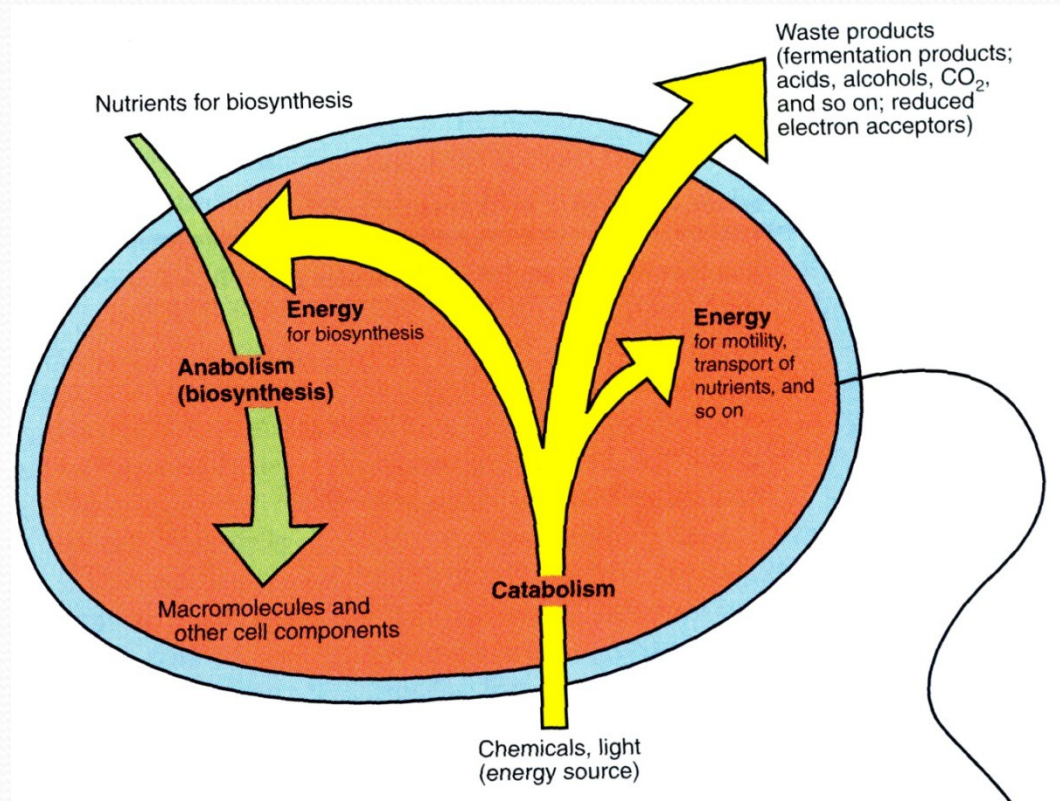


Metabolizem in energetika

Osnove metabolizma in energetike

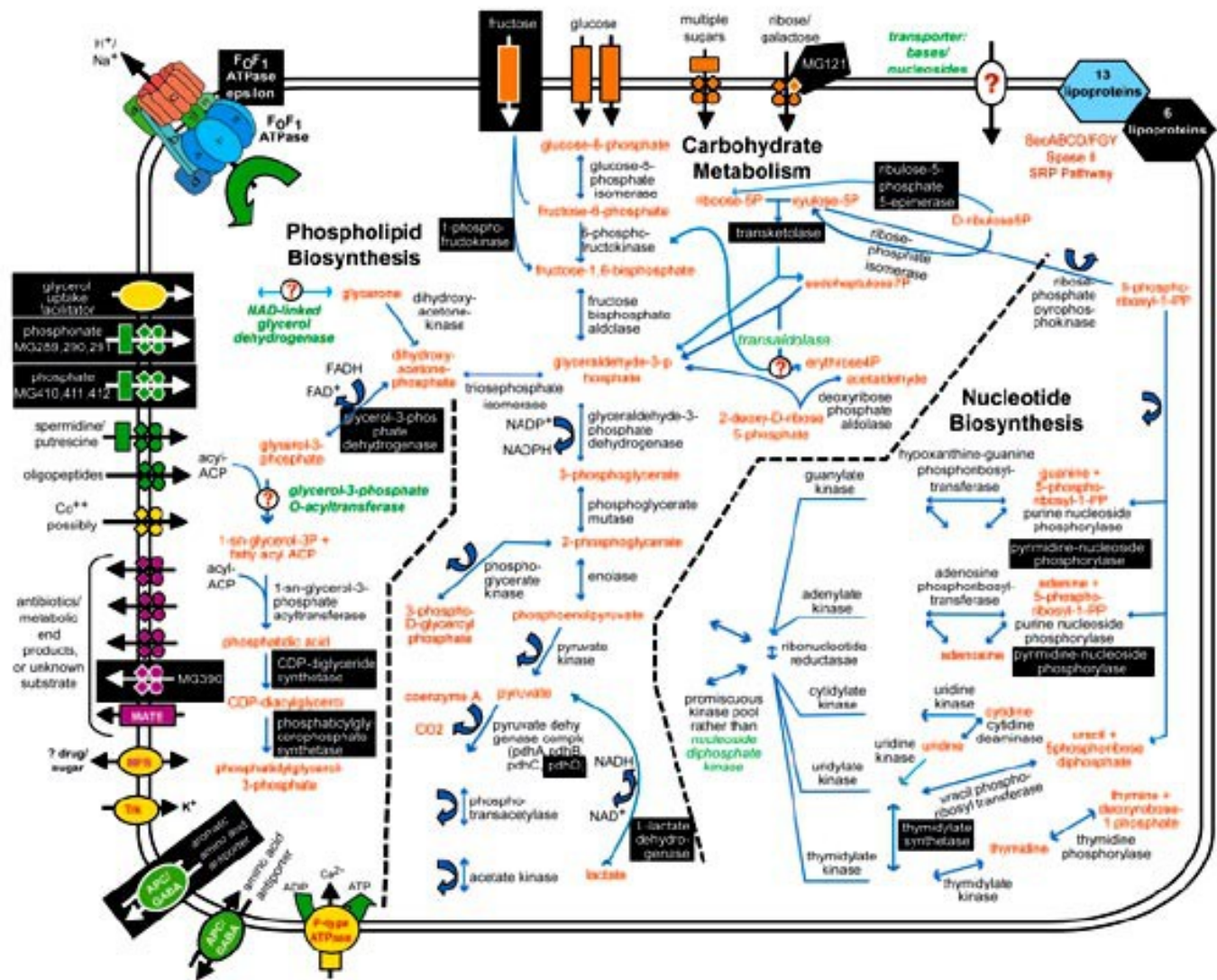
Lastnosti bioloških sistemov

- živi organizmi izmenjujejo energijo in snov
- ohranjajo se v dinamičnem stacionarnem stanju, daleč od ravnotežja z okolico



Presnova = metabolizem

celični
metabolizem
je natančno
reguliran



Metabolizem

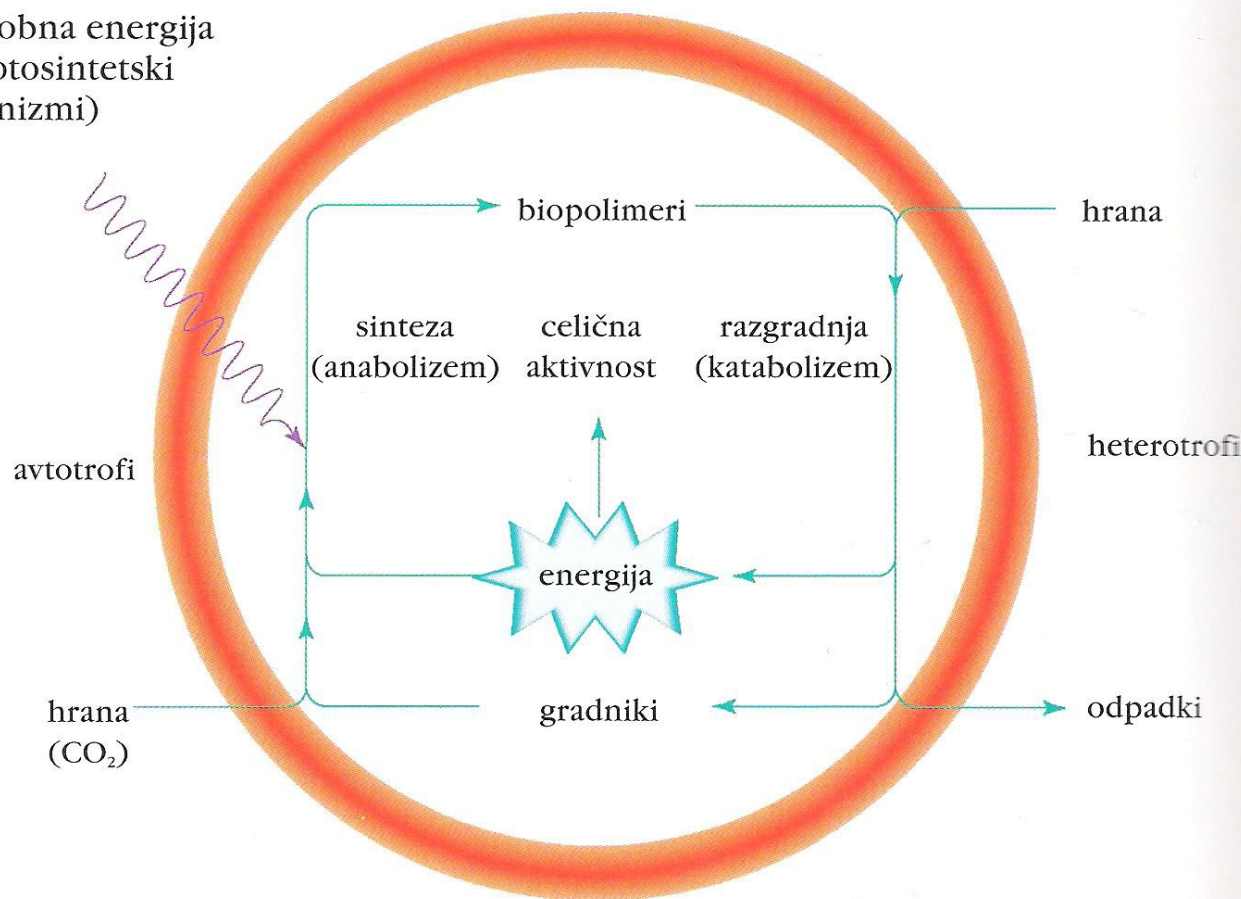
AVTOTROFI

“samooskrbujoči” organizmi, uporabljajo CO_2 kot edini vir C, iz katerega zgradijo kompleksne organske molekule

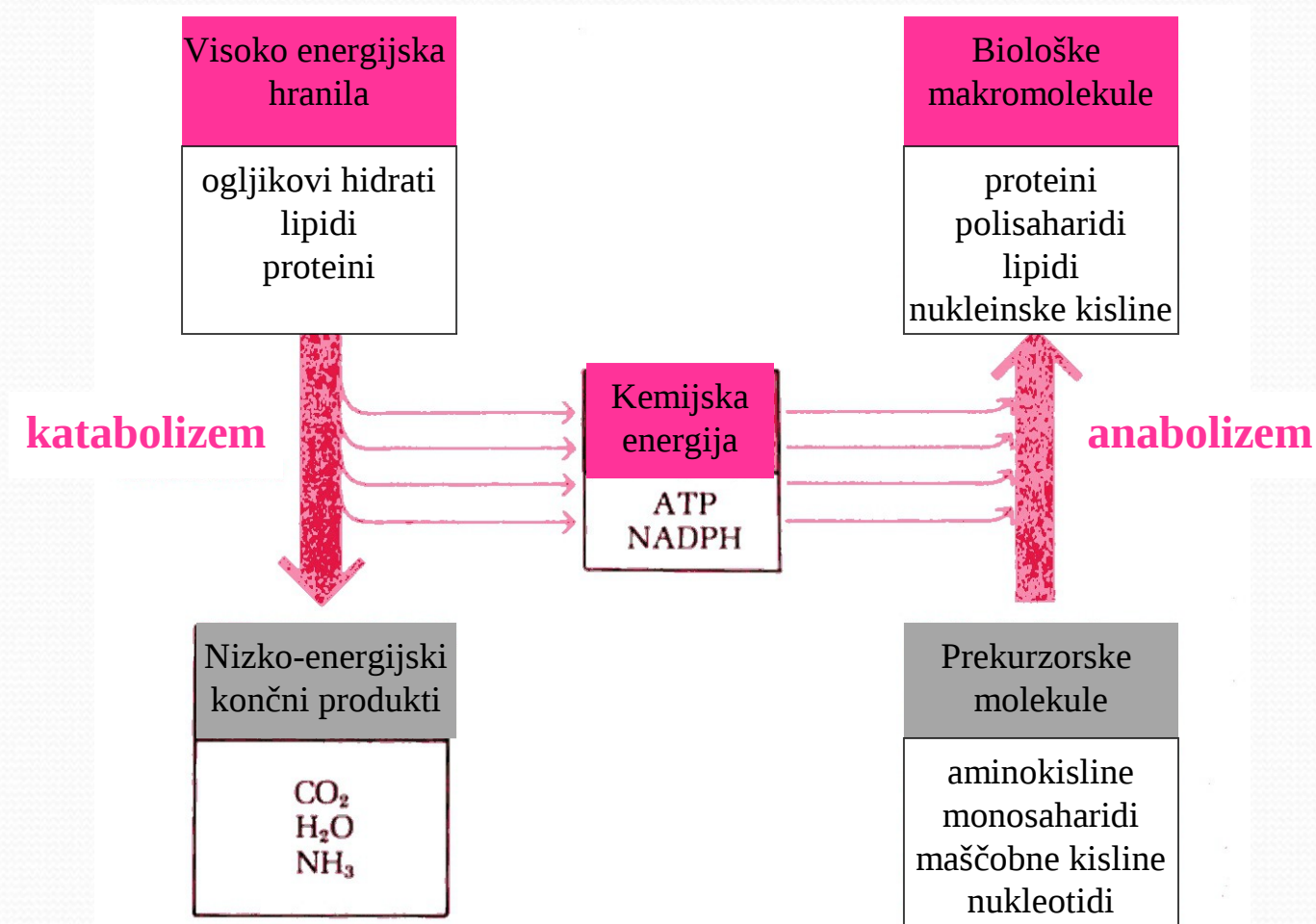
HETEROTROFI

energijo dobijo pri razgradnji kompleksnih organskih spojin

svetlobna energija
(le fotosintetski organizmi)



Metabolizem heterotrofov



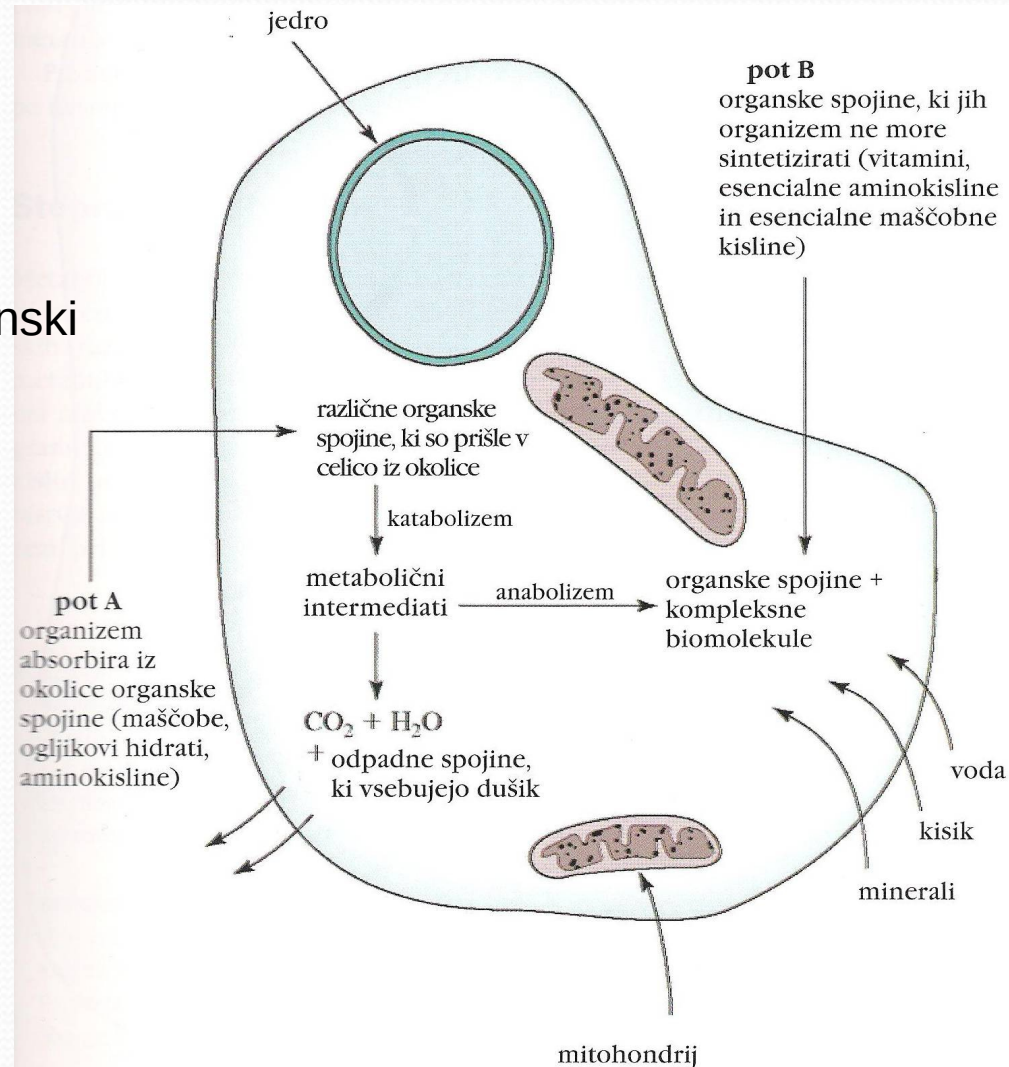
Metabolizem heterotrofov

KATABOLIZEM

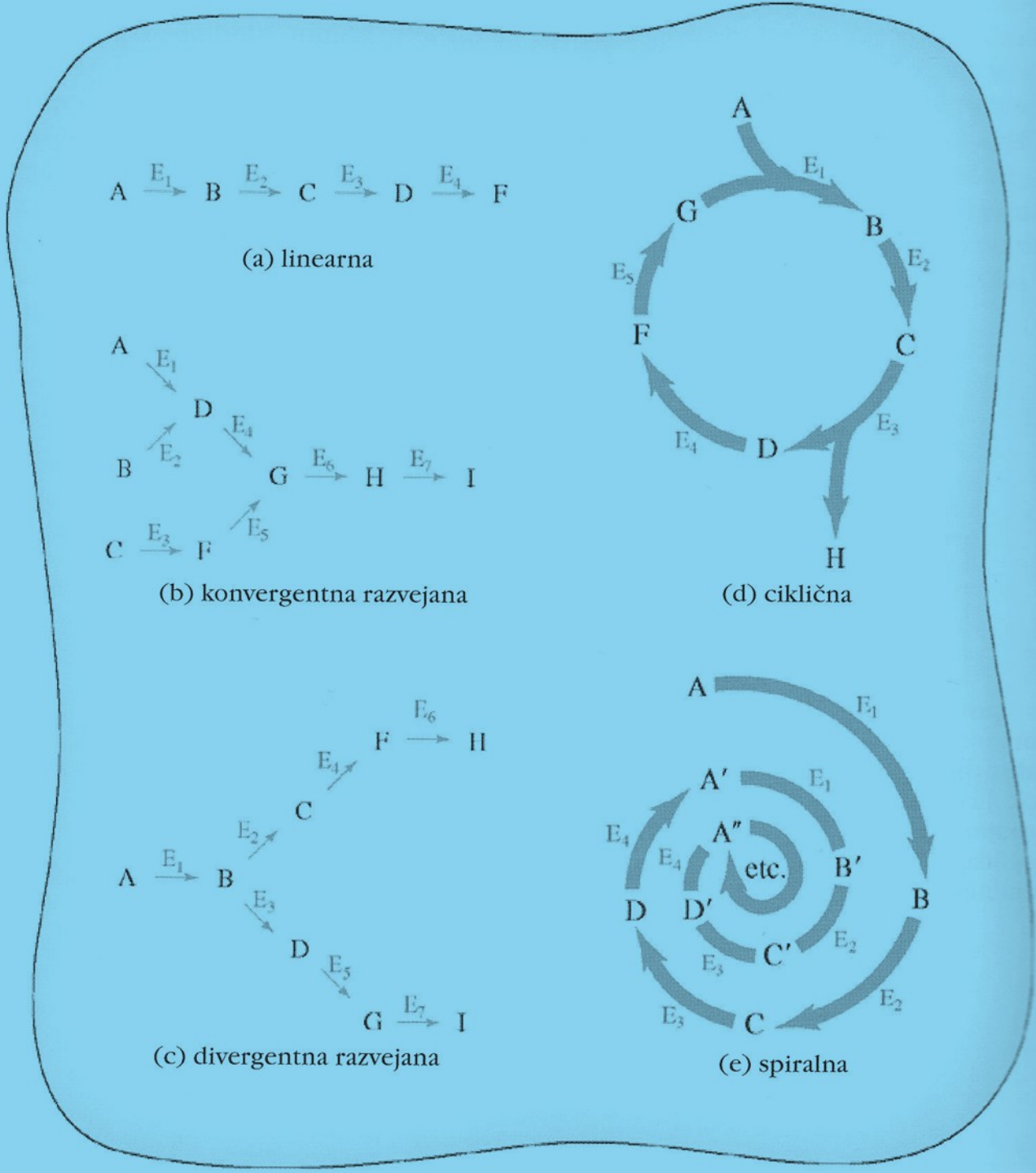
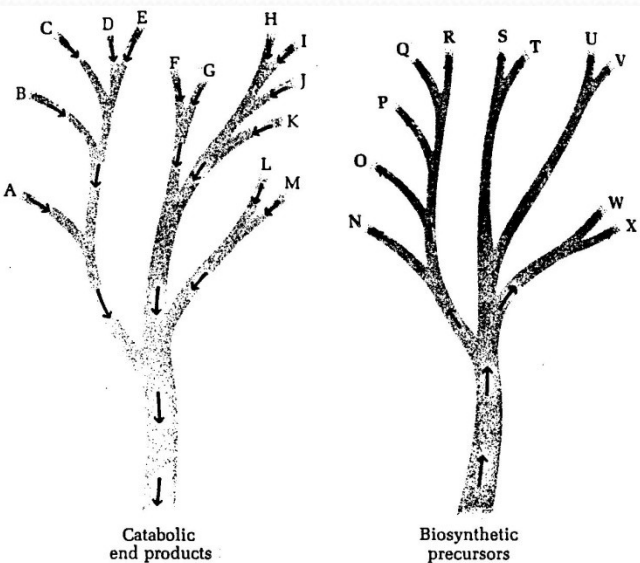
- razgradnja bioloških molekul
- kemijski proces – kot celota oksidacija
- nastajajo reducirani koencimi (NADH, NADPH, FADH₂)
- sproščanje kemijske energije (eksergonski proces), nastanek ATP iz ADP
- konvergentne poti

ANABOLIZEM

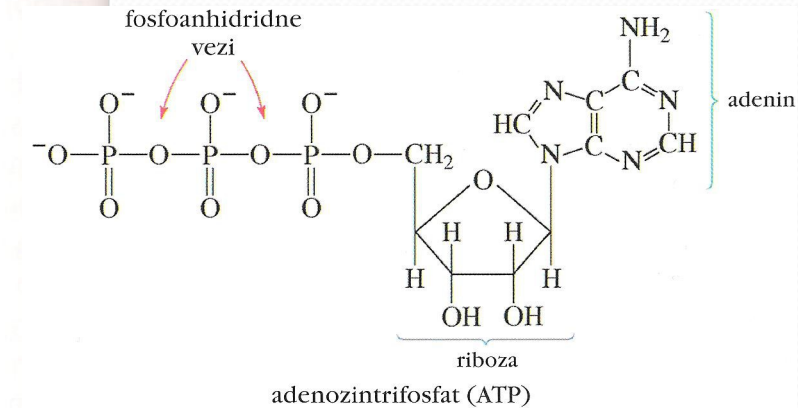
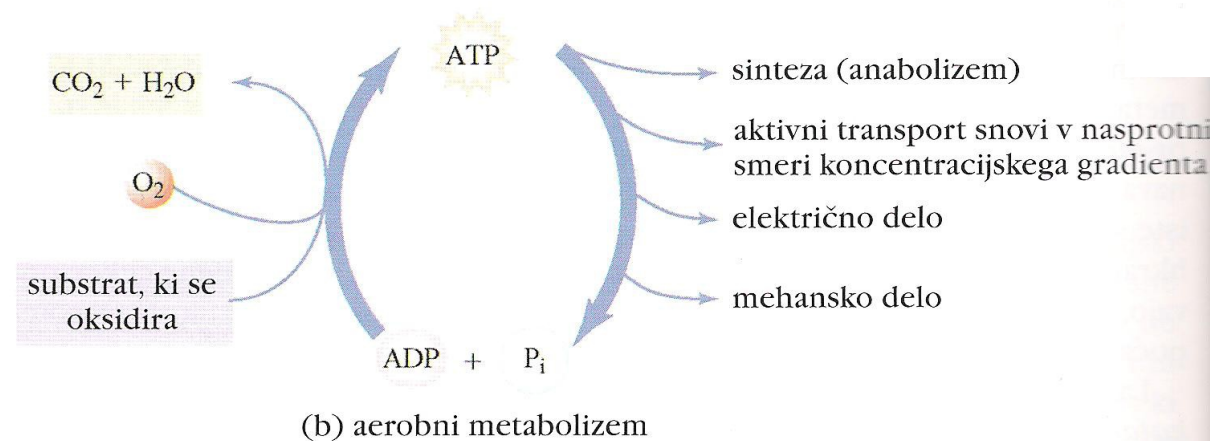
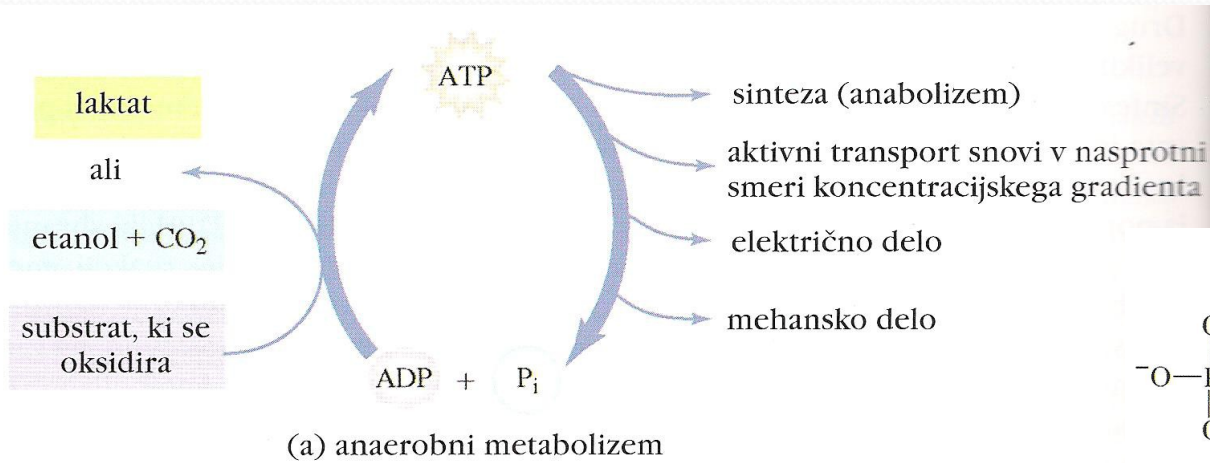
- sinteza bioloških molekul
- kemijski proces – kot celota redukcija
- nastajajo oksidirani koencimi (NAD⁺, NADP⁺, FAD)
- poraba kemijske energije (endergonski proces), poraba ATP
- divergentne poti



Oblike metaboličnih poti



Energijski ciklus ATP



Bioenergetika – del termodinamike

- termodinamsko: katabolizem vir energije za anabolizem
- sprememba proste entalpije ΔG :
- merilo za energijo, ki je na voljo za opravljanje dela
- merilo spontanosti reakcije
- merilo, kako daleč od ravnotežja je reakcijski sistem:

$$\Delta G = \Delta G^{0'} + R \cdot T \cdot \ln \frac{[C][D]}{[A][B]}, \quad \text{v ravnotežju } \Delta G = 0 \Rightarrow \Delta G^{0'} = -R \cdot T \cdot \ln \frac{[C]_{\text{eq}}[D]_{\text{eq}}}{[A]_{\text{eq}}[B]_{\text{eq}}}$$

- $\Delta G^{0'}$: standardna sprememba proste entalpije (pri 25 °C, 10⁵ Pa, 1 M začetna koncentracija vseh reaktantov)
- ΔG° : standardna sprememba proste entalpije pri bioloških pogojih (kot $\Delta G^{0'} + \text{pH } 7$)

Sprememba proste entalpije

vrednost in predznak ΔG°

termodinamični pomen

$\Delta G^\circ = 0$

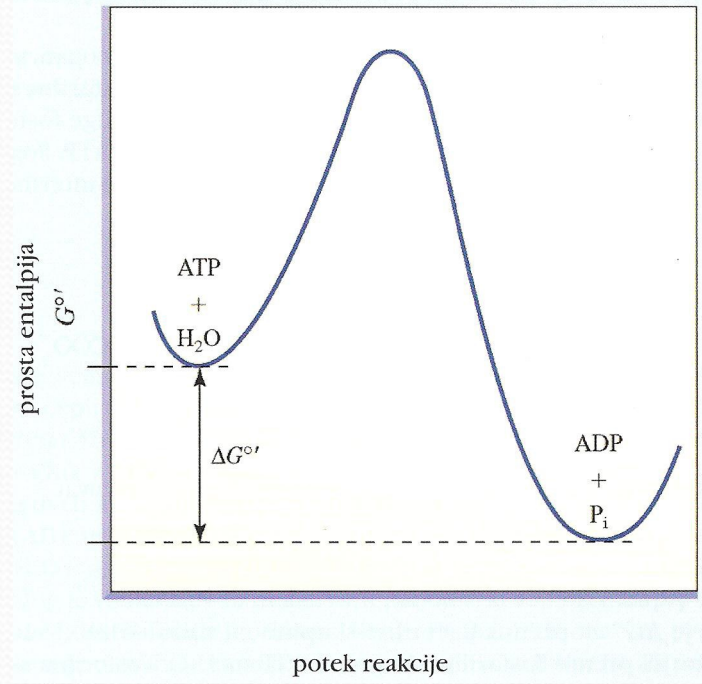
Reaktanti in produkti so na istem energijskem nivoju. Reakcija je v ravnotežju v bioloških standardnih razmerah. Energija se niti ne sprošča niti ne porablja.

$\Delta G^\circ < 0$ (negativne vrednosti)

Ko se reakcija približuje ravnotežju, se energija sprošča. Reaktanti so na višji energijski ravni kot produkti. Koristna energija (prosta entalpija) se sprosti in je na razpolago za opravljanje dela.

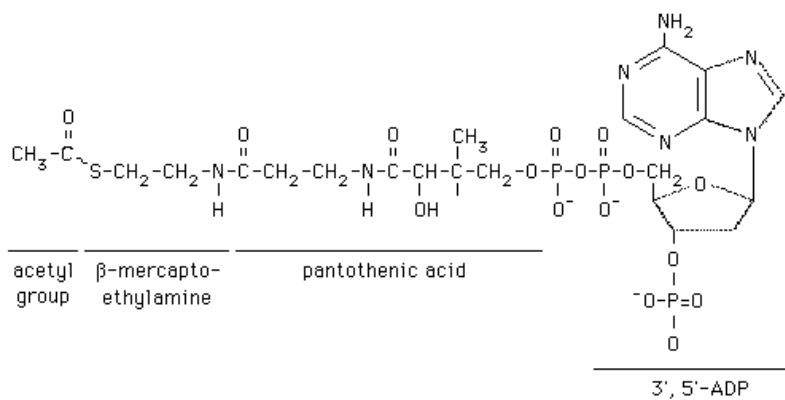
$\Delta G^\circ > 0$ (pozitivne vrednosti)

Reaktanti so na nižji energijski ravni kot produkti. Da bi lahko reakcija tekla proti produktom, potrebuje energijo.

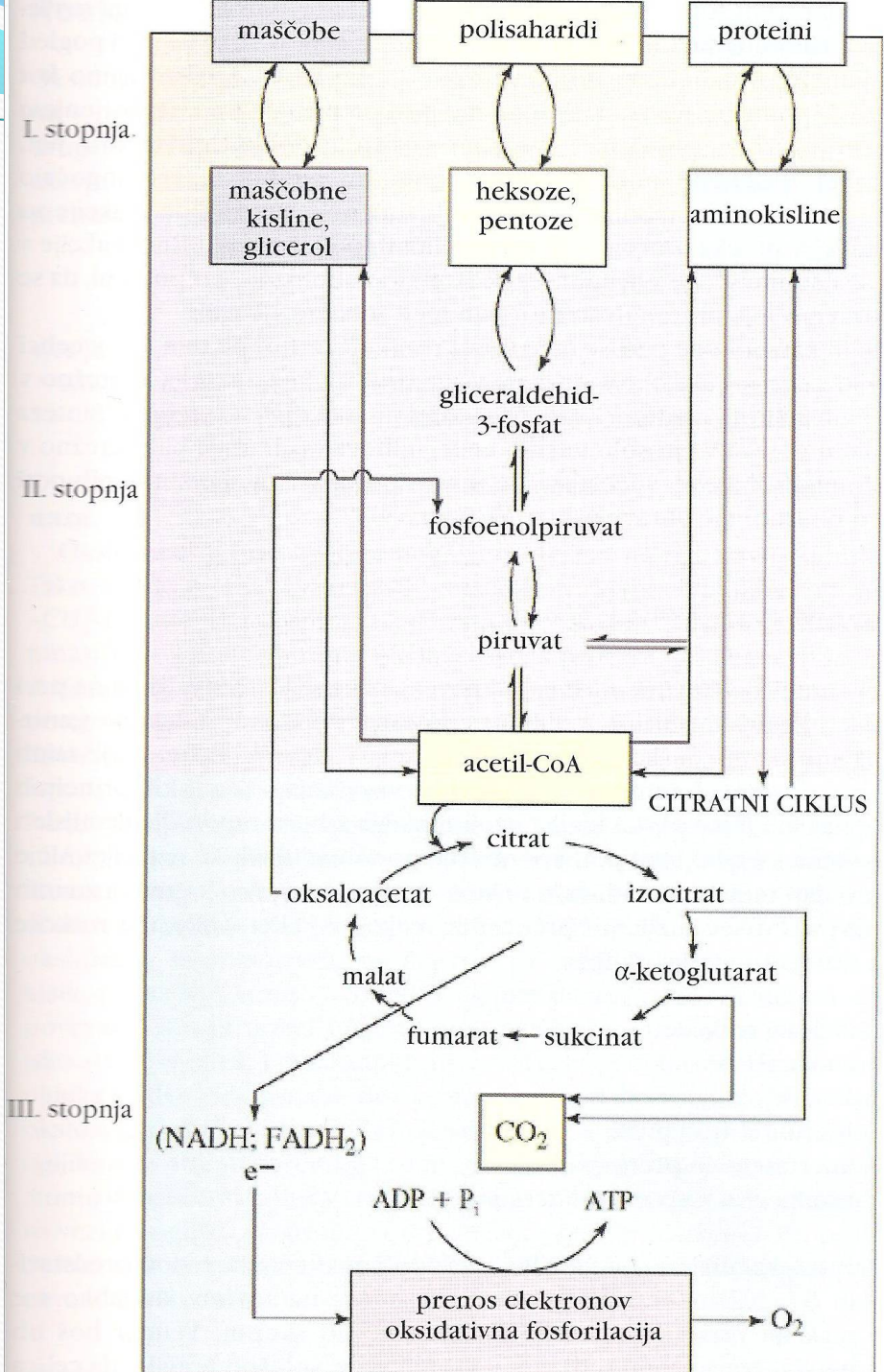


Reaction type	ΔG°	
	(kJ/mol)	(kcal/mol)
Hydrolysis reactions		
Acid anhydrides		
Acetic anhydride + H ₂ O → 2 acetate	-91.1	-21.8
ATP + H ₂ O → ADP + P _i	-30.5	-7.3
ATP + H ₂ O → AMP + PP _i	-45.6	-10.9
PP _i + H ₂ O → 2P _i	-19.2	-4.6
UDP-glucose + H ₂ O → UMP + glucose 1-phosphate	-43.0	-10.3
Esters		
Ethyl acetate + H ₂ O → ethanol + acetate	-19.6	-4.7
Glucose 6-phosphate + H ₂ O → glucose + P _i	-13.8	-3.3
Amides and peptides		
Glutamine + H ₂ O → glutamate + NH ₄ ⁺	-14.2	-3.4
Glycylglycine + H ₂ O → 2 glycine	-9.2	-2.2
Glycosides		
Maltose + H ₂ O → 2 glucose	-15.5	-3.7
Lactose + H ₂ O → glucose + galactose	-15.9	-3.8
Rearrangements		
Glucose 1-phosphate → glucose 6-phosphate	-7.3	-1.7
Fructose 6-phosphate → glucose 6-phosphate	-1.7	-0.4
Elimination of water		
Malate → fumarate + H ₂ O	3.1	0.8
Oxidations with molecular oxygen		
Glucose + 6O ₂ → 6CO ₂ + 6H ₂ O	-2,840	-686
Palmitate + 23O ₂ → 16CO ₂ + 16H ₂ O	-9,770	-2,338

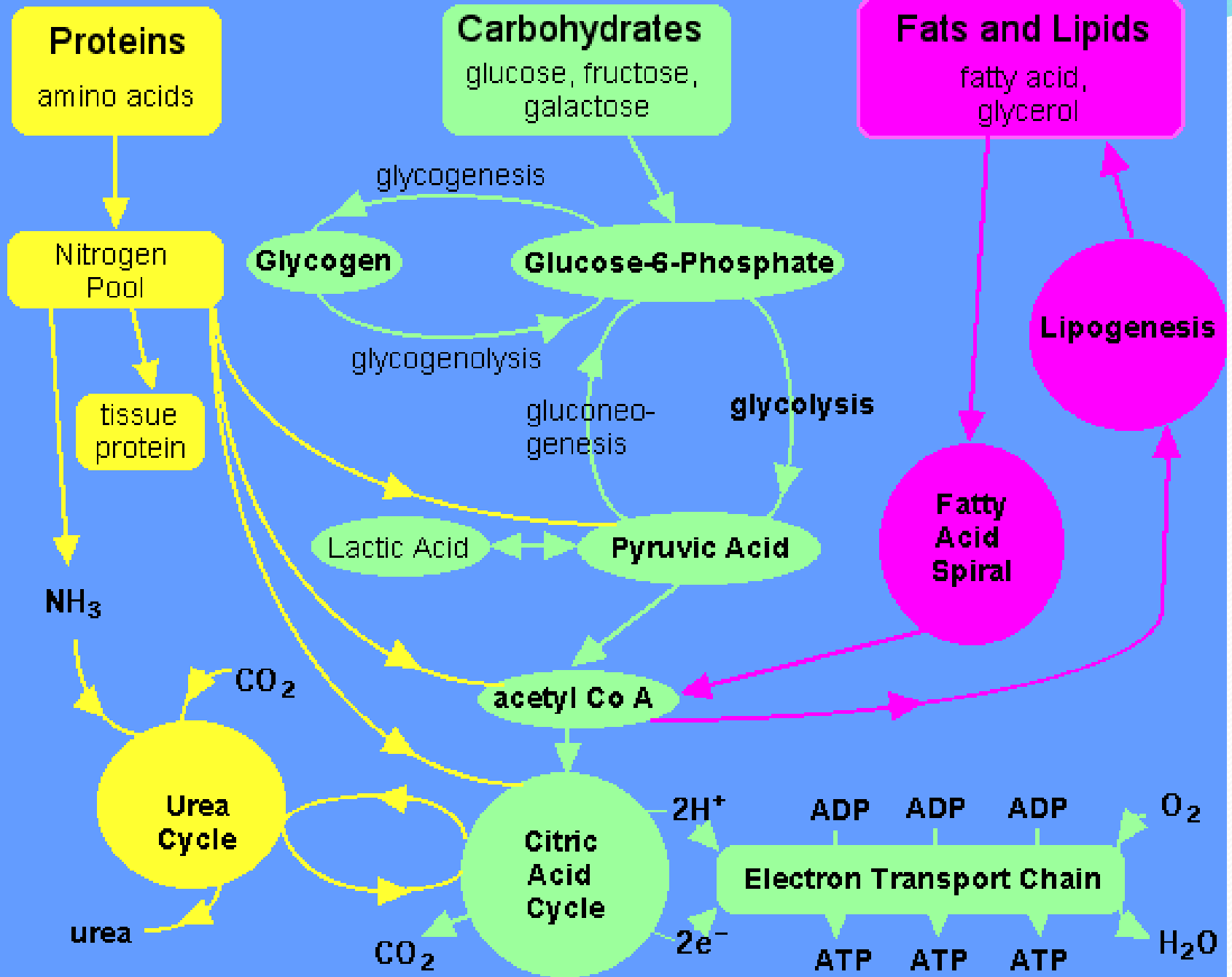
Stopnje katabolizma in anabolizma



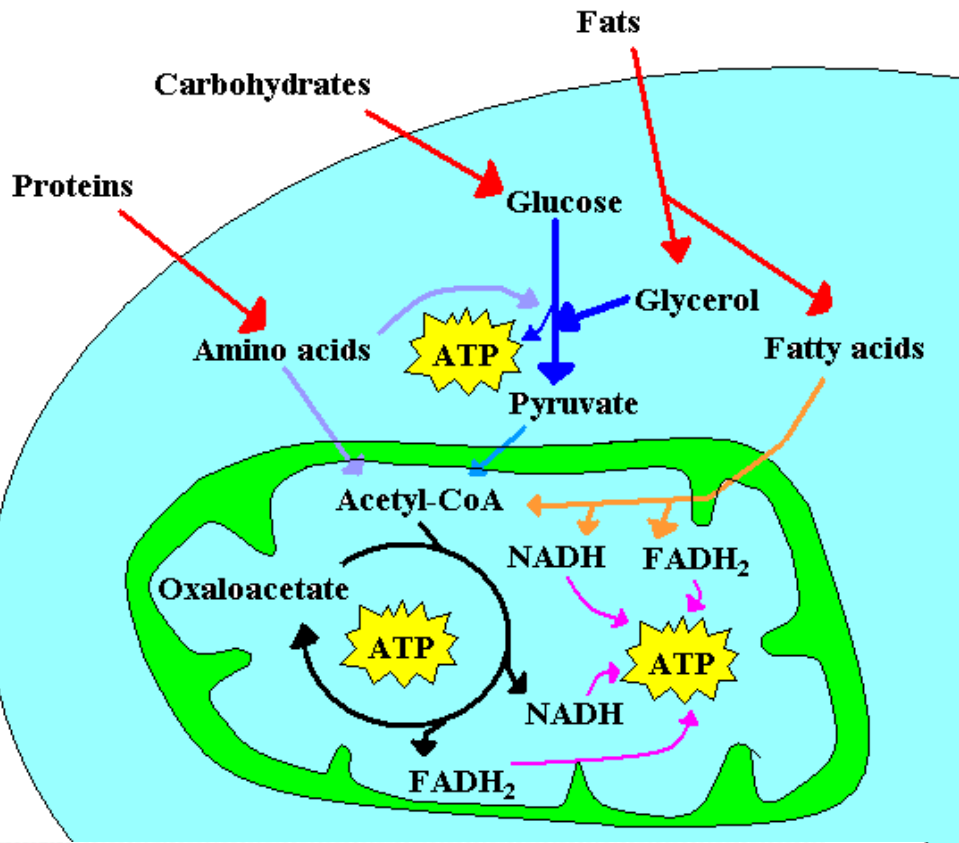
Acetyl coenzyme A, showing its constituents



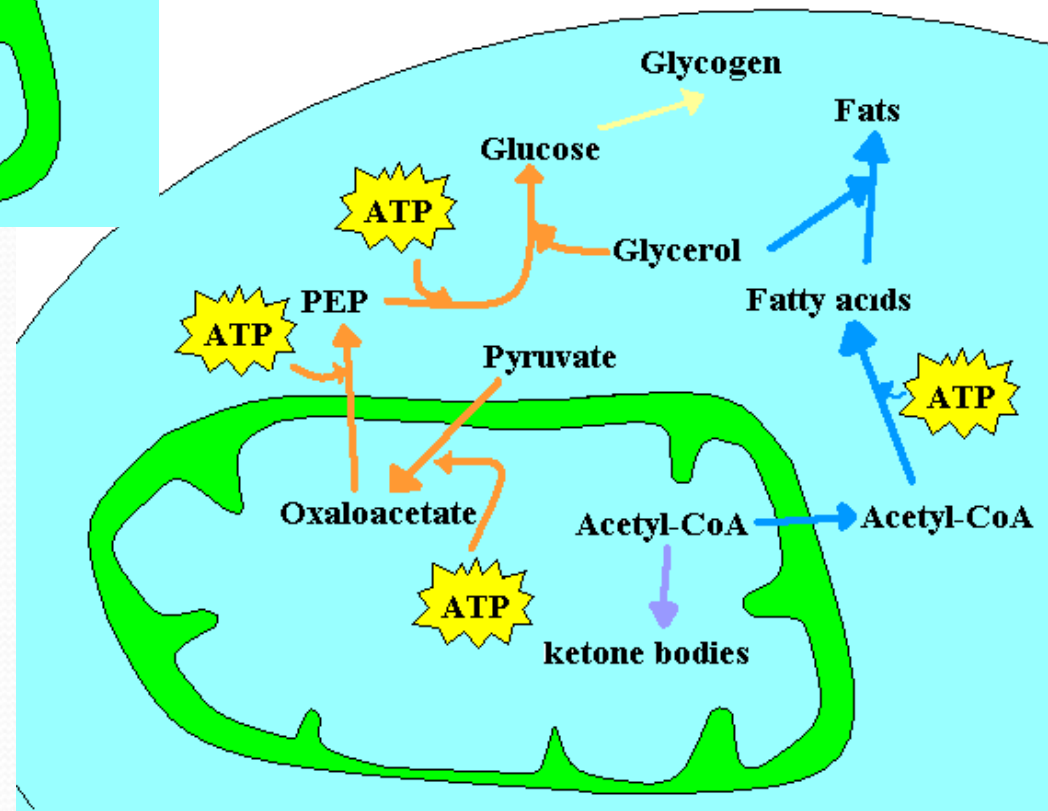
Metabolism Summary



Delni prikaz metabolizma



katabolizem



anabolizem

Kemizem metabolizma

- Oksidoredukcijske reakcije
- Reakcije prenosa skupin
- Reakcije hidrolize
- Reakcije nehidrolitične cepitve
- Reakcije izomerizacije in prerazporeditve
- Reakcije nastanka vezi z uporabo energije ATP

Reakcije oksidoredukcije


- Redoks reakcije – najpogostejše v metabolizmu
- Prenos elektronov z enega atoma ali molekule na drugega
- Velikokrat tako, da se prenašajo vodikovi atomi:



- 2 reaktanta:
 - donor elektronov (redukcijsko sredstvo ali reducent)
 - akceptor elektronov (oksidacijsko sredstvo ali oksidant)
- Encimi: oksidoreduktaze oz. natančneje dehidrogenaze

Reakcije oksidoredukcije

Relativna oksidacijska stanja ogljika v funkcionalnih skupinah

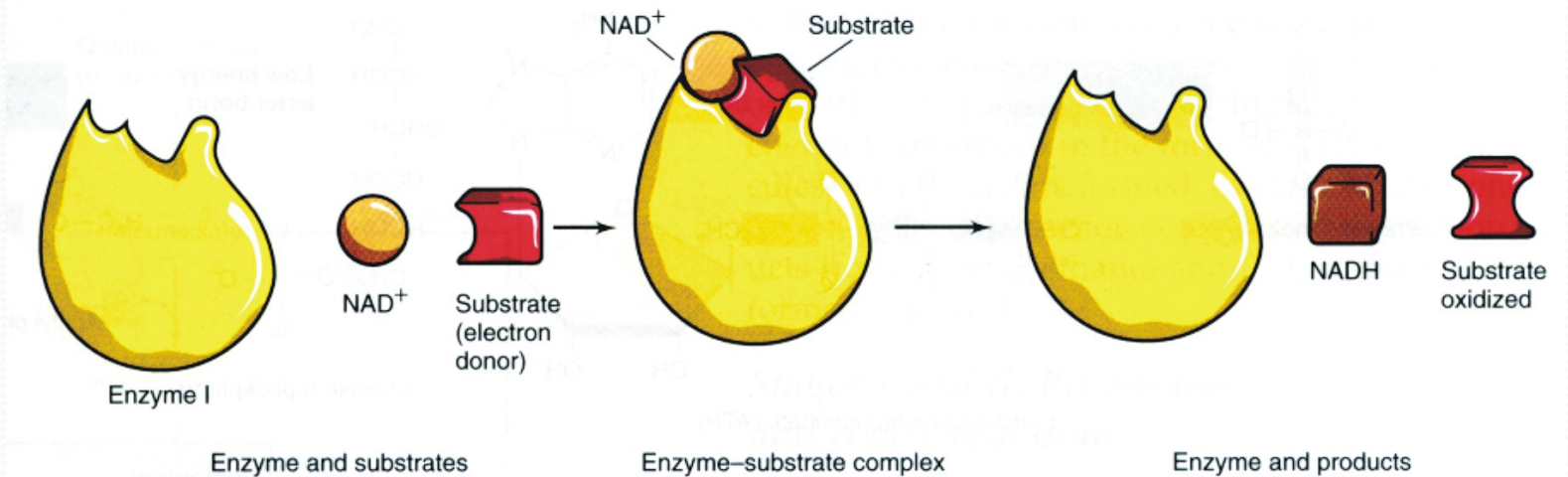
funkcionalna skupina ^{a,b}	ime	geometrija ogljikovega atoma	relativno oksidacijsko stanje
CH_4	metan	tetraedrična	 <p>najnižje</p> <p>najvišje</p>
CH_3-	metilna skupina	tetraedrična	
$-\text{CH}_2-$	metilenska skupina	tetraedrična	
$\text{RHC}=\text{CHR}'$	alken	planarna	
RCHR OH	alkohol	tetraedrična	
RCH O	aldehid	planarna	
RCR' O	keton	planarna	
RCX O	karboksilna kislina ali derivati	planarna	
$\text{O}=\text{C}=\text{O}$	ogljikov dioksid	planarna	

^aOgljikov atom, ki se oksidira, je označen z rdečo.
^bR, R' = alkilna ali arilna skupina, X = -OH (kislina), -OR (ester) ali -NH₂ (amid).

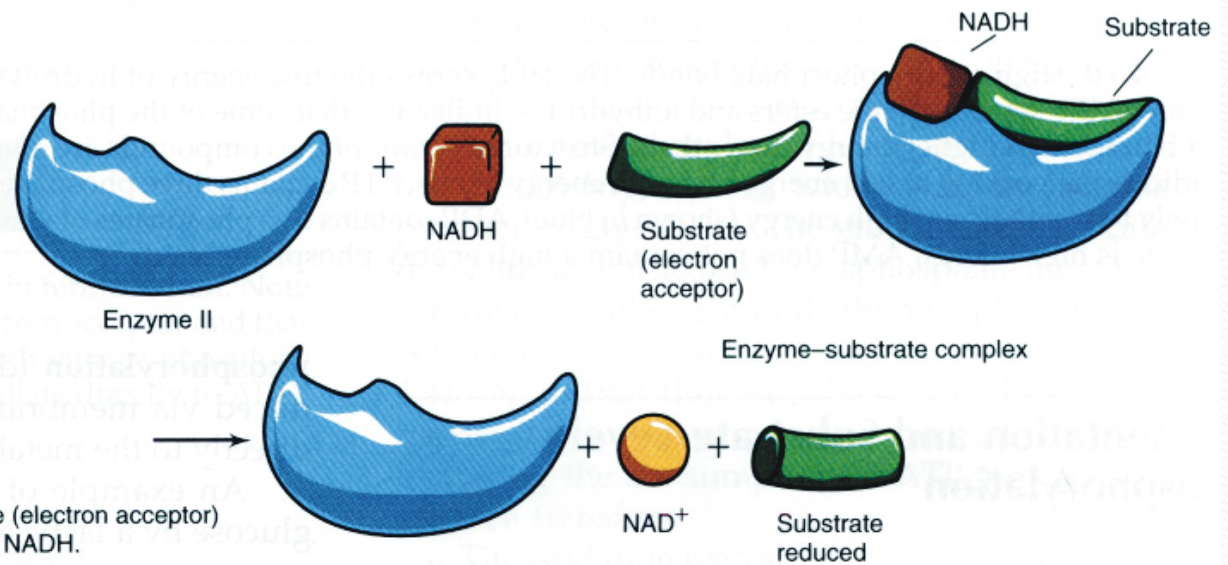
oksidacija: oddajanje e⁻

redukcija: sprejemanje e⁻

Reakcije oksidoredukcije



Enzyme I reacts with substrate (electron donor) and oxidized form of coenzyme, NAD^+ .



Enzyme II reacts with substrate (electron acceptor) and reduced form of coenzyme, NADH.

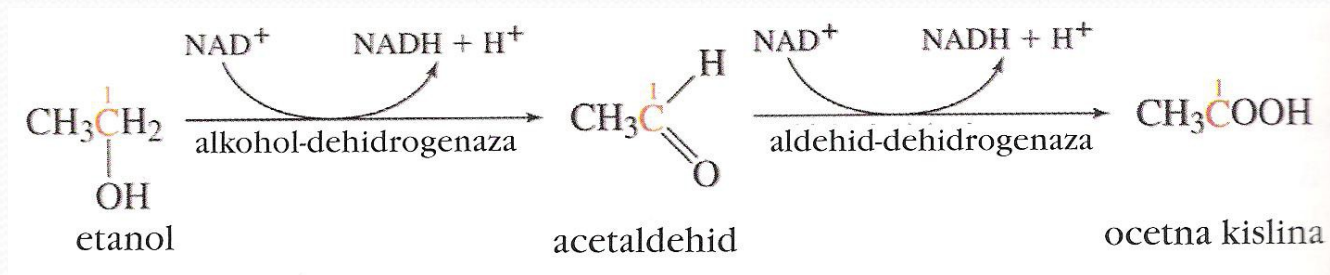
Nosilci elektronov

Koencimski redoks pari:

NAD⁺/NADH

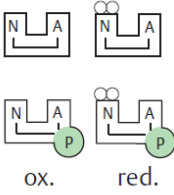
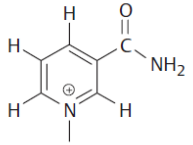
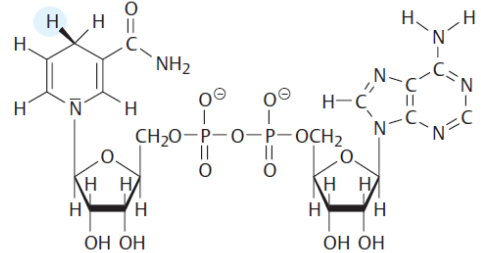
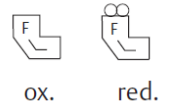
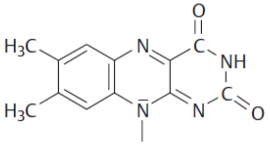
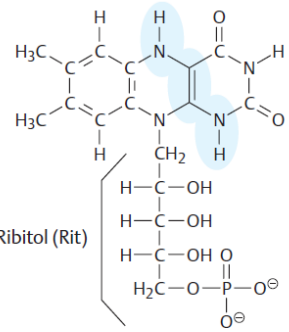
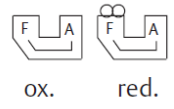
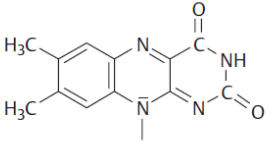
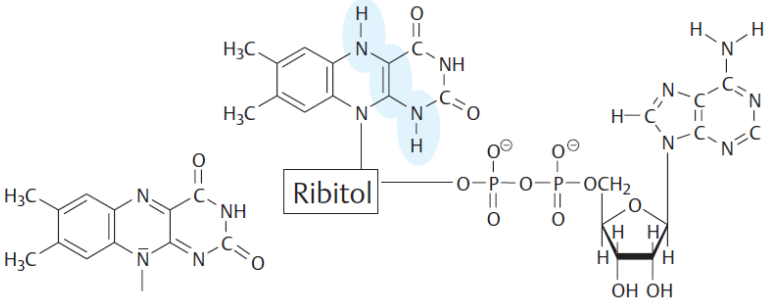
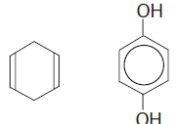
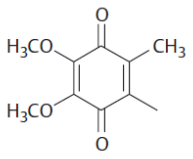
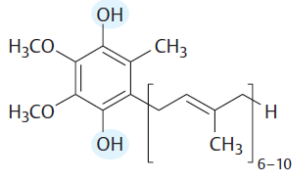
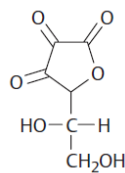
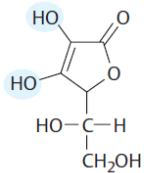
NADP⁺/NADPH

FAD/FADH₂

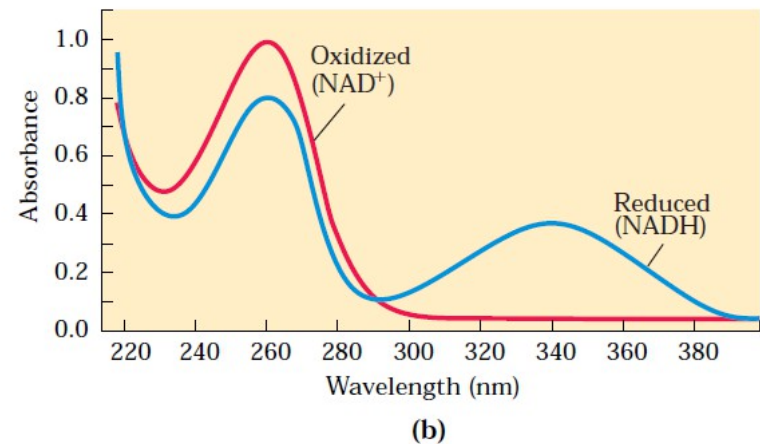
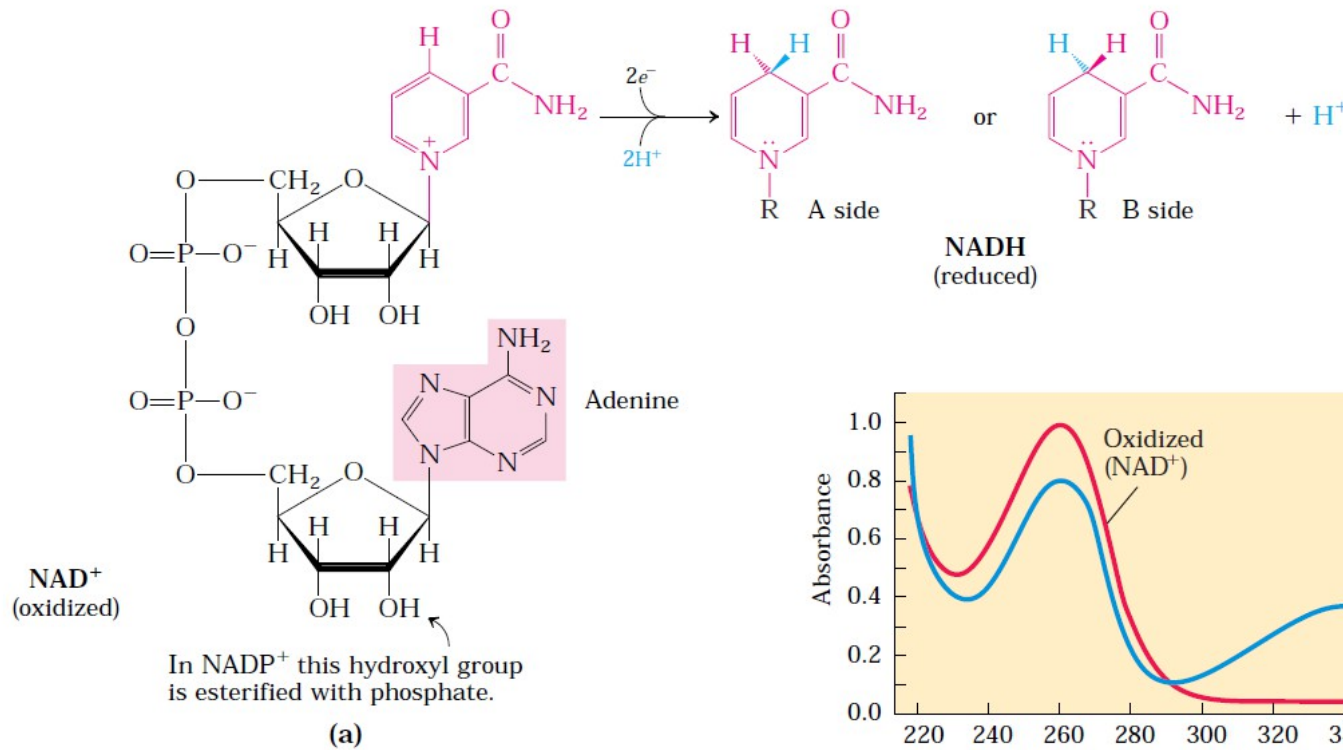


primer: katabolizem etanola, ki ga katalizirata 2 dehidrogenazi;
koencim NAD⁺ je v obeh reakcijah oksidant (akceptor e⁻)

Koencimi

Coenzyme	Oxidized form	Reduced form	Type	Transferred	E° (V)
1. NAD(P)⁺  ox. red.			L	H ⁺	-0.32
2. Flavin mononucleotide (FMN)  ox. red.		 Ribitol (Rit)	P	2[H]	-0.3 to +0.2
3. Flavin adenine dinucleotide (FAD)  ox. red.			P	2[H]	-0.3 to +0.2
4. Ubiquinone (coenzyme Q) 			L	2[H]	-0 to +0.2
5. Ascorbic acid			L	2[H]	+0.1

Prenos elektronov: NAD⁺ in NADH



nikotinamidadenindinukleotid

Regulacija metabolnih poti

- alosterični encimi (regulirani z nekovalentno modifikacijo)
 - spreminjajo aktivnost ob stimulatornih ali inhibitornih efektorskih molekulah (npr. končni produkt)
- regulacija koncentracije encimov
 - Indukcija glede na potrebe
- hormonska regulacija (višji organizmi)

Regulacija metabolizma

