemu očesu vidno belo sončno svetlobo sestavljajo svetlobe različnih barv, od vijolične, modre, zelene, rumene do rdeče. Iz fizike vemo, da te barve nastanejo z razklonom sončne svetlobe z optično prizmo (slika 1-76). Fotoni sončne svetlobe imajo različno energijo. Za fotosintezo so pomembni predvsem fotoni rdeče in modre svetlobe. V procesu fotosinteze usvojijo rastline 1-5% svetlobe, ki doseže Zemljo. Energijo shranijo v energijsko bogatih snoveh. Pravimo, da rastline svetlobno energijo pretvorijo v kemično. Energijsko bogata snov je adenozin trifosfat (ATP). **AlP** je vsestranski shranjevalec in prenašalec energije. Energijo lahko vnaša v druge kemične procese, ne da **bi** sam postal sestavni del njihovih končnih produktov. Del fotosinteze je torej sprememba energije. Ker je za to spremembo potrebna svetloba, pravimo tem reakcijam **svetlobne reakcije fotosinteze.** K tem reakcijam prištevamo tudi cepite vode. Voda razpade na kisik in vodik. Kisik se izloča, vodik pa se veže na nikotinamid adenin dinukleotid fosfat **(NADP),** pri čemer nastane NADPH + H+, ki je eno najmočnejših redukcijskih sredstev (prenašalec vodikovih ionov) v živi celici. ATP in NADPH + H+ sta nujno potrebna za vezavo CO2 v sladkor. Za vezavo svetloba ni več potrebna, reakcije lahko potekajo tudi v temi, zato jim pravimo **temotne reakcije fotosinteze.** Svetlobne in temotne reakcije fotosinteze potekajo v kloroplastih. Središče fotosintetskih reakcij so kioropiasti. Pravimo, da je kioropiast fotosintetski aparat rastlin. Navzven ga omejujeta dve membrani, v notranjosti pa so sploščene membranske vrečke, imenovane **tilakoidi** (slika 1-77). Ležijo v brez-barvni **stromi** ali **matriksu.** V tilakoidnih membranah so molekule **asimilacijskih** **barvil** razporejene v posebnih skupkih, ki jih imenujemo **fotosintetske enote.** Fotosintetska enota vsebuje molekule klorofila a in klorofila b. Najpogostejše razmerje med klorofilom a in klorofilom b je okrog 3 : 1. Poleg klorofila pa so v njej še druga barvila, kot so oranžni karoten in rumeni ksantofili. Nekatere alge imajo tudi drugačna barvila, rdeče na primer fikoeritrin. Vsaka fotosintetska enota vsebuje dva fotosistema, ki ju imenujemo **fotosistem 1 in fotosistem 2.** Ločimo ju po posebnem glavnem barvilu v **reakcijskem** **centru fotosistema,** to je klorofil a z absorpcijskim vrhom pri 700 nm v fotosistemu 1 in klorofil a 680 v fotosistemu 2. Absorpcijski vrh nam pove, katero valovno dolžino svetlobe klorofil absorbira v rdečem delu spektra. Absorbira pa tudi modro svetlobo (slika 1-78). Druga asimilacijska barvila absorbirajo svetlobo drugih valovnih dolžin. Zelene rastline nimajo barvil za absorpcijo zelene svetlobe. V tilakoidnih membranah potekajo svetlobne reakcije fotosinteze. V matriksu kloroplasta pa so encimi, ki so potrebni za potek temotnih reakcij.

**Svetlobne reakcije fotosinteze**

Ko svetloba obseva kloroplast, določen elektron klorofilne molekule prevzame energijo svetlobnega fotona. To energijo lahko prenese na drugo molekulo v fotosistemu (slika 1-79) in končno k glavnemu barvilu klorofilu 700 v reakcijskem centru fotosistema 1 oziroma klorofilu 680 vreakcijskem centru fotosistema 2. Sprejemna molekula v tilakoidni membrani, ki je tesno povezana z glavnim barvilom, prevzame energetsko vzbujen elektron od glavnega barvila. Elektron se nato prenaša prek sprejemnih in oddajnih molekul v tilakoidni membrani, čemur pravimo **fotoelektronska transportna veriga.** Končni sprejemnik elektronov je molekula NADP, ki se zato reducira v NADPH + H+. V klorofilni molekuli, katere elektron se je prenesel na NADP, pa izpraznjeno mesto nado-mesti elektron, ki se sprosti ob cepitvi vode. V elektronski transportni verigi sodelujeta oba fotosistema, ki s sprejeto svetlobno energijo poganjata elektronsko transportno verigo. Transportni verigi, ki omogoči cepitev vode in nastanek NAD PH + H+, pravimo **neciklična transportna veriga** (slika 1-81). Ob prenosu elektronov po tilakoidni membrani se skozi njo prenesejo tudi protoni (H+) v notranjost tilakoidne vrečke. Ob vračanju na drugo stran membrane pa omogočajo, da encim ATPaza, ki se nahaja v tilakoidni membrani, iz ADP in P zgradi ATP (slika 1-82). Temu načinu nastajanja ATP pravimo **kemiosmoza.** Končna produkta neciklične transportne verige sta torej NADPH + H+ in ATP. Zaradi cepitve vode izhaja kisik. Ker pa rastlina za vezavo CO2 potrebuje več molekul ATP, kot jih nastane pri necikličnem transportu elektronov, poteka v tilakoidni membrani še **ciklična transportna veriga** (slika 1-80). Elektron glavnega pigmenta v fotosistemu 1, ki je sprejel sončno svetlobo, se prek prenašalnih molekul vrne h klorofilni molekuli, njegova energija pa se porabi za nastanek ATP, Proizvod cikličnega transporta elektronov je torej le ATP. Ta razlaga obeh elektronskih transportov je seveda zelo poenostavljena, Za poglobljeno razumevanje je potrebno dobro znanje fizike in kemije. 1-82 Svetlobne reakcije fotosinteze potekajo v tilakoidni membrani, v kateri so encimi, ki omogočijo transport elektronov. Stirje fotoni omogočijo prenos štirih elektronov iz klorofila 680 (F 680) preko prenašalcev k fotosistemu 1, ki vsebuje klorofil 700 (F 700). V klorofilu 700 zapolnijo izpraznjena mesta, ker so se njegovi elektroni zaradi sprejete energije fotonov prenesli do NADP. Klorofil 680 v fotosistemu 2 pa dobi štiri elektrone od dveh vodnih molekul, ki razpadeta in nastane kisik. Transport elektronov povzroči prenos protonov (vodikovih ionov) v notranjost tilakoidnega žepa (modra puščica v sredini), v katerem so tudi protoni od vode. Ko se vračajo skozi membrano na drugo stran (modra puščica na desni strani), pride zaradi encima ATP-aze do nastanka ATP. Povzamemo lahko, da svetlobne reakcije omogocajo nastanek ATP in NADPH + H+. Pri tem razpade voda in se sprosti kisik. Svetlobna energija se je pretvorila v kemično. ATP in NADPH + H+ sta nujno potrebna za nastanek sladkorja v temotnih reakcijah fotosinteze.

**Temotne reakcije fotosinteze**

Za vezavo CO2 svetloba ni več potrebna. Potrebni pa so posebni encimi, ki to vezavo omogočajo. Raztopljeni so v matriksu kloroplasta. Celoten proces so raziskovalci odkrili z radioaktivnim ogljikom v CO2. Alge so izpostavili radioaktivnemu CO2 in spremljali, kam se je radioaktivni ogljik vgradil. Našli so veliko radioaktivnih snovi in ugotovili, da se je CO2 vezal na sladkor s petimi C atomi (ribulozo), ki je povezan z dvema molekulama fosforja (ribulozabifosfat). Nastaneta dve molekuli s tremi C atomi (fosfoglicerat). Iz molekul s tremi C atomi nastane molekula s šestimi C atomi (heksoza). Za njen nastanek se porabljata ATP in NAD PH + H+, ki sta nastala pri svetlobnih reakcijah fotosinteze. Sladkor fruktoza je prvi proizvod fotosinteze. Vsaka šesta molekula sladkorja zapusti cikel, vse ostale pa se prek različnih ogljikovih hidratov pretvorijo nazaj v ribulozabifosfat, za kar je spet potreben ATP. Ves proces se imenuje po **Calvinov cikelodkritelju** Calvinov cikel (slika 1-83). Pozneje nastane iz fruktoze tudi glukoza. S povezovanjem molekul glukoze nastane v kloroplastu škrob. Proizvodi fotosinteze kioropiast tudi zapustijo kot triozafosfati. V citoplazmi iz njih nastanejo sladkarji. Iz glukoze in fruktoze nastane saharoza, ki lahko potuje po rastlini v druge dele, se tam shranjuje ali porabi pri dihanju. Shranjuje se lahko kar kot saharoza, na primer pri sladkorni pesi, ali pa se pretvori v rezervni škrob. Vmesne snovi Calvinovega cikla so tudi izhodiščne snovi za sintezo aminokislin in maščobnih kislin ter s tem za nastanek beljakovin in maščob. Rastline, katerih prvi proizvod pri vezavi (02 je snov s tremi atomi ogljika (fosfoglicerat), imenujemo (3-rastline. Sprva so mislili, da imajo vse rastline samo ta način vezave. Pozneje pa so odkrili, da imajo nekatere rastline, ki rastejo v krajih z veliko sončne svetlobe, drugačno vezavo. Med take rastline spadata koruza in sladkorni trs. Te rastline imajo posebno zgradbo listne sredice, (02 vežejo v snov s štirimi ( atomi (malat). Zaradi nastanka snovi s štirimi ( atomi se imenujejo (4-rastline. Vezavo (02 v malat omogoča poseben encim *r* ki je zelo občutljiv za količino (02 in ga lahko veže tudi, ko ga je v listu zelo malo, kar se dogaja v vročih sončnih dneh. Malat nastaja v celicah listne sredice, nato pa prehaja v celice žilnega ovoja. Tam se pretvori v drugo snov, sprosti se (02, ki se vključi v Calvinov cikel (slika 1-85). Na ta način vežejo te rastline v vročih sončnih dneh več (02 kot Cj-rastline in s fotosintezo pridobijo več sladkorja. Primerjava med listom teloha (C3-rastl ina) zgoraj in koruze (C4-rastlina) spodaj. Koruza ima okrog žil posebne obžilne celice, teloh pa ne. V normalnih celicah C4- rastlin se CO2 veže v malat, ta prehaja v obžilne celice, kjer spet odda CO2, ki se vključi v Calvinov cikel. Sočnice (slika 1-86) pa čez noč, ko imajo reže odprte, kopičijo malat *v* vakuolah, da ga lahko čez dan uporabljajo kot vir CO2. Zato imajo lahko podnevi reže zaprte, da ne izgubijo preveč *vode,* fotosinteza pa kljub temu lahko poteka. Ko se malat pretvarja, se sproščeni CO2 vključi *v* *Calvinov* cikel. Temu tipu fotosinteze pravimo kisli metabolizem sočnic.

**Vpliv zunanjih dejavnikov na fotosintezo**

Svetloba, koncentracija CO2 in temperatura so glavni dejavniki, ki vplivajo na fotosintezo. Na njen potek lahko vplivajo tudi voda in minerali. Pri nižjih osvetlitvah fotosinteza narašča z intenzivnostjo svetlobe. Prevelika osvetlitev pa lahko poškoduje asimilacijska barvila. Svetlobno jakost, pri kateri je fotosinteza enaka dihanju, imenujemo **svetlobna kompenzacijska točka.** Le pri višjih osvetlitvah od te svetlobne jakosti rastline proizvajajo več kisika, kot ga porabljajo. Svetlobna kompenzacijska točka ni enaka za vse rastline. Spreminja se tudi z razvojem rastline in z letnimi časi. Poznamo tudi sončne in senčne rastline, ki niso enako občutljive za svetlobo. Pri senčnih rastlinah je svetlobna kompenzacijska točka pri nižji svetlobni jakosti. Na fotosintezo vpliva tudi koncentracija CO2. V ozračju je koncentracija CO2 majhna, zato zvečanjem koncentracije fotosinteza narašča. Pri visokih temperaturah je koncentracija CO2 manjša. C4-rastline so se tem razmeram prilagodile, saj lahko *vežejo* že zelo majhne količine CO2. Temperatura vpliva tudi na hitrost delovanja encimov Calvinovega cikla. Pri polarnih in visokogorskih rastlinah poteka fotosinteza še pod O° C. V tropskih krajih pa so rastline prilagojene na visoke temperature tudi do 55° C in več. Alge, ki živijo v vročih termalnih vrelcih, asimilirajo še pri 70° C.

**Fotosintetske bakterije**

Nekatere bakterije vsebujejo asimilacijsko barvilo (imenovano bakterioklorofil), ki jim omogoča fotosintezo. Te bakterije uporabljajo za vir elektronov namesto vode žveplovodik (H2S). Pri tem je stranski proizvod žveplo in ne kisik, ki se lahko izloči ali pa kopiči v bakterijski celici. Enačba za bakterijsko fotosintezo ima zato namesto vode žveplovodik: 6 CO2 + 12 H2S = C6H1206 + 6 H20 + 12 S