

## METABOLIZEM, ENCIMI

Organizmi so zgrajeni iz snovi in za ohranjanje življenja je potrebna energija

### Zakon o ohranitvi energije

Skupna količina energije se skozi čas v izoliranem sistemu ne spreminja. Energija se le pretvarja iz ene oblike v drugo.

## Poenostavljen prikaz primera pretvarjanja energije



Kemijska energija je najpomembnejša oblika energije za organizme, saj se sproščena energija molekul uporabi za poganjanje celičnega dela.

### METABOLIZEM

Vsota vseh kemijskih reakcij v organizmu, njihova koordinacija, regulacija in energetske potrebe.

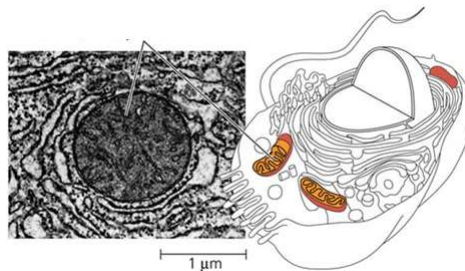
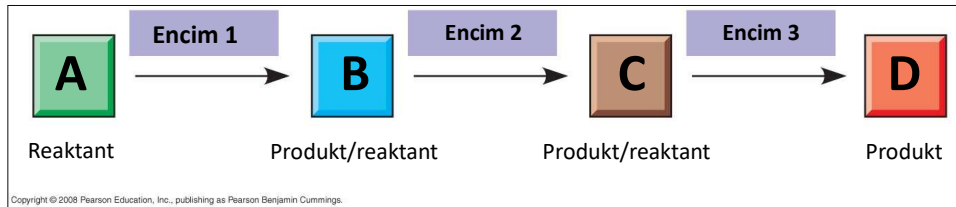
Vsi organizmi potrebujejo vnos energije za potek metabolnih reakcij:

- živali in ostali nefotosintetski organizmi: organske snovi
- rastline: svetloba

## METABOLNE POTI

<b>ANABOLIZEM</b>	<b>KATABOLIZEM</b>
Izgradnja kompleksnih molekul	Razgradnja kompleksnih molekul
Endergone reakcije (energija se porablja)	Eksergone reakcije (energija se sprošča)
Primer: fotosinteza	Primer: vrenje, celično dihanje

## METABOLNA POT sodelujejo encimi



## METABOLNA POT

**TREAD**

BREAD

BREED

BLEED

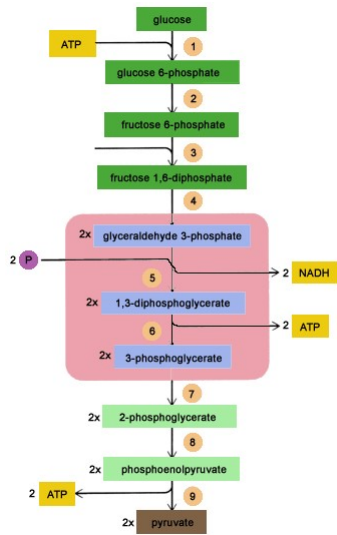
BLEND

BLIND

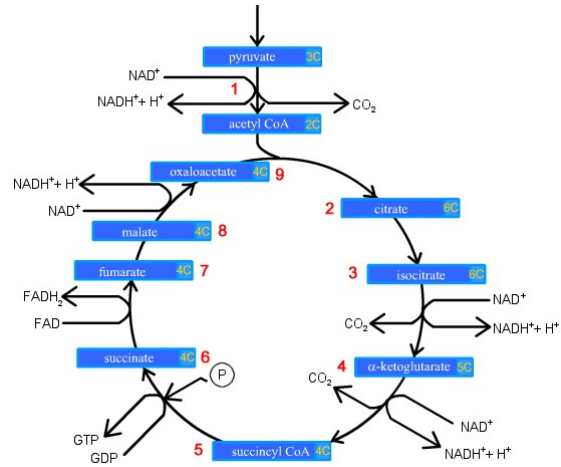
**BLINK**

## Metabolne poti

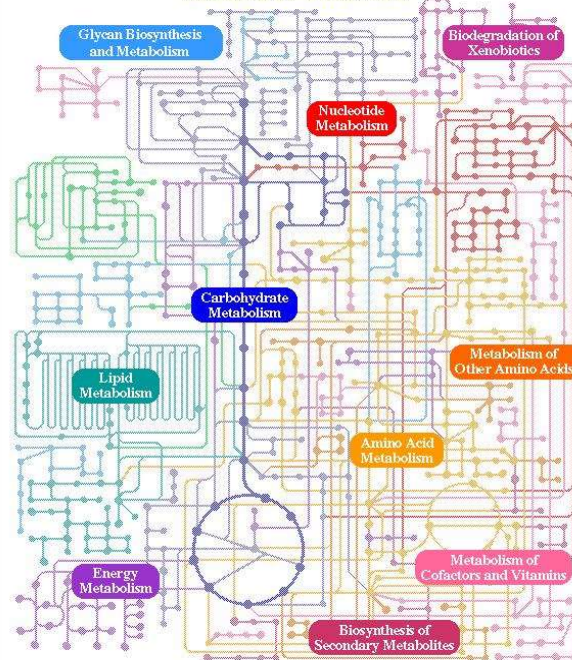
### VERIGA REAKCIJ



### CIKEL REAKCIJ



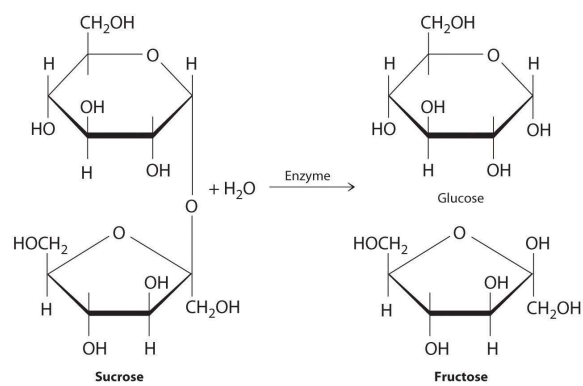
## METABOLIC PATHWAYS



Energijsko bogate molekule ne sproščajo energije same od sebe



Primer: vezi v molekuli saharoze so močno kovalentne, potrebne je precej energije za razcep



## aktivacijska energija

Lahko je dovolj toplota za znižanje EA.

### Neustrezno v celici:

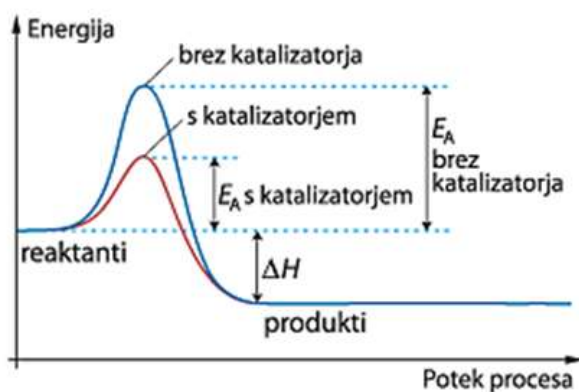
- denaturacija beljakovin
- ker bi potekle reakcije, ki niso potrebne

## katalizatorji

*Snov, ki spremeni hitrost kemične reakcije, **ne da bi se pri tem spremenila** ali postala sestavni del produkta reakcije.*

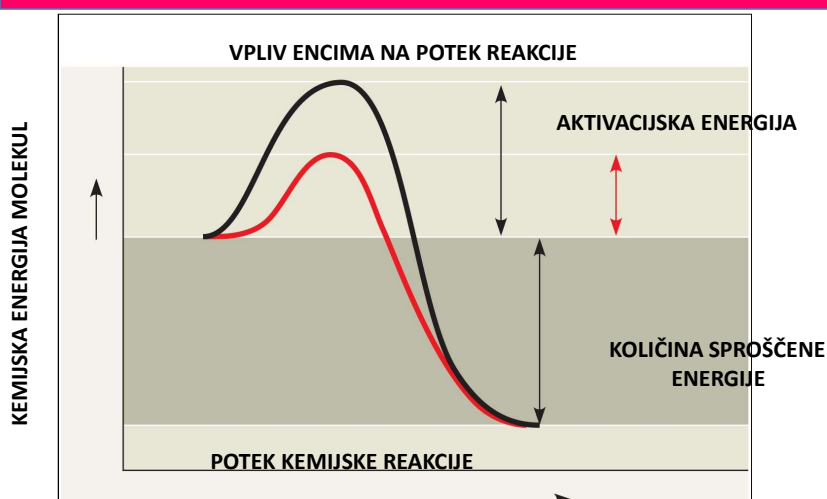
v živih organizmih so katalizatorji **ENCIMI**

## katalizatorji



V prisotnosti katalizatorja poteka reakcija po poti, kjer je nižja  $E_A$ . Reakcija je zato hitrejša.

## ENCIMI - BIOKATALIZATORJI



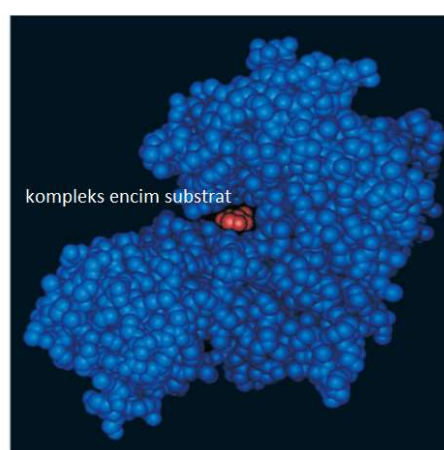
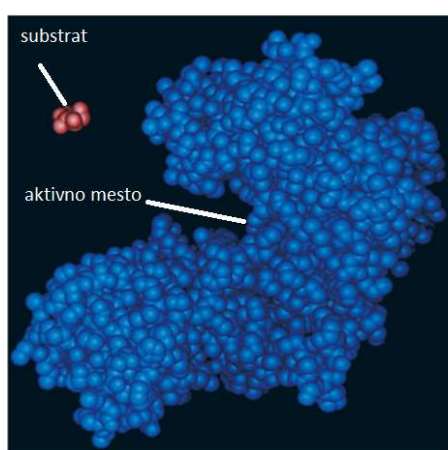
- so specifični za vsako vrsto reakcije
- Znižajo  $E_A$  in s tem močno pospešijo hitrost reakcije

<http://www.stolaf.edu/people/giannini/flashanimat/enzymes/prox-orient.swf>

[http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072495855/student\\_view0/chapter2/animation\\_how\\_enzymes\\_work.html](http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072495855/student_view0/chapter2/animation_how_enzymes_work.html)

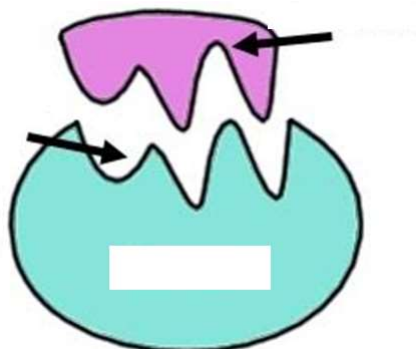
[http://glencoe.mcgraw-hill.com/sites/9834092339/student\\_view0/chapter6/feedback\\_inhibition\\_of\\_biochemical\\_pathways.html](http://glencoe.mcgraw-hill.com/sites/9834092339/student_view0/chapter6/feedback_inhibition_of_biochemical_pathways.html)

## MEHANIZEM ENCIMSKE AKCIJE

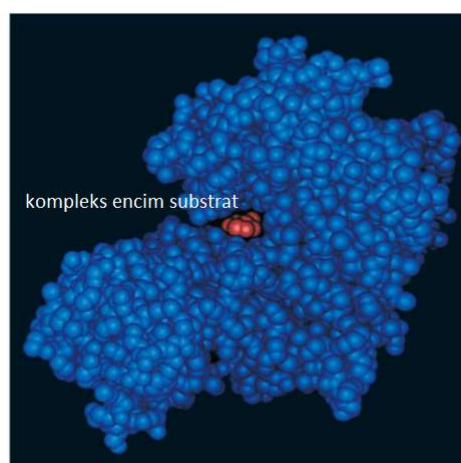
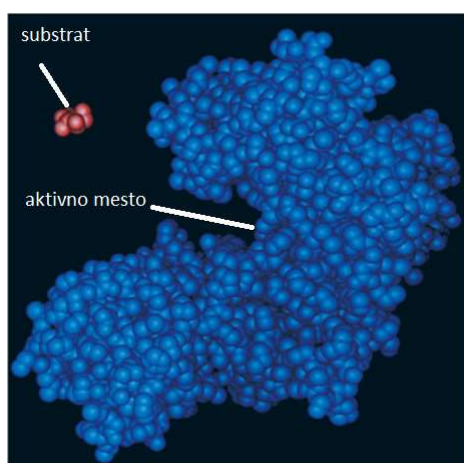


SUBSTRAT = je reaktant na katerega deluje encim  
ENCIM – ima specifično mesto (aktivno mesto) na katerega se substrat veže

## MODEL KLJUČ IN KLJUČAVNICA



- so specifični za vsako vrsto reakcije
- *aktivno mesto encima se kemijsko in po površini popolnoma prilega substratu*

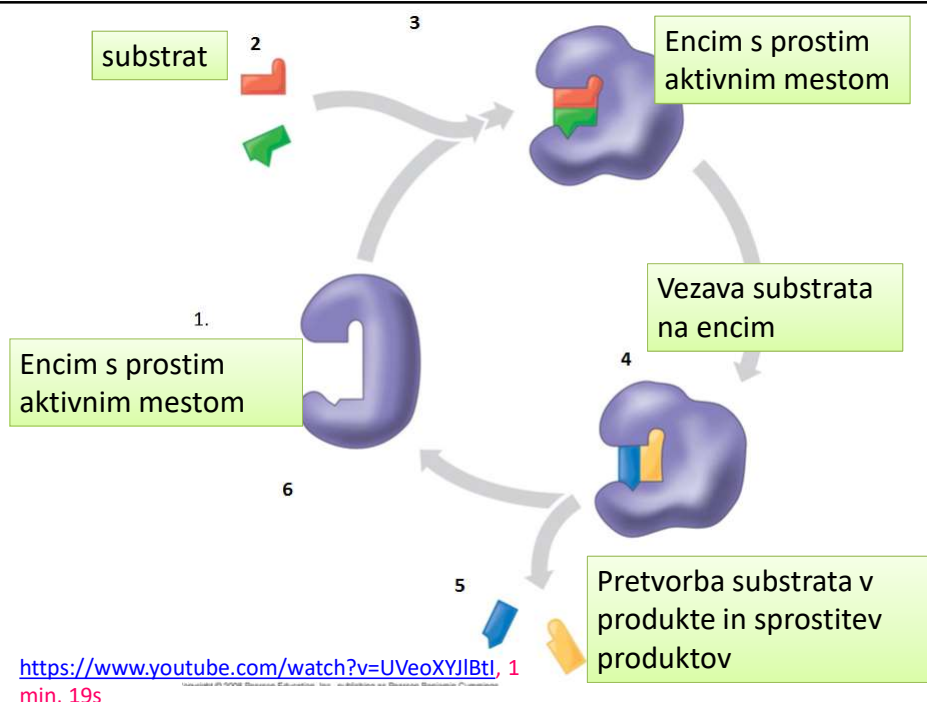
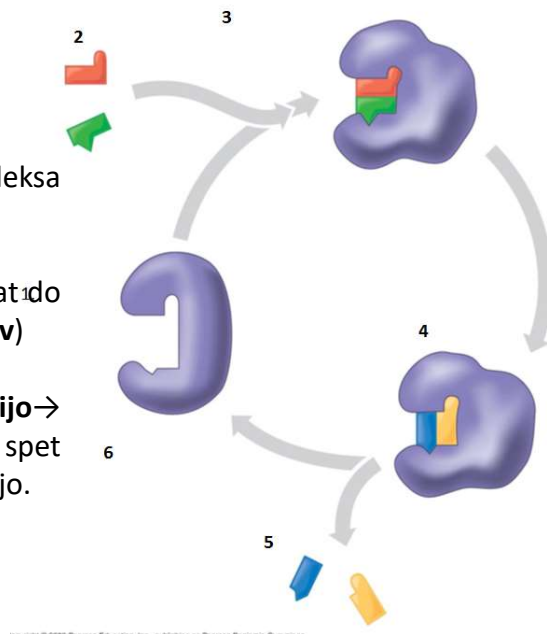


• 3 faze:

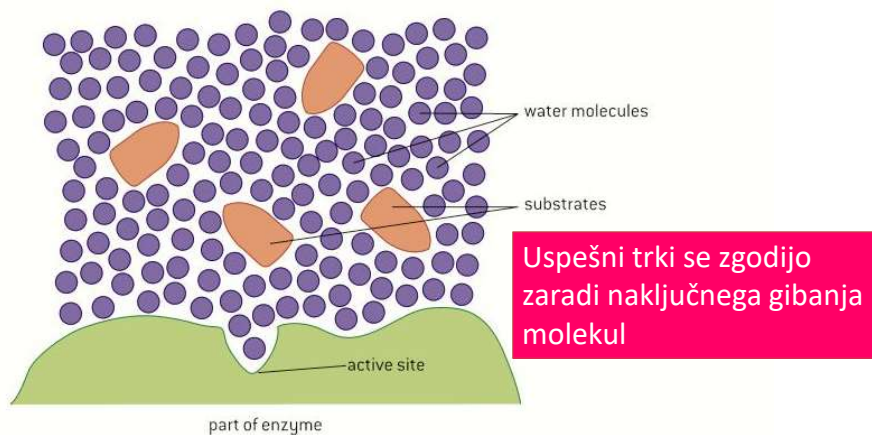
1. Nastanek kompleksa **ENCIM-SUBSTRAT**

2. ENCIM pretvori substrat do **PRODUKTA** (ali produktov)

3. **Produkti se sprostijo** → aktivno mesto encima je spet prosti za naslednjo reakcijo.

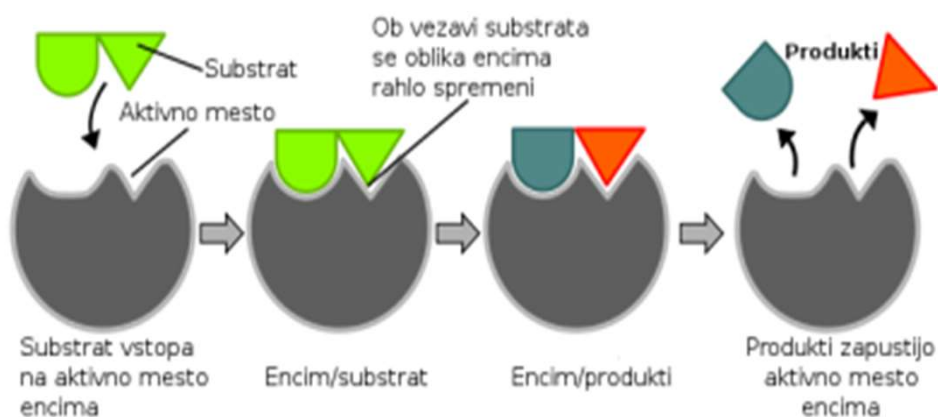


## Encimska kataliza vključuje gibanje molekul in uspešno trčenje substrata z aktivnim mestom encima



▲ Figure 4 Enzyme-substrate collisions. If random movements bring any of the substrate molecules close to the active site with the correct orientation, the substrate can bind to the active site.

Allott, A. et al., Oxford IB Diploma Programme, **BIOLOGY**, Oxford University Press, 2014, p. 98



- encimi omogočajo ustrezno orientacijo molekul, da reakcije poteče
- brez posredovanja encimov so reakcije odvisne od naključnih trkov – redko uspešno

## HITROST ENCIMSKIH REAKCIJ

→ Tipični encim 1000 reakcij/s do  $10^6$  r/s

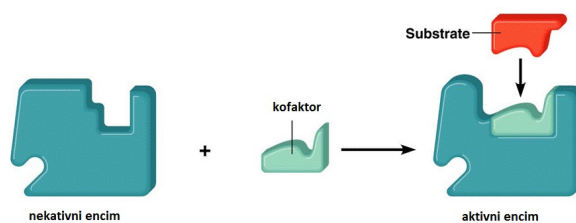
## ZGRADBA ENCIMOV

→ Beljakovine

→ Nebeljakovinski del: **KOFAKTOR** – se veže s šibkimi vezmi na encim ali substrat

- **anorganski**: kovinski ioni:  $\text{Cu}^{2+}$   $\text{Mg}^{2+}$  Fe

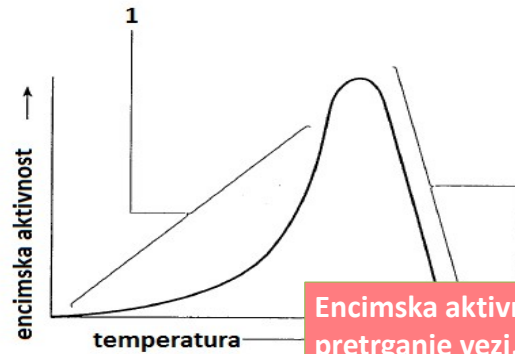
- **organski (koencimi)**: večina vitaminov



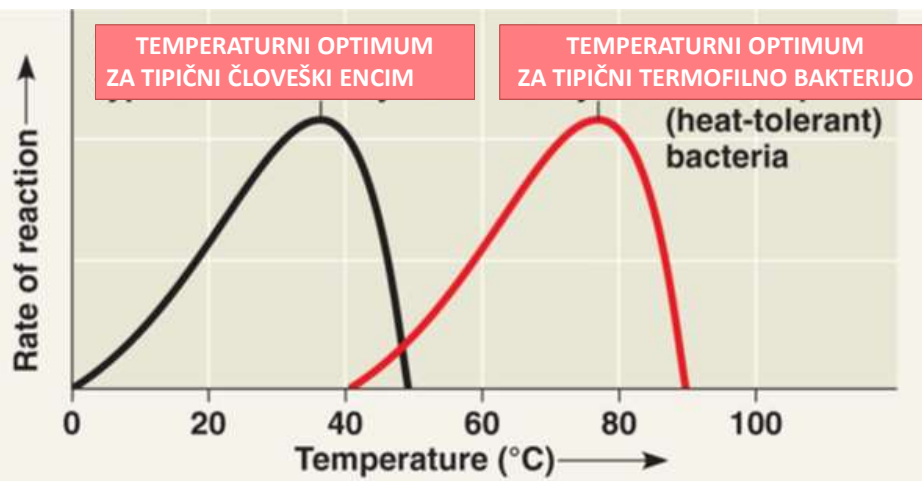
Imenujejo se po imenu reaktanta (npr. *saharaza*) ali po imenu reakcije, ki jo pospešuje (npr. *DNA polimeraza*)

## Vpliv temperature na hitrost encimsko vodene reakcije

Encimska aktivnost  $\uparrow$  z  $\uparrow$  T –  
verjetnost interakcij je večja



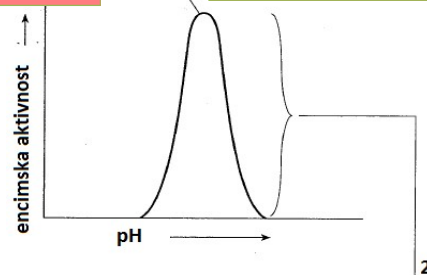
Encimska aktivnost se znižuje,  
pretrganje vezi, ki vzdržujejo  
funkcionalno strukturo encima



(a) Optimal temperature for two enzymes

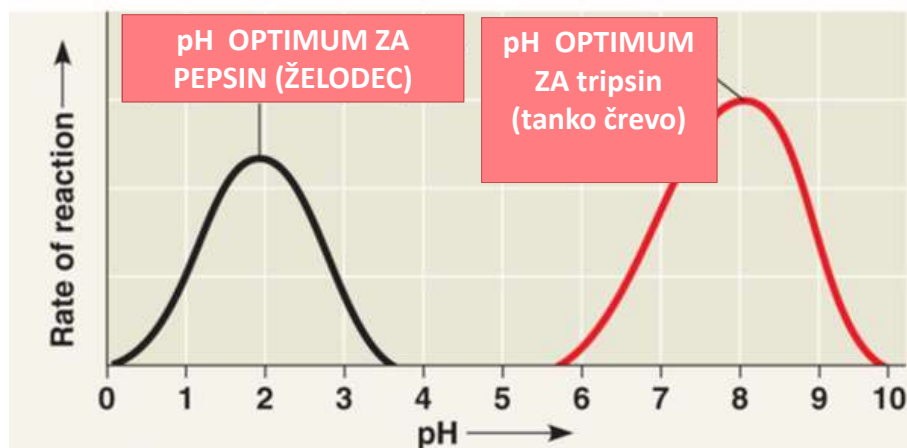
## Vpliv pH na hitrost encimsko vodene reakcije

pH optimum za večino encimov je 7

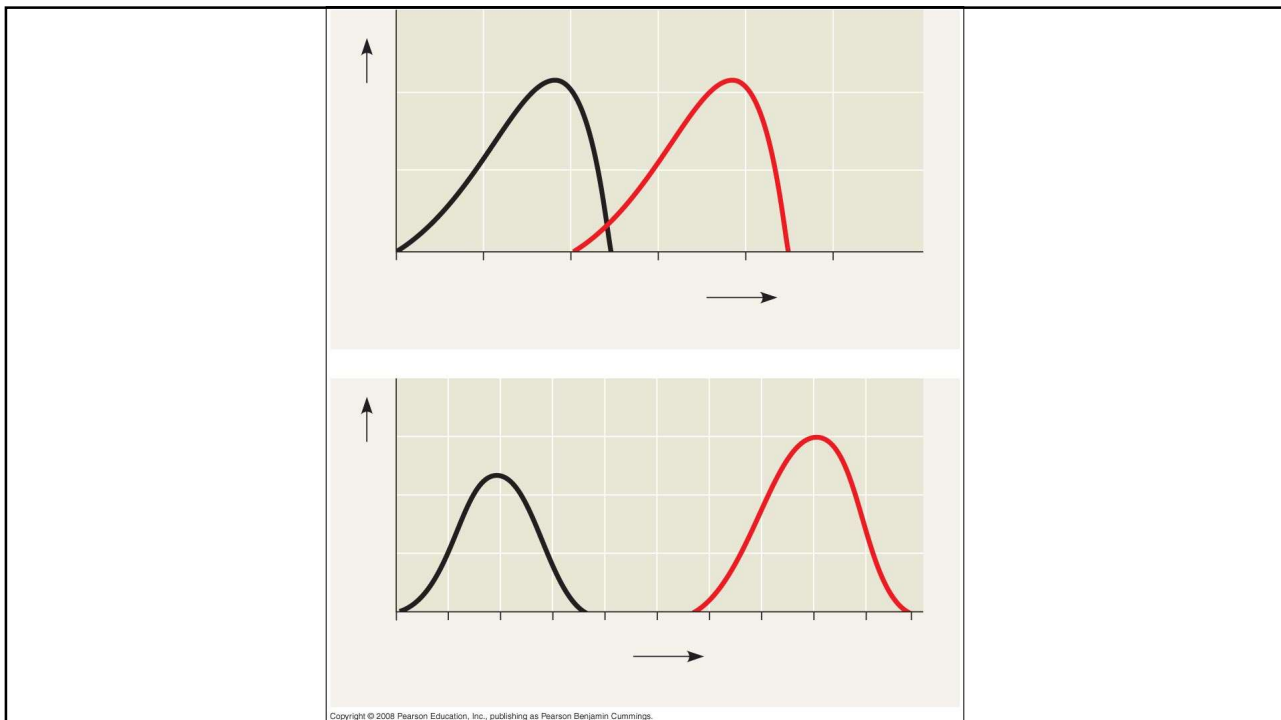


Nižji ali višji pH od optimuma povzroči spremembo aktivnega mesta

## Vpliv pH na hitrost encimsko vodene reakcije



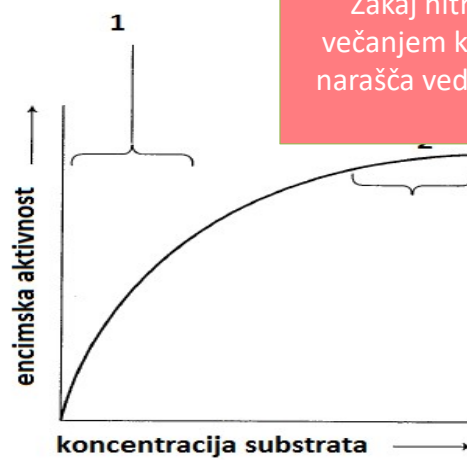
(b) Optimal pH for two enzymes

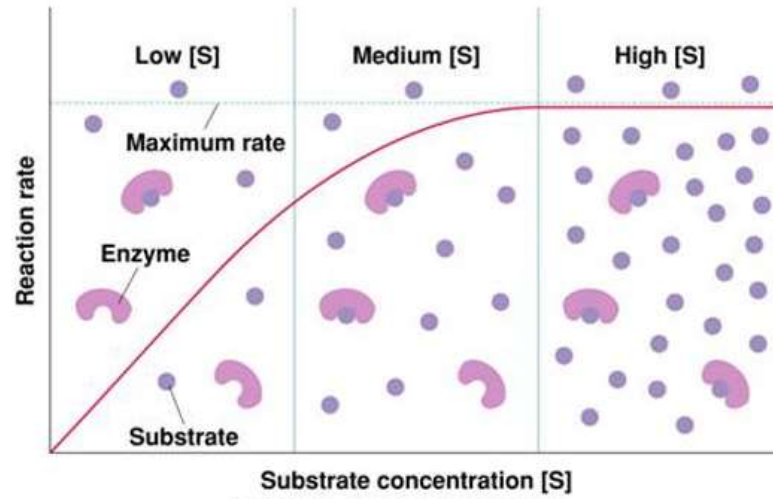


## Vpliv koncentracije substrata na encimsko vodene reakcije

Hitrost se povečuje z večanjem konc. – ZAKAJ?

Zakaj hitrost hitrost z večanjem konc. substrata narašča vedno počasneje?

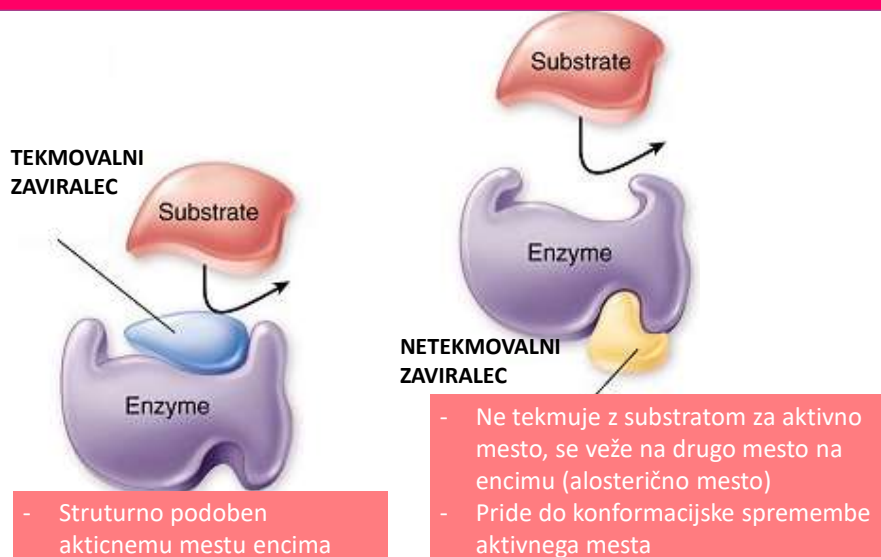




Reference: [http://bioserv.fiu.edu/~walterm/Fund\\_Sp2004/lec3\\_cell\\_metab/cell\\_metabolism.htm](http://bioserv.fiu.edu/~walterm/Fund_Sp2004/lec3_cell_metab/cell_metabolism.htm); 18. 2. 2014, 9:00

[Vpliv različnih dejavnikov na delovanje encimov:](https://www.youtube.com/watch?v=C2gYhT9BrmQ)  
<https://www.youtube.com/watch?v=C2gYhT9BrmQ>, 4 min

## ENCIMSKI ZAVIRALCI



tekmovalni inhibitor encima: <https://www.youtube.com/watch?v=PILzvT3spCQ>, 1 min

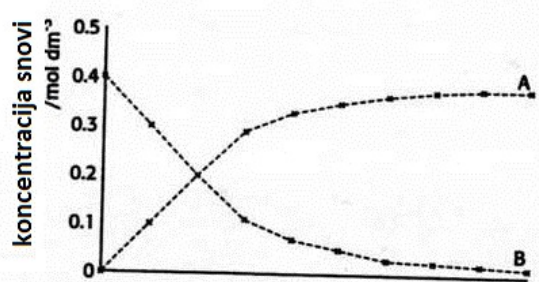
Netekmovalni/alosterični inhib.: <https://www.youtube.com/watch?v=QI1rlsHw3Zk>, 0-40 s

Naloga 1: Naštej nekaj encimskih zaviralcev v vsakdanjem življenju in jim pripiši vloge

Naloga 2: Razloži zakaj sta za sintezo glikogena potrebna dva različna encima!

**Graf 1 prikazuje koncentracijo substrata in produkta, ki se spreminjata s časom, po tem, ko smo zmešali encim in substrat.**

- Napiši in pojasni katera krivulja prikazuje koncentracijo substrata
- Kaj prikazuje krivulja A?

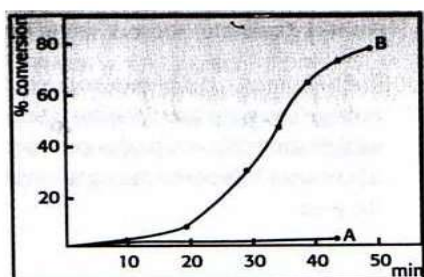


Graf1: Sprememba koncentracije substrata in produkta v encimsko vodeni reakciji

**Graf 2: prikazuje encimsko reakcijo glede na časovni potek reakcije**

- Krivulja A je bila posneta po tretiranju encima s toploto. Razloži rezultat!
- Razloži obliko krivulje B!

% pretvorbe



Graf: pretvorba glukoze v glikogen

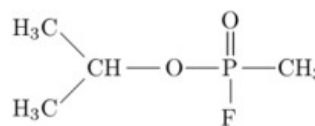
**Naloga 4:**

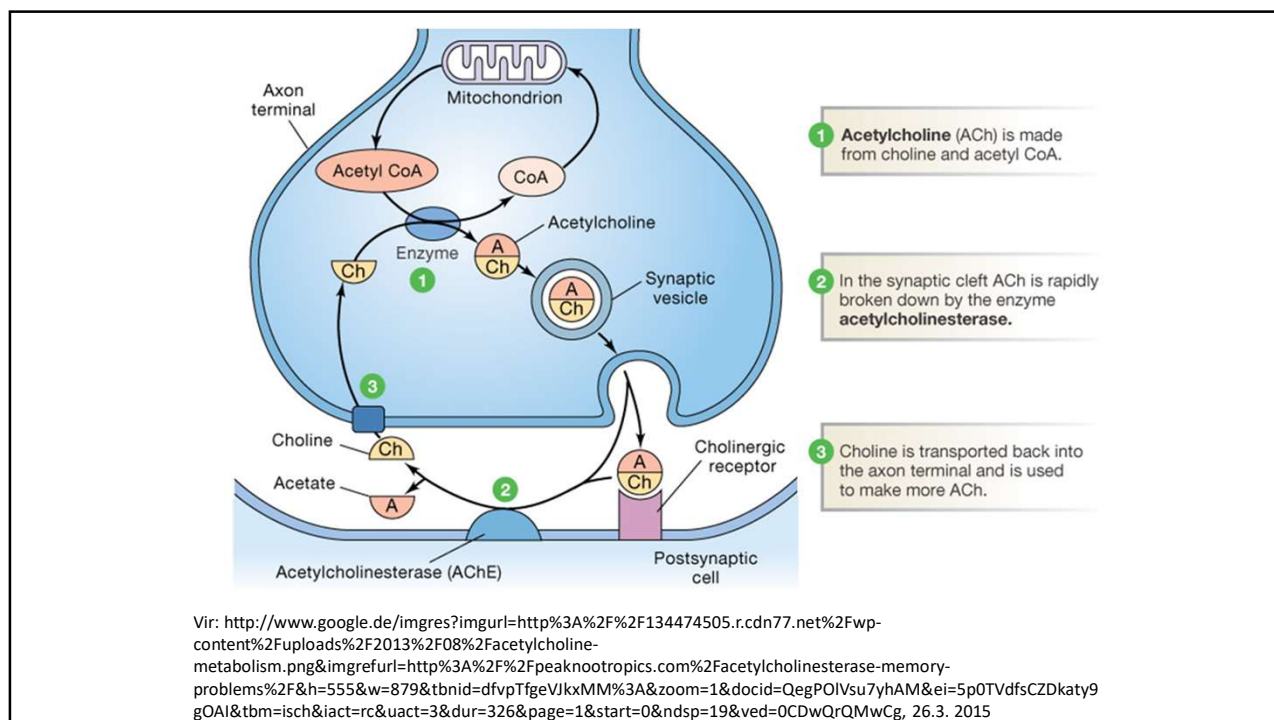
Razloži kakšna je razlika med anabolizmom in katabolizmom. Za vsak tip metabolizma napiši primer in določi ali je reakcije eksergona ali endergona.

**ENCIMSKI ZAVIRALCI –primeri**

- Sarin (ireverzibilno blokira acetiholinesterazo z vezavo na aktivno mesto)  
– mišice se ne morejo relaksirati - paraliza

**Sarin** je umetno sintetiziran živčni bojni strup z molekulsko formulo  $C_4H_{10}FO_2P$ . V čisti obliki je sarin brezbarvna tekočina. Zelo hlapen je pri normalni temperaturi (20 °C), nastale pare pa so brez barve in vonja. Bil je uporabljen v terorističnih napadih na Japonskem v letu 1995





## ENCIMSKI ZAVIRALCI –primeri

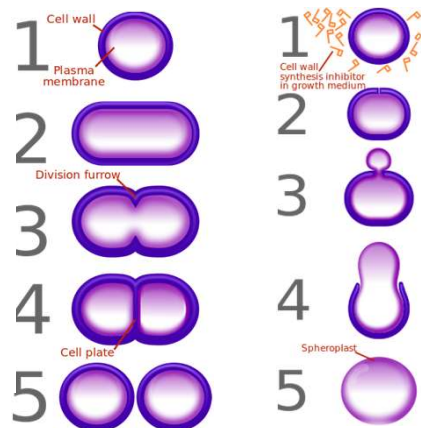
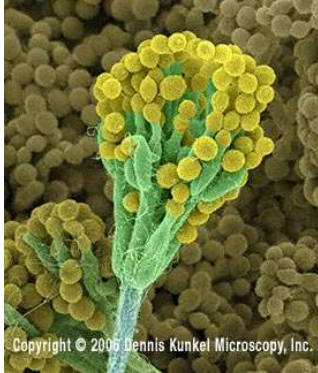
- Stročnice vsebujejo inhibitorje alpha-amilaze in alpha-glukozidaze



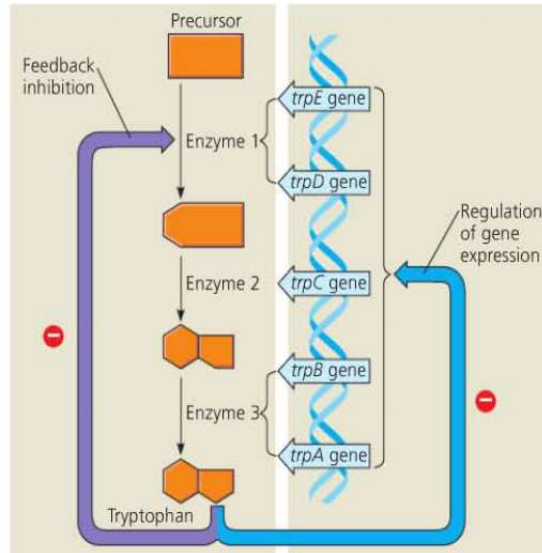
Vir slike: [http://slike.planet-lepote.com/xinha/slike/rekreacija/prehrana/krvne\\_skupine/strocnice.jpg](http://slike.planet-lepote.com/xinha/slike/rekreacija/prehrana/krvne_skupine/strocnice.jpg), 26.3.2015

## ENCIMSKI ZAVIRALCI –primeri

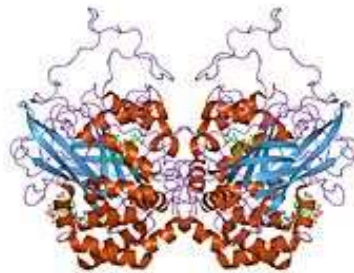
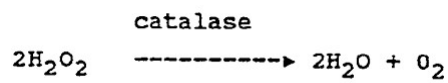
- Penicilin (Fleming, 1928)



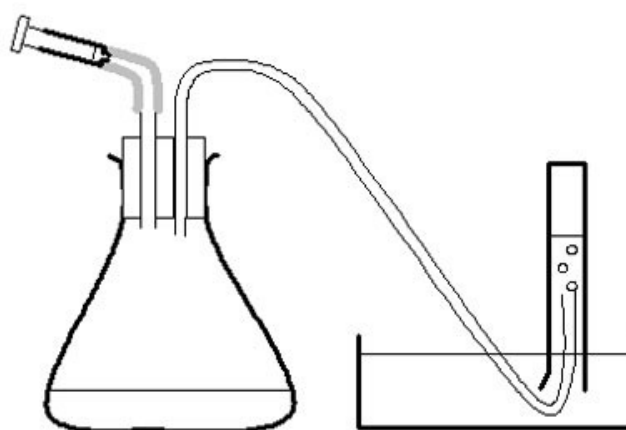
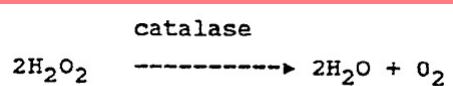
- delovanje encimov je natančno uravnano



## Delovanje encima katalaza



- nahaja se v vseh celicah (tudi v rastlinskih)
- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> v celici nastaja pri različnih metabolnih poteh (npr. levkociti pri razgradnji MO)



**Zbiranje produktov reakcije**

**Slika:** Aparatura za merjenje  
volumna nastalega plina

- Zapišite enačbo razgradnje vodikovega peroksida!
- Zakaj smo v poskusu uporabili jetra?
- Ali bo prišlo do reakcije, če dodamo v erlenmajerico svež košček jeter?
- Kako bi vplivalo na hitrost reakcije, če bi predhodno jetra narezali na majhne koščke?

	Vsebina epruvete	
epruveta 1	3 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	kremenčev pesek
epruveta 2	3 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	manganov dioksid (črni prah)
epruveta 3	3 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	košček krompirja
epruveta 4	3 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	košček jeter
epruveta 5	3 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Že uporabljen košček jeter

**Epruveta 6: Vpliv velikosti delčkov**

Primerjati želimo hitrosti reakcije, ki poteče z zdobljenim koščkom jeter (epruveta 6) z reakcijo v

epruveti 4 → razmislite o velikosti uporabljenih koščkov jeter in količini dodanega materiala!

**Epruveta 7: Vpliv visoke temperature**

Vzemite košček kuhanih jeter, dodajte 3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, opazujte in ocenite hitrosti reakcije (epruveta 7) – primerjajte z rezultati iz prejšnjih epruvet, razložite razlike!

•Poskusite napovedati rezultate in preverite, če se vaša napoved sklada z dobljenimi rezultati!



1. Izmerite čas, potreben za nastanek določene količine plina.
2. Preračunajte, koliko plina (produkta kisika) nastane v 1 s - **ml O<sub>2</sub>/s**.
3. Naredite pet ponovitev, izračunajte povprečje.

**Slika:** Aparatura za merjenje volumna nastalega plina

Kaj v poskusu predstavlja kontrolo (kontrolno epruveto)?

Zakaj smo dodali jetra in krompir?

Zakaj s prekuhanimi jetri reakcija ne steče?

Kaj je bila pri poskusu št. 6 odvisna, kaj neodvisna spremenljivka? Navedi tudi konstante (kontrolirane spremenljivke) !

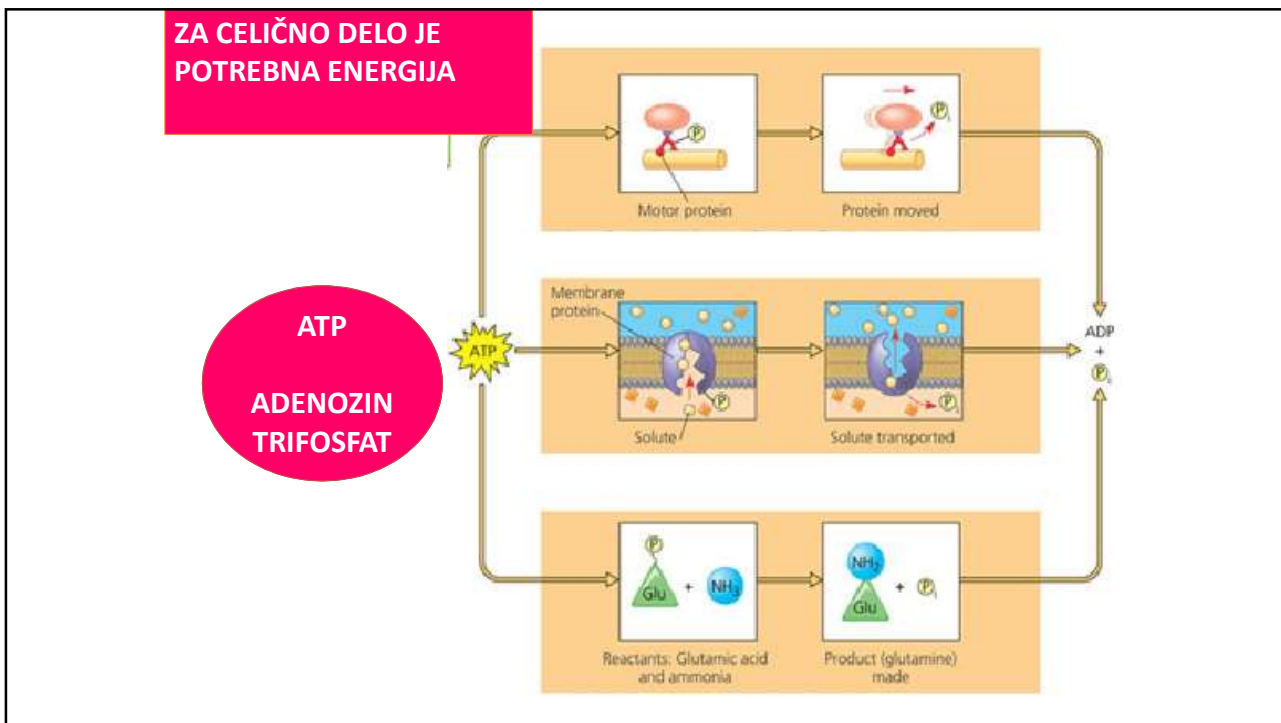
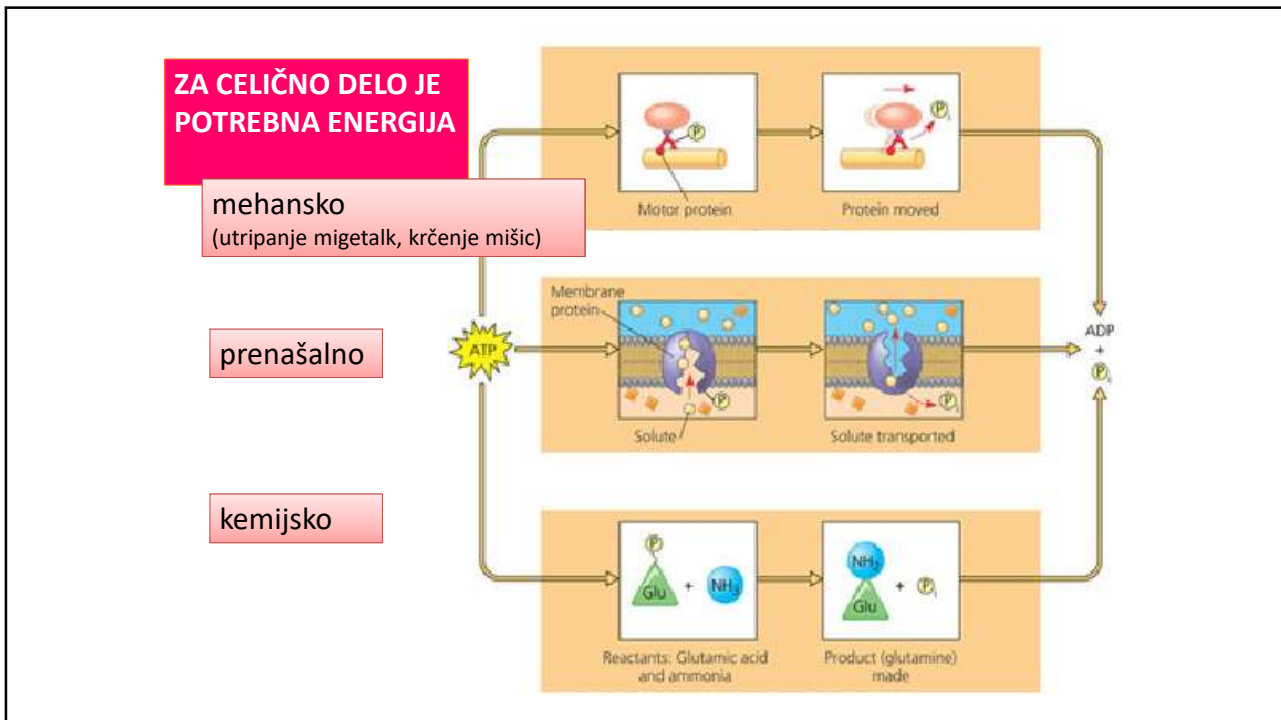
Zakaj smo v poskusu uporabili suspenzijo kvasovk?

Razloži, zakaj je bila pri višjih koncentracijah vodikovega peroksida reakcija hitrejša!

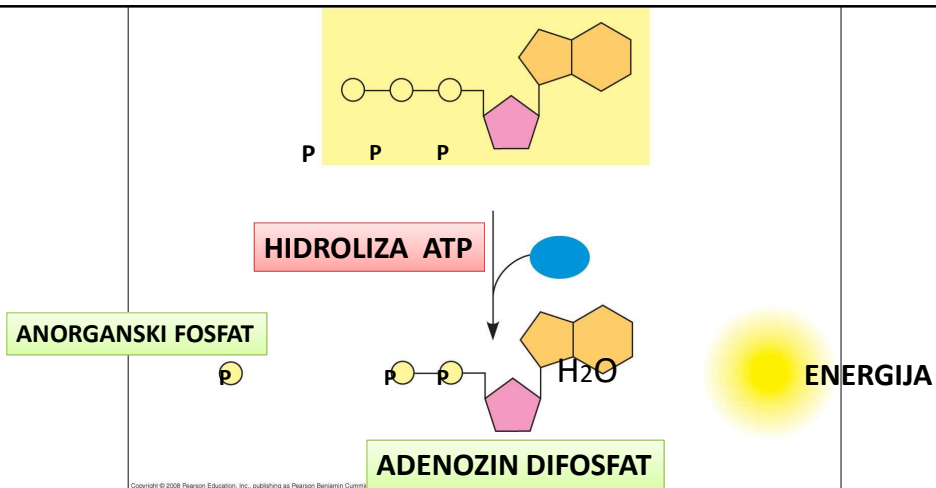
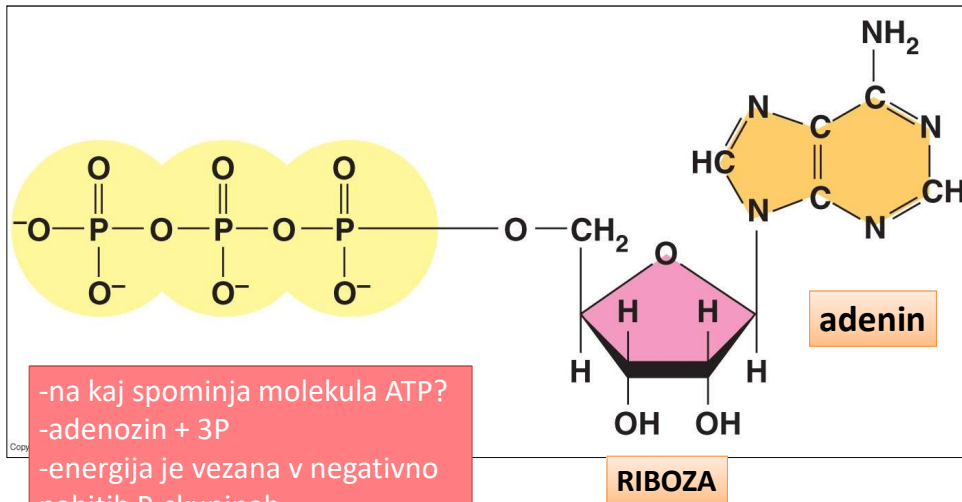
Predvidevaj, kakšni bi bili rezultati, če bi uporabili 6% vodikov peroksid!

Kakšne rezultate pričakujemo, če bi poskus ponovili s prekuhanimi kvasovkami?

Navedi morebitne vire napak pri poskusu! Predlagaj, kako bi poskus izboljšali, da bi bili naši podatki bolj zanesljivi!



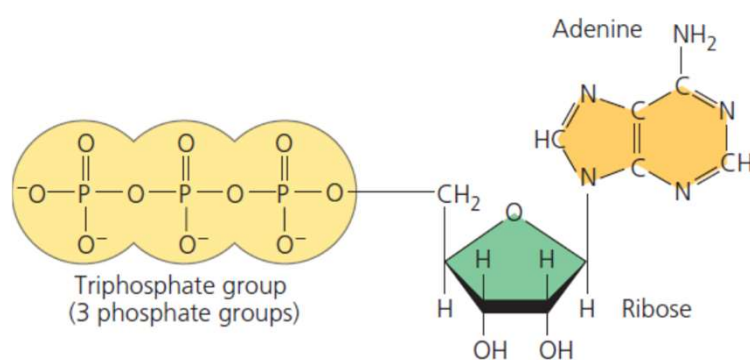
## ATP (ADENOZIN TRIFOSFAT)



Energija, ki se sprosti ob hidrolizi je posledica prehoda molekule ATP iz višjega na nižje energijsko stanje.

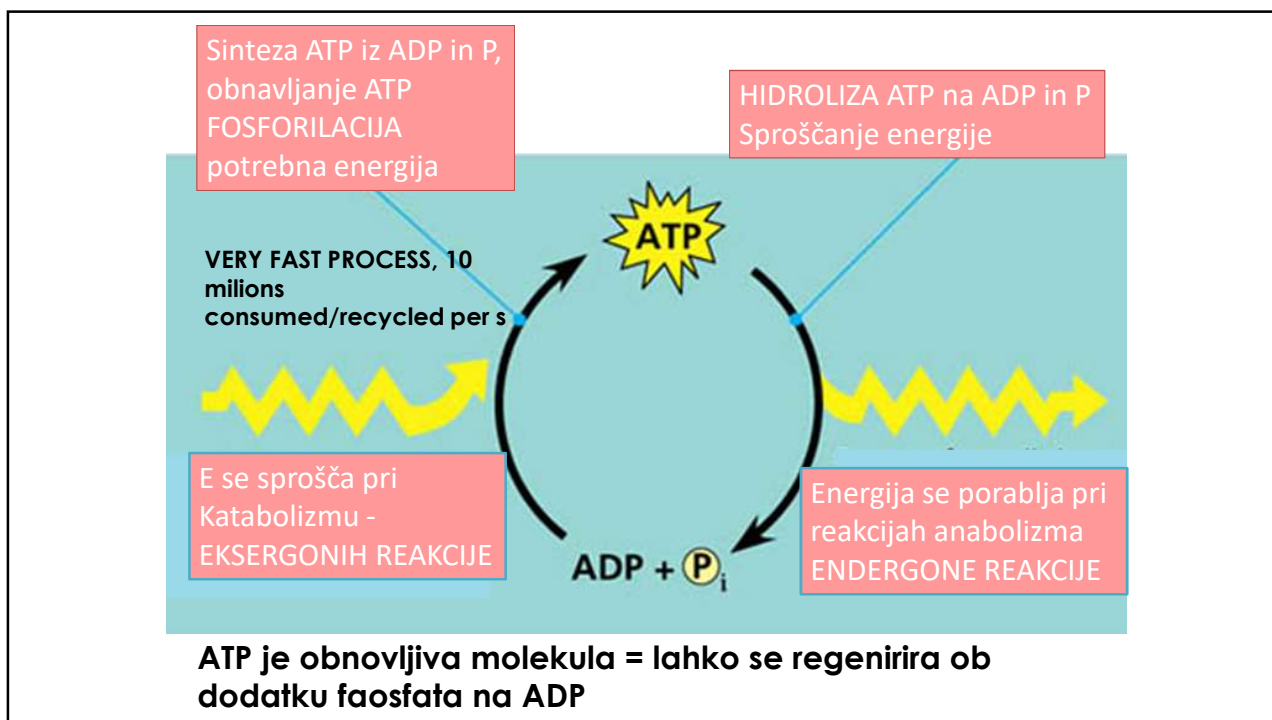
- ATP z vezavo povzroči spremembo beljakovin
- ADP se lahko ponovno obnovi z vezavo P – porablja se energija

## ATP (adenozin trifosfat)



### VSEBUJE:

- riboza
- Organska baza (adenin)
- Veriga treh fosfatnih skupin



## ENERGIJSKI METABOLIZEM

→ del metabolizma, pri katerem se sprošča energija

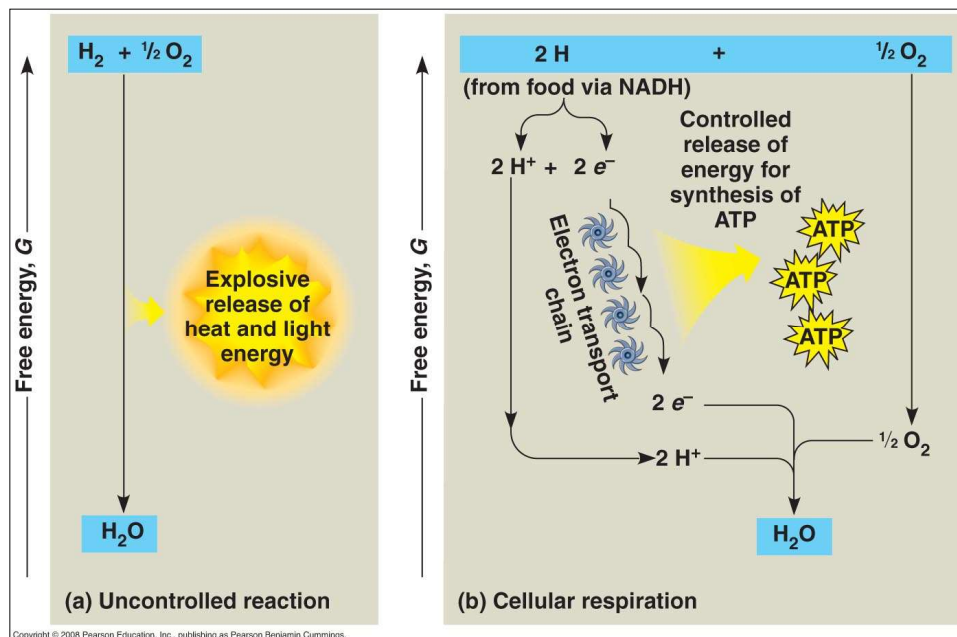
→ metabolne poti, pri katerih se sprošča energija iz glukoze in energijsko bogatih snovi

Celično delo:

1. Sinteza velikih organskih molekul
2. Transport snovi (npr. črpalke čez celično membrano)
3. Mehansko delo

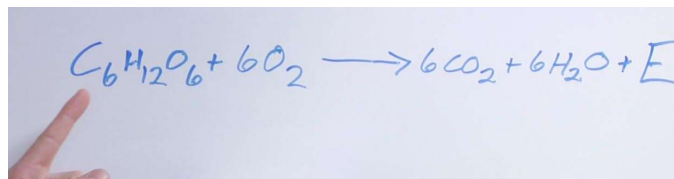
→ energija se sprosti iz organskih molekul pri cepitvi vezi med vodikovimi in ogljikovimi atomi

→ V celicah vodiki ne prehajajo neposredno na kisik



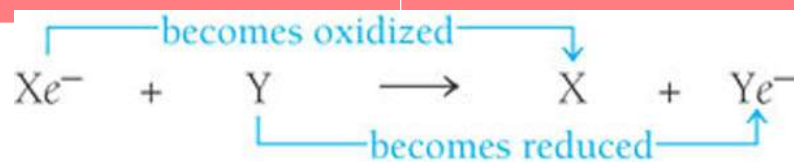
**OKSIDANT** – snov, ki pri reakciji elektron sprejme

**REDUCENT** - snov, ki pri reakciji elektron odda



- v organizmih se energija sprošča v oksidoredukcijskih procesih: procesi, kjer elektroni prehajajo iz reducenta na oksidant.

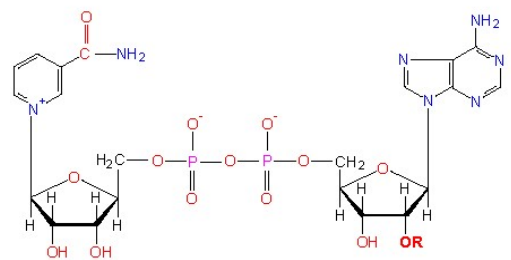
OKSIDACIJA	REDUKCIJA
Oddajanje elektronov	Sprejemanje elektronov
Oddajanje vodikovih atomov, sprejemanje kisikovih atomov	Sprejemanje vodikovih atomov, oddajanje kisikovih atomov
Nastanejo produkti z manj proste energije	Nastanejo produkti v več proste energije



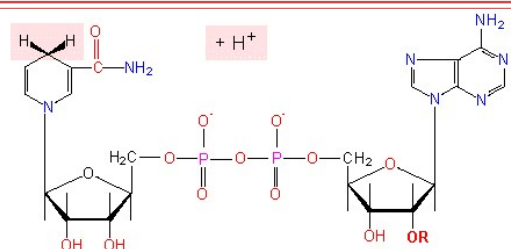


### PRENAŠALEC ELEKTRONOV

- elektrone lahko odda ali sprejme
- pogosto povezan z reakcijami oksidacije in redukcije v celicah
- Sprejme 2 e- in 2 H+



nicotinamid adenine dinucleotide (NAD<sup>+</sup>)

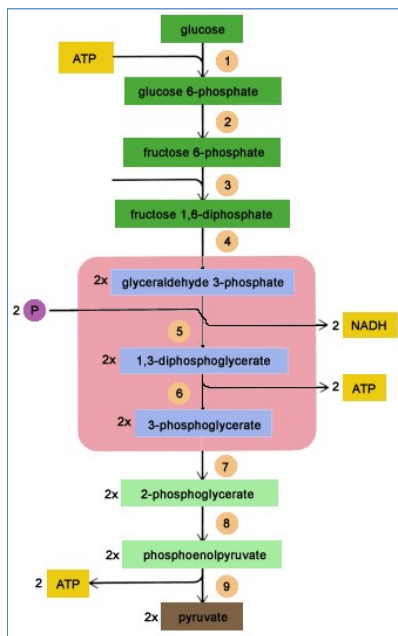


NADH + H<sup>+</sup>

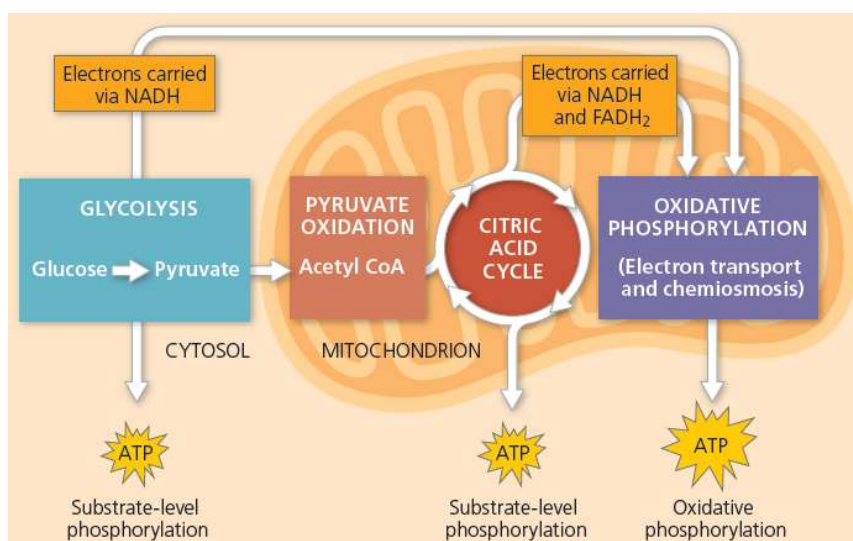
## Vrenje in celično dihanje se začneta z glikolizo

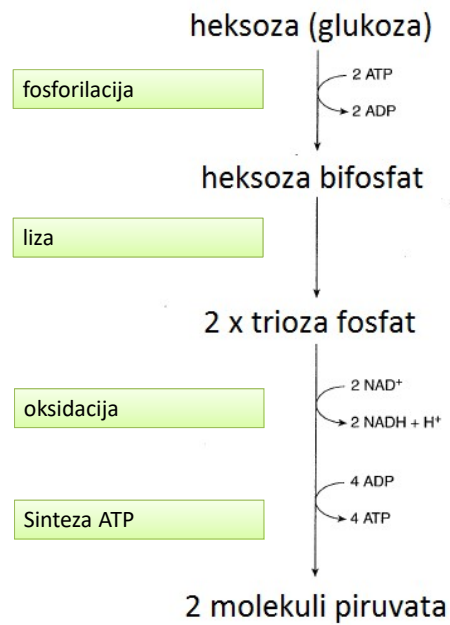
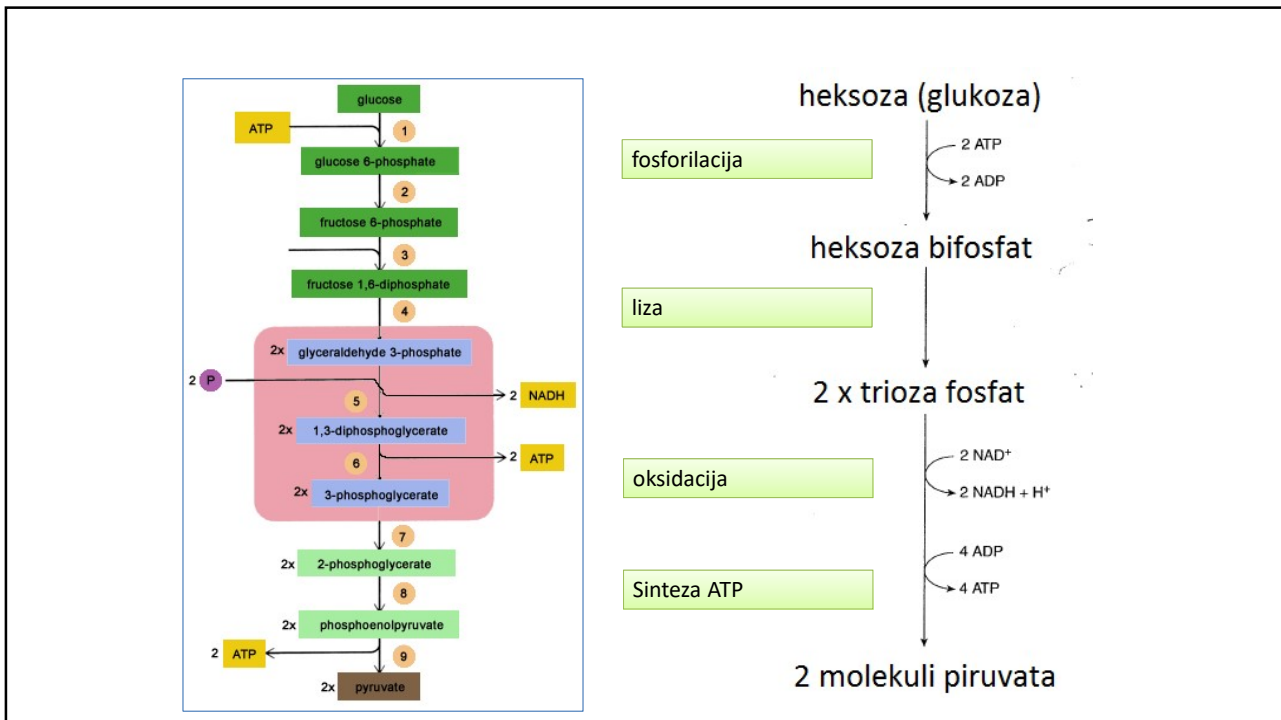
- postopoma nastajajo molekule ATP iz glukoze, maščob ali drugih substratov.
- Celično dihanje poteka v štirih stopnjah:
  1. Glikoliza
  2. Nastanek acetil koencima A
  3. Krebsov cikel (cikel citronske kisline)
  4. Oksidativna fosforilacija

## GLIKOLIZA



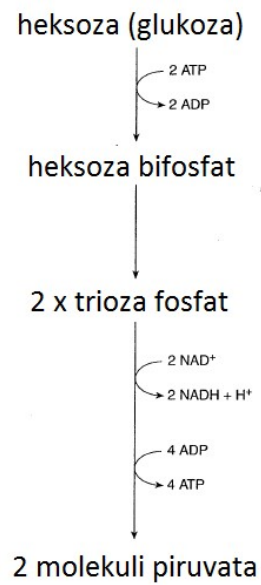
- poteka v citosolu
- glukoza se delno oksidira
- nastane majhna količina ATP
- poteka brez prisotnosti O<sub>2</sub>
- poteka hitro





### Končni izkupiček glikolize

- 2 molekuli ATP
- 2 x piruvat
- 2 x NADH + H<sup>+</sup> (nosilci energije)



- Ob prisotnosti kisika se piruvat transportira v mitohondrij!!

heksoza (glukoza)

2 ATP  
2 ADP

heksoza bifosfat

2 x trioza fosfat

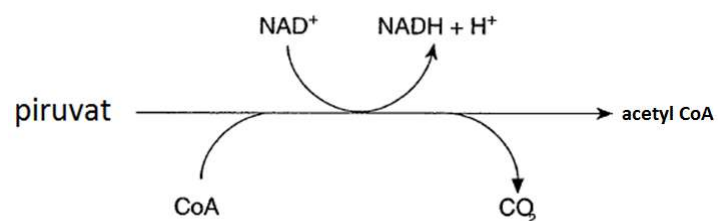
2 NAD<sup>+</sup>  
2 NADH + H<sup>+</sup>

4 ADP  
4 ATP

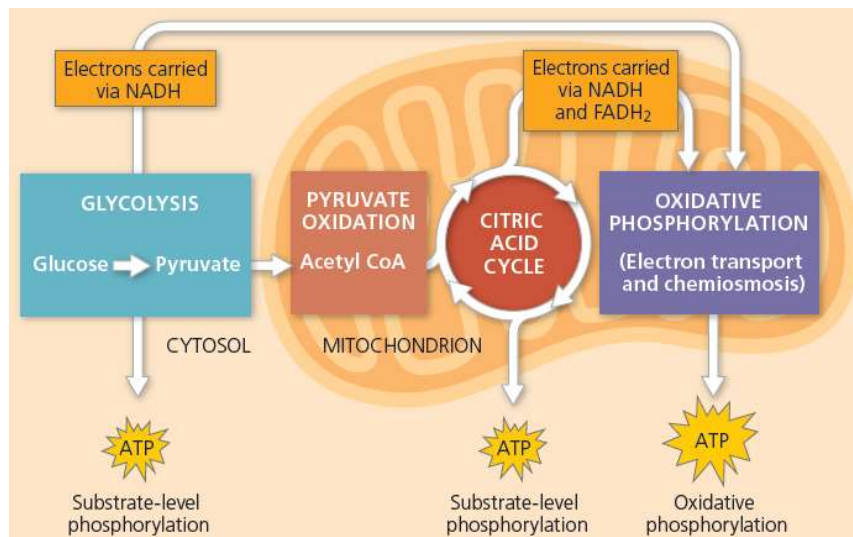
2 molekuli piruvata

Glikoliza: <https://www.youtube.com/watch?v=hDq1rhUkV-g&t=128s>, 5 min \*\*\*  
<https://www.youtube.com/watch?v=8Kn6BVGqKd8>, 3 min \*\*\*

## Oksidativna dekarboksilacija

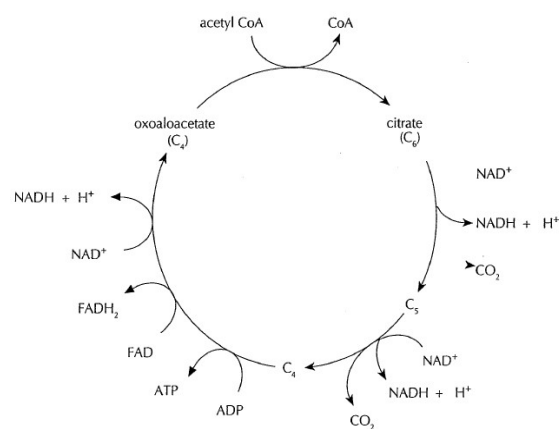


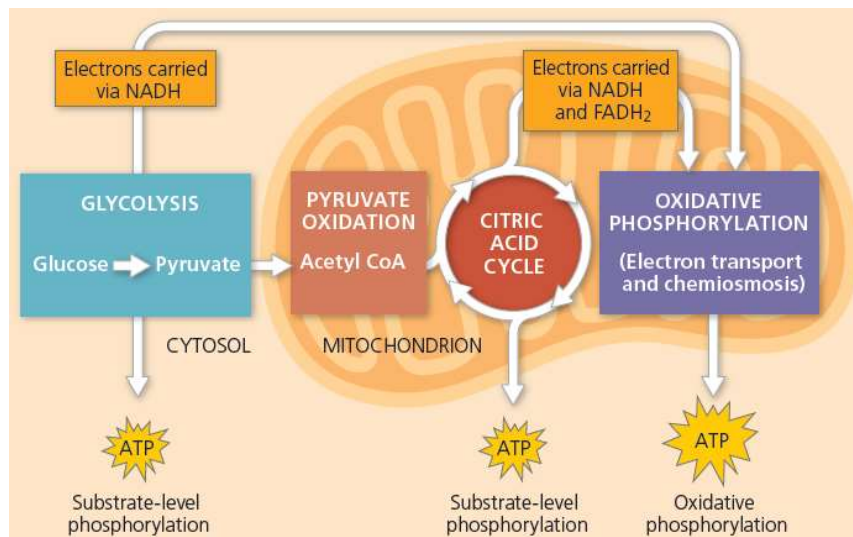
Nastanek 1x NADH + H



## Krebsov cikel (cikel citronske kisline)

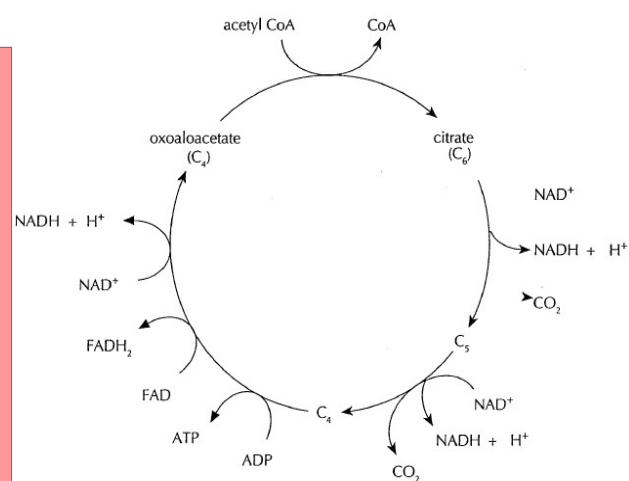
- v matriksu mitohondrija
- acetyl CoA vstopi v KC
- postopno odcepljanje CO<sub>2</sub>,
- nastanek NADH + H
- nastanek ATP





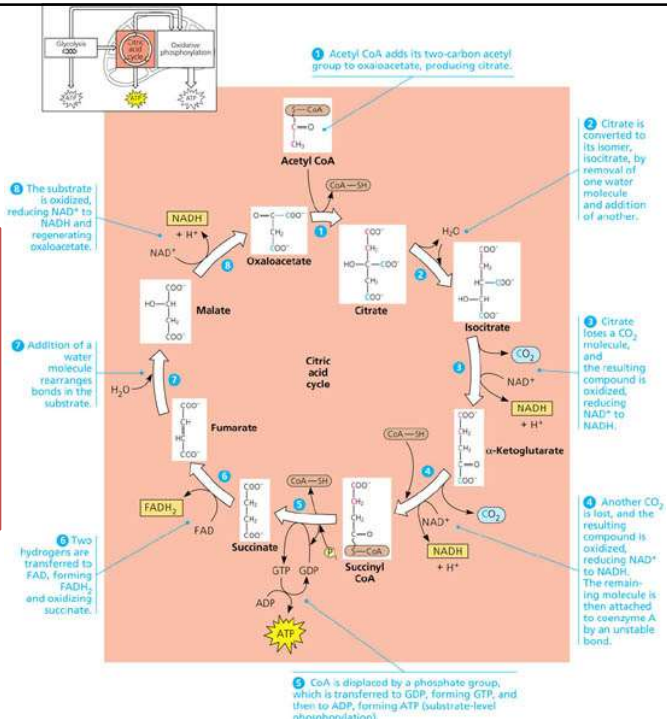
### Izkupiček na piruvat:

- Nastanek 3 x NADH + H
- Nastanek 1x FADH<sub>2</sub>
- Nastanek 1 molekule ATP



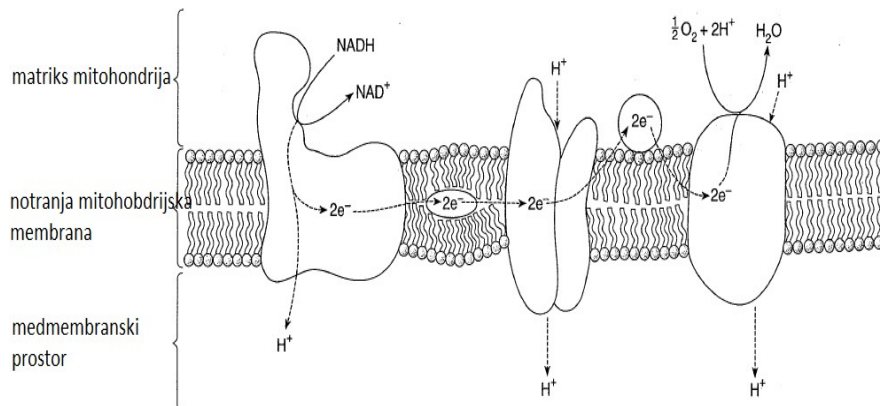
### Krebsov cikel-cikel citronske kisline

- ostanki glukoze se razgradijo do CO<sub>2</sub> in vodika.

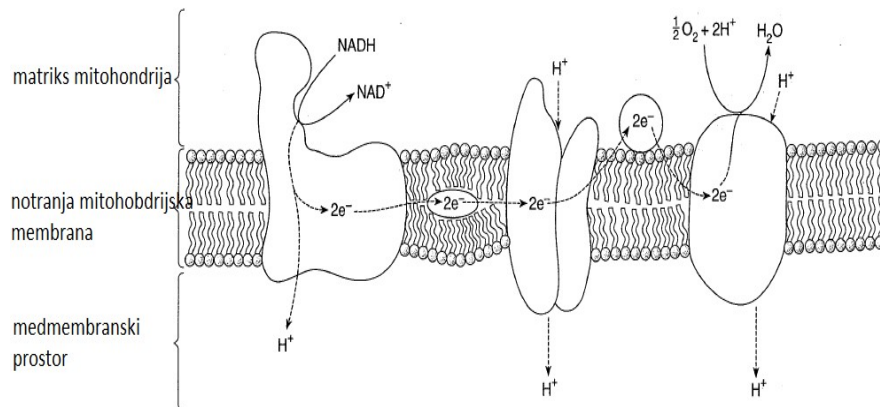


### Oksidativna fosforilacija (dihalna veriga)

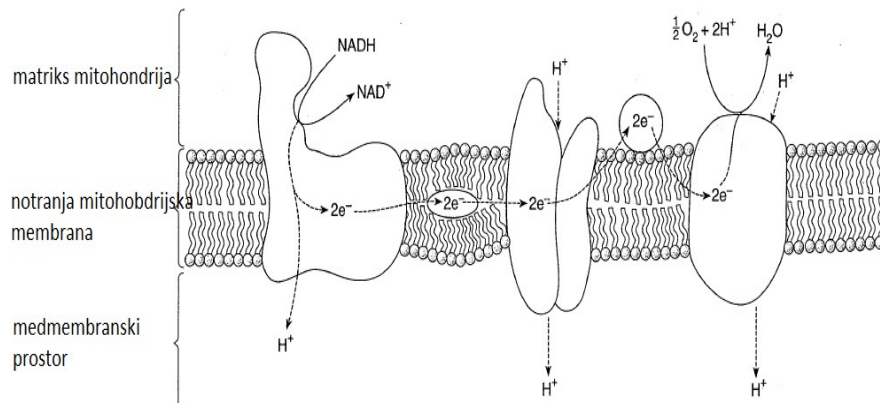
Elektronski prenašalci oddajajo elektrone seriji elektronskih prenašalcev na notranji m. membrani.



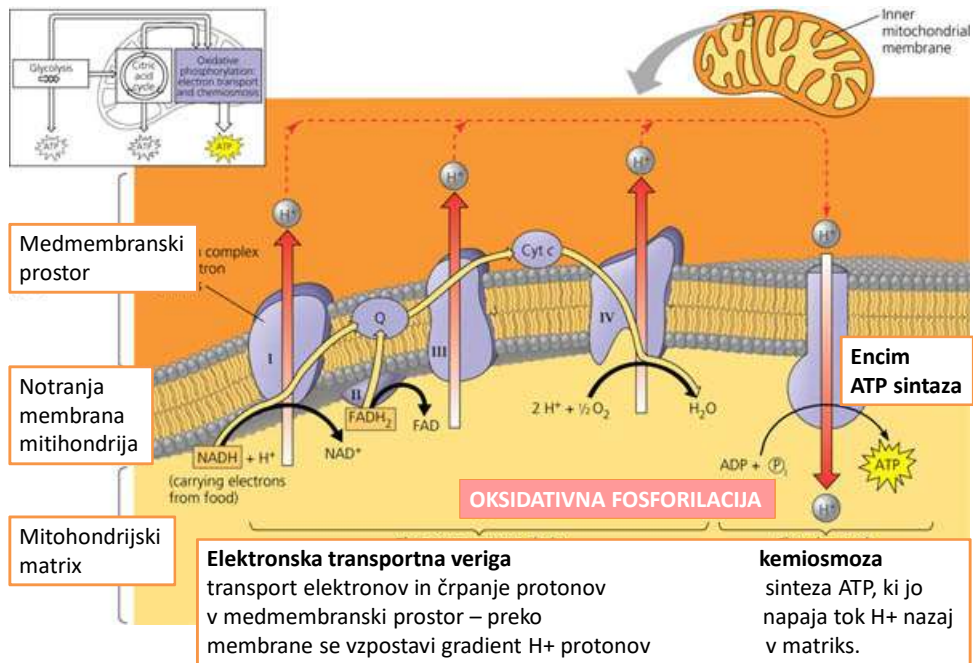
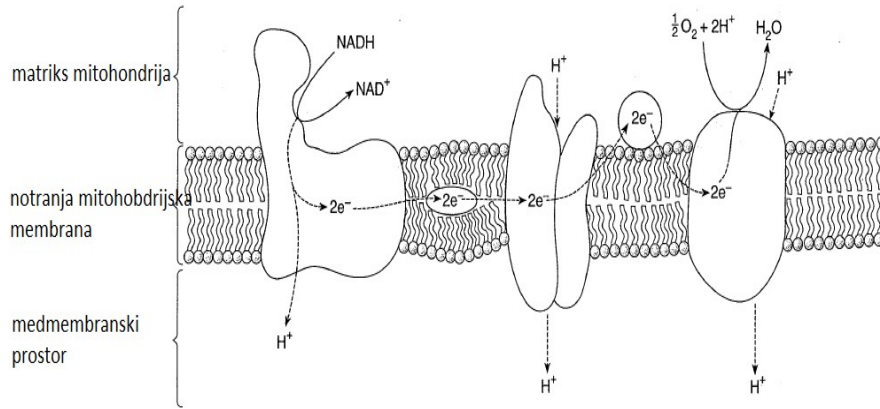
Vsak naslednji prenašalec je močnejši oksidant.

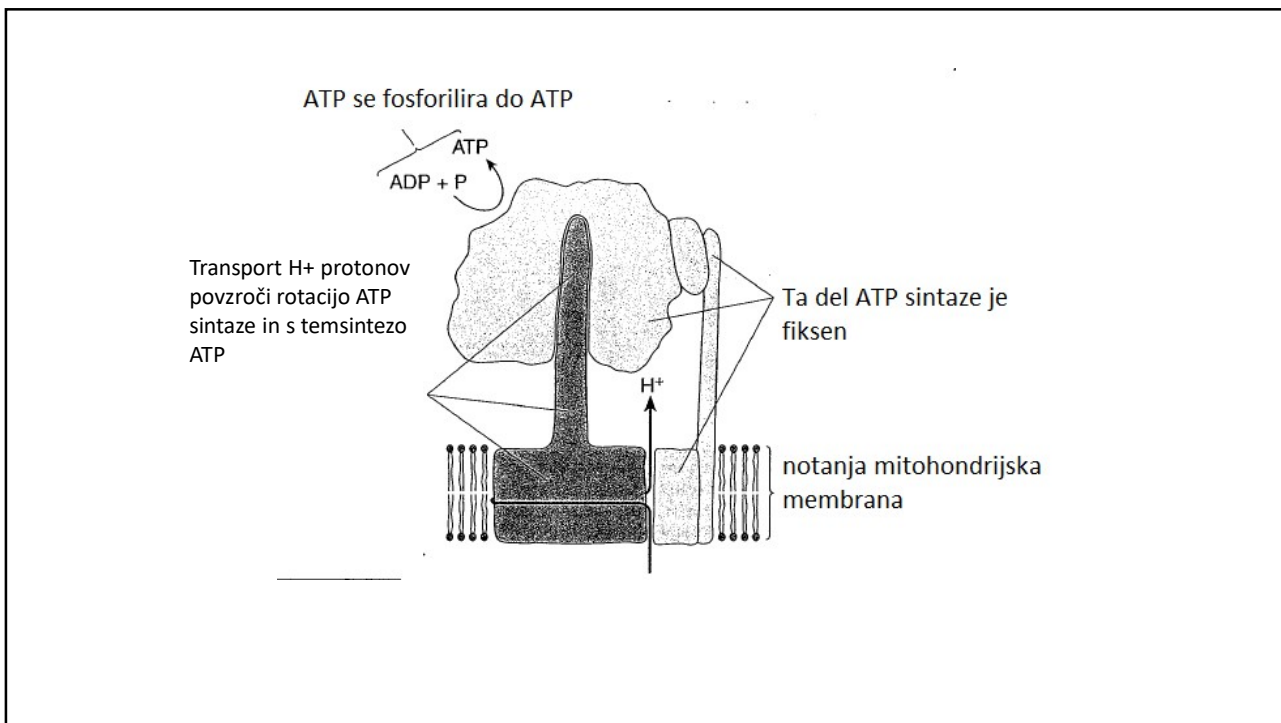
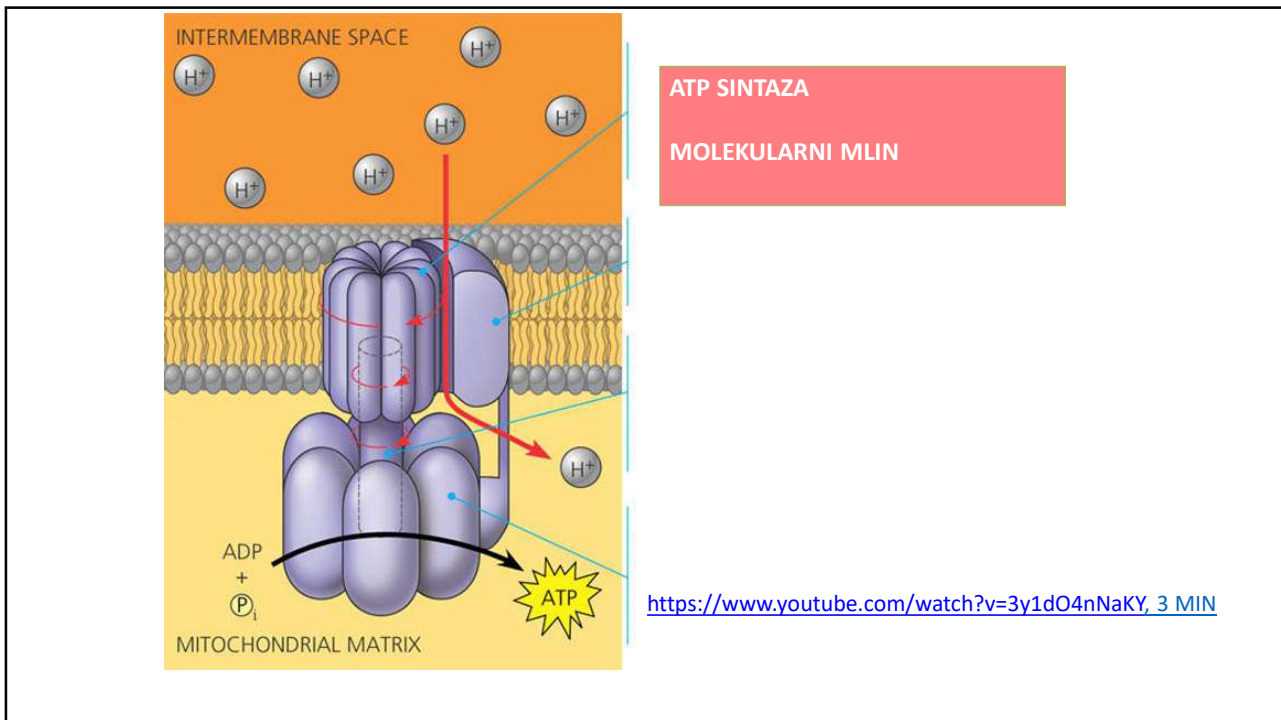


Sproščena energija se porabi za črpanje protonov



Ustvari se koncentracijski gradient preko membrane (potencialna energija),



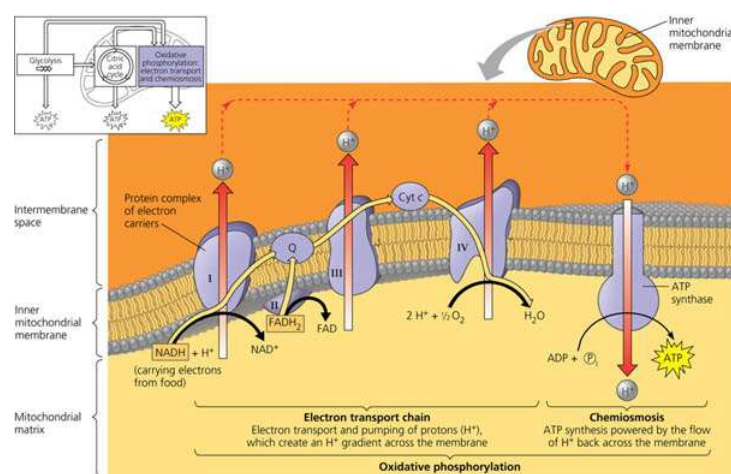


OKSIDATIVNA FOSFORILACIJA – vezava fosfata na ADP na podlagi energije sproščene zaradi oksidacij

KEMIOSMOZA– sinteza ATP, ki jo napaja tok H<sup>+</sup> nazaj v matriks

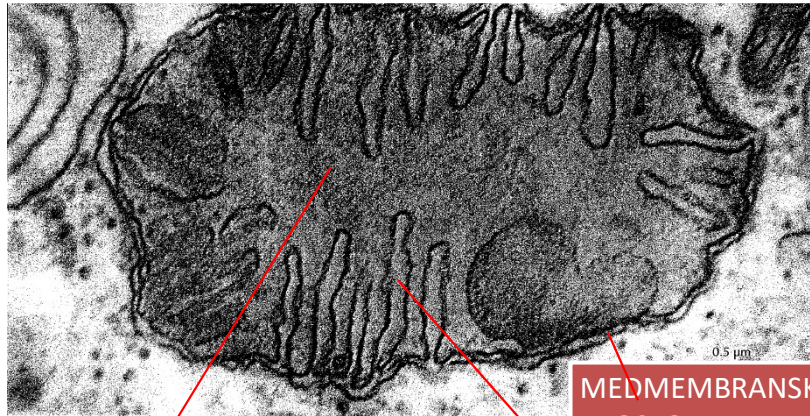
## Vloga kisika

Na koncu dihalne verige se elektroni vežejo s kisikom. Istočasno sprejme kisik protone in nastane voda (v matriksu)



## MITOHONDRIJ

Mitochondrij je odličen primer povezave strukture in funkcije.

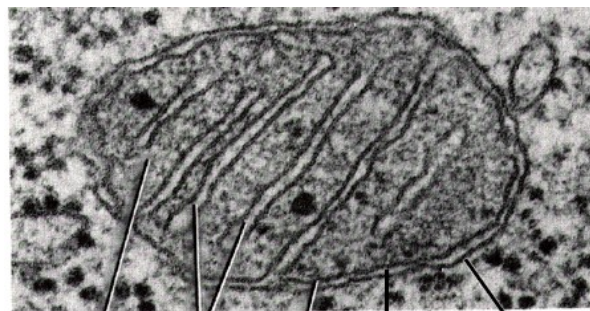


MATRIKS:  
ENCIMI

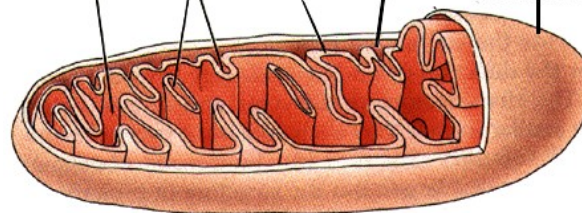
KRISTE: POVEČANA  
POVRŠINA!!

MEDMEMBRANSKI  
PROSTOR

## MITOHONDRIJ



matrix    cristae    inner membrane    intermembrane space    outer membrane



## Energijski izkupiček celičnega dihanja na glukozo (30-36 ATP)

→ Glikoliza: 2 ATP, 2 NADH + H<sup>+</sup> (2 ATP + 2 x 3 = 8 ATP)

→ Krebsov cikel: 2 ATP

→ Oksidativna fosforilacija: 26 – 30 ATP (vsak NADH + H<sup>+</sup> prispeva 3x ATP, FADH<sub>2</sub> prispeva 2x ATP)

heksoza (glukoza)

2 ATP  
2 ADP

heksoza bifosfat

→ 2 ATP  
→ 2x NADH + H<sup>+</sup>

2 x trioza fo:

2 NAD<sup>+</sup>  
2 NADH + H<sup>+</sup>

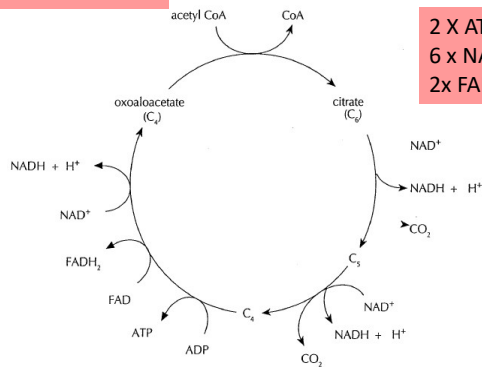
4 ADP  
4 ATP

2 molekuli piruvata

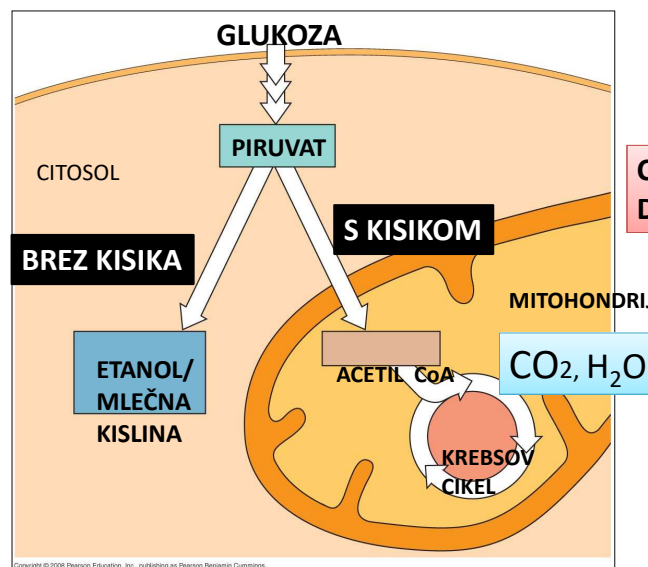
**Na glukozo:**

→ 2x NADH + H<sup>+</sup>

2 X ATP,  
6 x NADH + H<sup>+</sup>  
2x FADH<sub>2</sub>

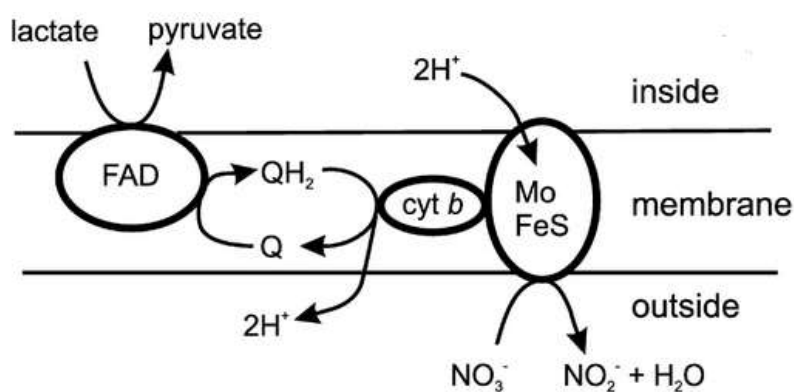


## RAZGRADNJA GLUKOZE



## ANEROBNO CELIČNO DIHANJE

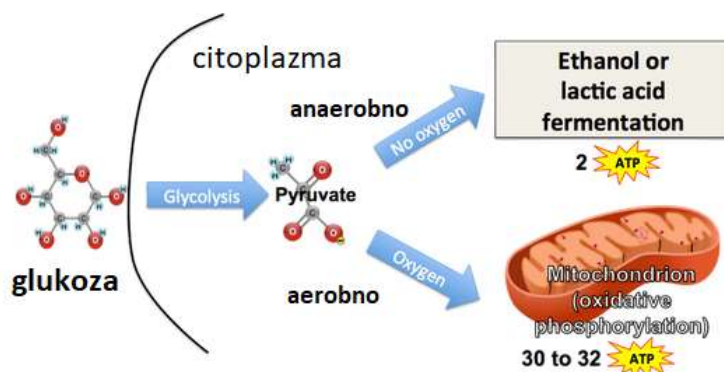
- Končni prejemnik elektronov ni kisik, ampak sulfat, nitrat karbonat
- Produkti: vodikov sulfid ( $\text{H}_2\text{S}$ , nitrit  $\text{NO}_2^-$ , dušik  $\text{N}_2$ , ali metan  $\text{CH}_4$ )
- Mikroorganizmi: vroči vrelci, prebavila
- Lahko jih uporabljamo za proizvodnjo bioplina



**Figure 1.16** The electron transport chain for *Escherichia coli* during anaerobic respiration (based on Smith and Wood [70], Dym *et al.* [47] and Bertero *et al.* [46]). FAD is flavin, FeS are iron–sulfur clusters, Q is menaquinone, cyt *b* is a *b*-type cytochrome and Mo is molybdopterin-guanosine-dinucleotide.

## VRENJE

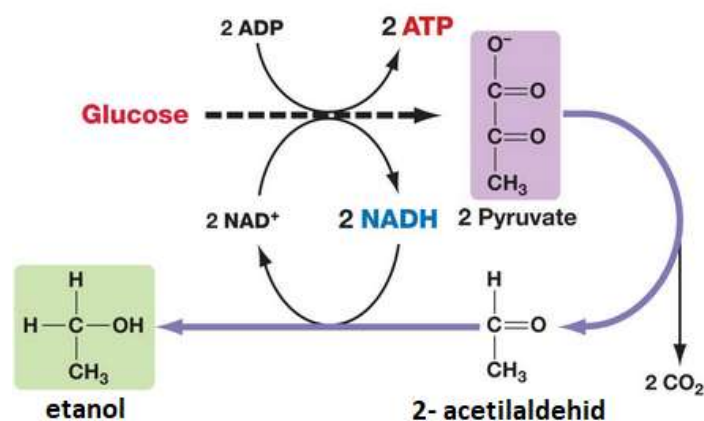
- Oksidacija glukoze do preprostejših organskih molekul: mlečna kislina, alkohol...
- Anaerobna, poteka v citoplazmi (citosolu)



<https://sciencemusicvideos.com/ap-biology/module-10-cellular-respiration/anaerobic-respiration-and-fermentation/>, 17.4. 2020

## Alkoholno vrenje

- Piruvat se razgradi do etanola in CO<sub>2</sub>
- Predstavniki: glive, nekatere rastline
- **Nastaneta le dve molekuli ATP**



<http://biology4alevel.blogspot.com/2015/08/91-anaerobic-respiration-ethanol.html>, 17.4. 2020

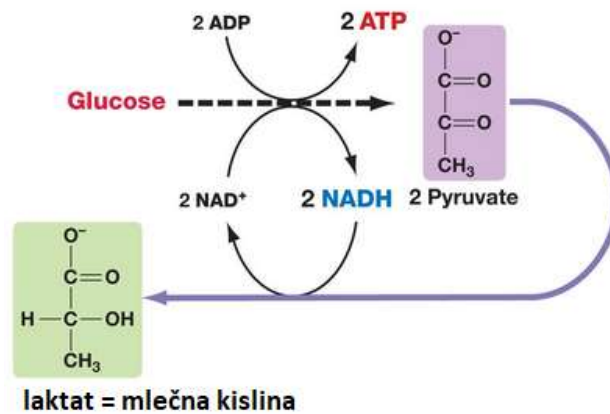
## Alkoholno vrenje - primeri

- priprava kruha
- mošt v vino



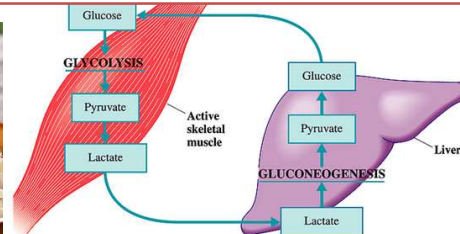
## Mlečnokislinsko vrenje

- Piruvat se razgradi do mlečne kisline
- Predstavniki: živali, bakterije
- **Nastaneta le dve molekuli ATP**



## Mlečnokislinsko vrenje - primeri

- Kisanje zelja, mleka
- Anaerobna razgradnja v mišicah



<https://odprtakuhinja.delo.si/kroznik/pravila-kisanja-domacega-zelja/>, 17.4.2020  
<http://biology4alevel.blogspot.com/2015/08/91-anaerobic-respiration-ethanol.html>, 17.4.2020

