

## ENZYMY

= látky, které ..... biologické reakce

1. Vedou reakci reakčním mechanismem, který má nižší ..... energii
2. Reakce katalyzované enzymy probíhají za mírnějších podmínek + dobrý výtěžek + rychlost
3. Enzymy jsou specifické – katalyzují reakce pouze jedné látky nebo velmi omezené skupiny látek

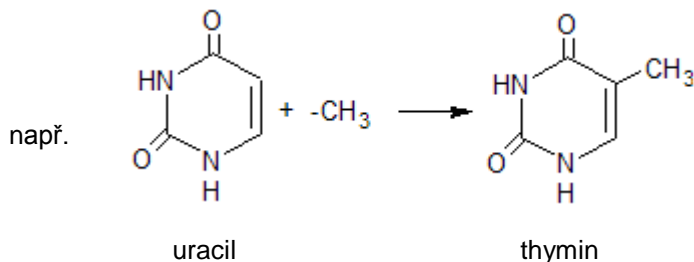
SUBSTRÁT = látka, které enzym umožňuje reagovat.

### Klasifikace enzymů:

- **Oxidoreduktázy** – nejběžnější enzymy, katalyzují reakce, které souvisejí s přenosem ..... , vodíku nebo s přenosem .....

např. ethanol + NAD<sup>+</sup> → acetaldehyd + NADH + H<sup>+</sup> je katalyzována alkoholdehydrogenázou

- **Transferázy** – přenášejí funkční skupiny (-CH<sub>3</sub>, -NH<sub>2</sub>, P<sub>i</sub>(fosfátový ion)),



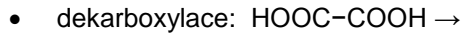
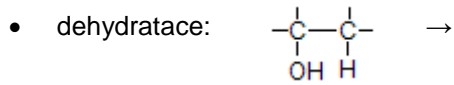
- **Hydrolázy** – katalyzují hydrolytické štěpení, např.:

- C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub> + H<sub>2</sub>O → C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> + C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> je katalyzována .....  
sacharóza ..... .....

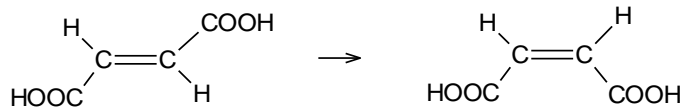
- škrob + H<sub>2</sub>O → maltóza je katalyzována .....

- proteiny + H<sub>2</sub>O → aminokyseliny, peptidy je katalyzována .....,  
např.....

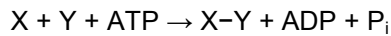
- **Lyázy** – katalyzují nehydrolytické štěpení, eliminace, vedoucí ke vzniku dvojně vazby.



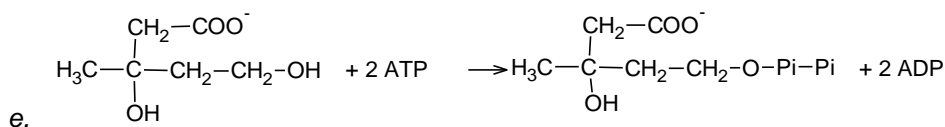
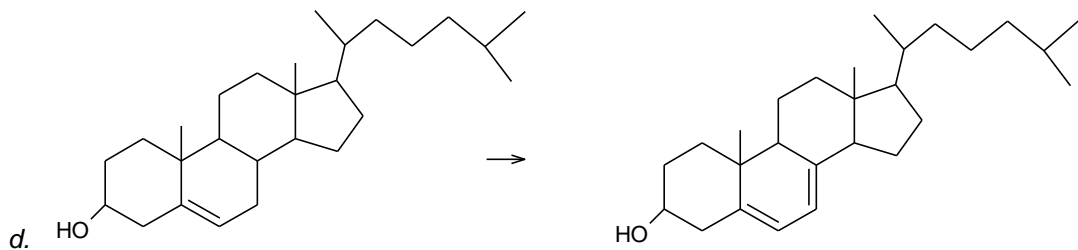
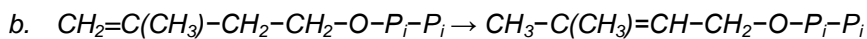
- Isomerázy** – katalyzují vnitromolekulární přeměny



- Ligázy** – katalyzují syntézu jednoduchých molekul na složitější za spotřeby ATP



1. Které typy enzymů katalyzují následující reakce?



## Struktura enzymů

Enzymy = zpravidla bílkoviny

Některé enzymy (HOLOENZYMY) se skládají z bílkovinné části (APOENZYMU) a nebílkovinné části (KOFAKTORU)

HOLOENZYM (katalyticky aktivní komplex) = APOENZYM + KOFAKTOR

Kofaktory:

- Ionty kovů v metaloenzimech
  - Složky aktivního místa enzymu

- Umožňují navázání substrátu
  - Stabilizují strukturu enzymu
- Organická molekula:  
KOENZYM = přenáší funkční skupiny, atomy nebo elektrony v katalyzovaných reakcích, vázán na enzym slabými silami  
PROSTETICKÁ SKUPINA = je pevně poutána na enzym

Některé koenzymy:

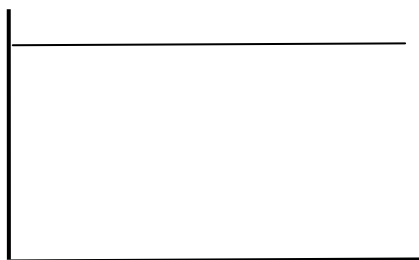
- NAD<sup>+</sup> (nikotinamidadeninukleotid) – odvozen od nikotinové kyseliny (vitamín PP)
- NADP<sup>+</sup> (nikotinamidadeninukleotidfosfát)
- FAD (flavinadeninukleotid) – odvozen od riboflavinu (vitamín B<sub>2</sub>)
- Koenzym A – odvozen od panthotenové kyseliny (vitamín B<sub>5</sub>)

### Enzymová kinetika

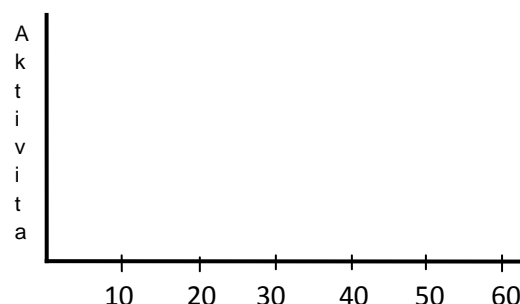
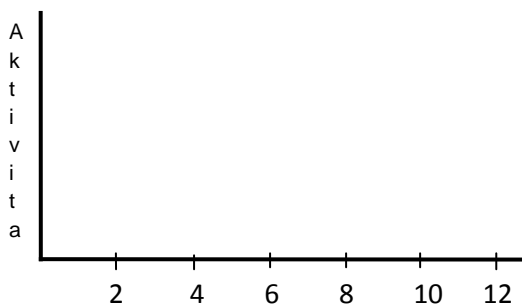


Rychlost reakce závisí na koncentraci substrátu.

Při určité koncentraci substrátu je enzym nasycen substrátem a rychlost reakce už nemůže být zvýšená přidáním dalšího substrátu. Reakce dosáhne maximální rychlosti.

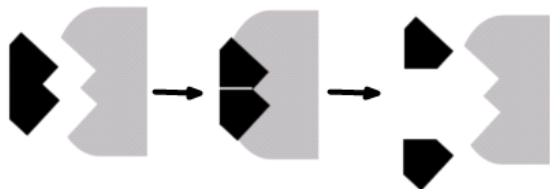


Koncentrace substrátu, při které reakce probíhá polovinou maximální rychlosti, je dána Michaelisovou konstantou (pro enzym). Závisí na struktuře substrátu, teplotě a pH.



## Mechanismus fungování enzymů

Teorie zámku a klíče (lock and key theory): enzym obsahuje AKTIVNÍ CENTRUM = VAZEBNÉ CENTRUM + KATALYTICKÉ CENTRUM.



### 2. Jaké druhy sil mohou působit mezi substrátem a vazebným centrem enzymu?

Teorie indukovaného přizpůsobení (induced fit theory)

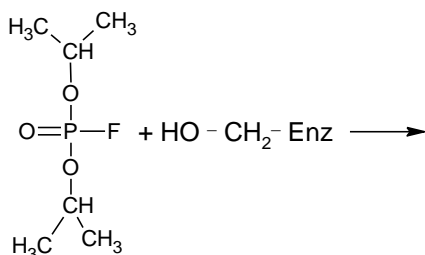
Specifičnost enzymatické reakce je založena na FLEXIBILNÍ ODPOVĚDI aktivního centra na substrát.

[http://www.teachertube.com/viewVideo.php?video\\_id=134992](http://www.teachertube.com/viewVideo.php?video_id=134992)

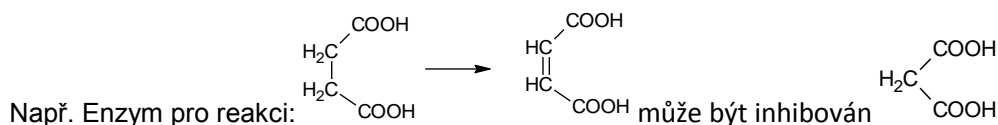
## Inhibice enzymů

INHIBITOR = látka snižující katalytickou aktivitu enzymu

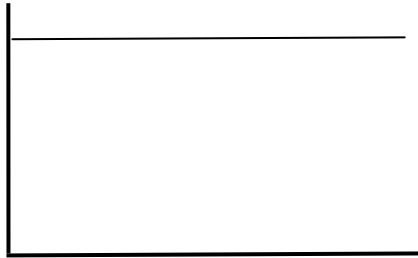
- IRREVERZIBILNÍ: inhibitor se váže nevratně na enzym kovalentní vazbou. Funkční skupiny enzymu jsou změněny a enzym ztrácí katalytickou funkci.



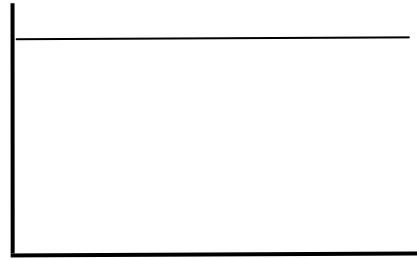
- REVERZIBILNÍ: inhibitor se váže vratně na enzym slabými interakcemi
  - Kompetitivní: inhibitor se spojuje s aktivním centrem enzymu a soutěží o něj se substrátem



- Nekompetitivní: inhibitor se většinou neváže na aktivní centrum enzymu, váže se na jinou část molekuly enzymu



kompetitivní inhibice



nekompetitivní inhibice

<http://www.youtube.com/watch?v=PILzvT3spCQ&feature=related>

**zpětná vazba:** konečný produkt několika následných enzymově katalyzovaných reakcí je inhibitorem první z těchto reakcí. Tímto mechanismem je udržena stálá koncentrace vznikajících látek.

$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$  ... D je inhibitorem  $E_1$

<http://www.youtube.com/watch?v=rHDP4wJ1U0w&NR=1>

## Enzymy a biotechnologie

Izolovat enzymy z buněk je finančně nákladné, proto se většinou používají celé buňky.

Proteázy: štěpí .....

Biologické detergenty

Potravinářský průmysl: pekárenství  
výroba piva

Amylázy: štěpí .....

pekárenství

výroba piva

výroba papíru

Fermentace glukózy katalyzována enzymy z:

Kvasinek →

Bakterií →

Plísní →

**BIOCHEMICKÉ PROCESY - METABOLISMUS**

Bioenergetika = zisk, přenos a využití energie v živých organismech

Energie je využívána na:

- Chemické syntézy
- Elektrickou a osmotickou činnost
- Mechanickou práci
- Teplo
- Světlo
- Informační a regulační činnost

Živé systémy konají práci za konstantní teploty a tlaku  $\Rightarrow$  energetické změny mohou být popsány Gibbsovou volnou energií (entalpií).

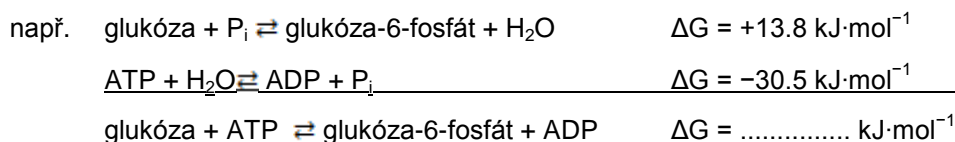
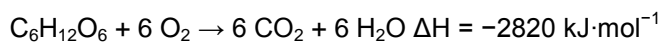
$\Delta G < 0$  ... exergonická reakce – z termodynamického hlediska pravděpodobnější

$\Delta G > 0$  ... ..... reakce – z termodynamického hlediska méně pravděpodobná

KATABOLICKÉ PROCESY: rozklad, energie je uvolňována,  $\Delta G$  .....  $0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

ANABOLICKÉ PROCESY: syntéza, energie je spotřebována,  $\Delta G$  .....  $0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

Reakce v živých organismech neprobíhají odděleně, ale v systémech. Endergonické reakce probíhají současně s exergonickými. Výsledná  $\Delta G < 0$ .

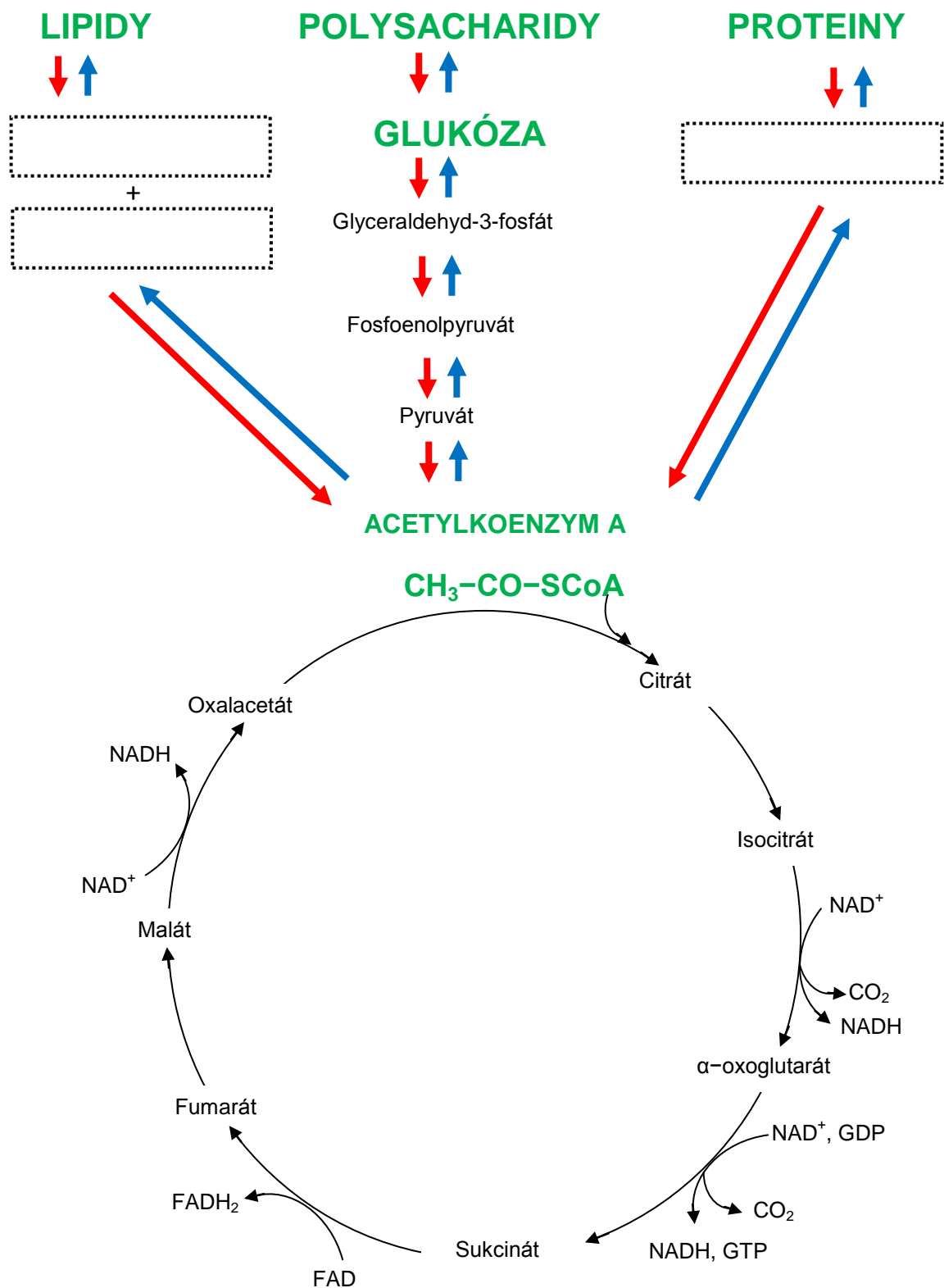
**Metabolismus glukózy:**

V buňkách probíhá v posloupnosti kroků, které můžeme rozdělit na tři části:

- **Glykolýza:** z glukózy na acetyl (vázaný na koenzym A – acetyl-CoA)
- **Citrátový cyklus:** z acetylu na  $\text{CO}_2$  + redukována forma NAD ( $\text{NADH} + \text{H}^+$ ) a FAD ( $\text{FADH}_2$ )
- **Elektronový transportní řetězec (dýchací řetězec):** oxidace vodíků z NAD (FAD) na vodu

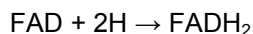
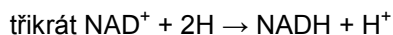
Energie získaná ve všech těchto krocích je ukládána do ATP (GTP):  $\text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{ATP} \quad \Delta H = 32 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

Když je potřeba, je tato energie uvolněna:  $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}_i \quad \Delta H = \dots\dots\dots \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

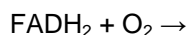
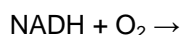


### Elektronový transportní řetězec (dýchací řetězec)

-v každém citrátovém cyklu proběhnou čtyři dehydrogenační kroky:



Vodíkové atomy jsou oxidovány molekulárním kyslíkem na vodu. Tato oxidace probíhá pomocí řady elektronových transferů.



Uvolněná energie je skladována v .....

Většina molekul ATP vytvořených během oxidace glukózy vzniká v dýchacím řetězci.

#### 3. Vytvořte vzorce iontů účastnících se citrátového cyklu:

*fosfoenolpyruvát*

*citrát*

*isocitrát*

*$\alpha$ -glutarát*

*sukcinát*

*fumarát*

*malát*

*oxaloacetát*

Když víte, že:

<i><math>\alpha</math>-glutarová kyselina = 2-oxopentandiová</i>	<i>citrónová kyselina = 2-hydroxypropan-1,2,3-trikarboxylová</i>
<i>fumarová kyselina = trans butandiová</i>	<i>sukcinová kyselina = butandiová kyselina</i>
<i>oxaloacetát = ion kyseliny oxaloctové = oxobutandiové</i>	<i>malát = ion kyseliny jablečné = hydroxybutandiové</i>
	<i>pyruvát = anion kyseliny pyrohroznové = 2-oxopropanové</i>

#### 4. Jaké typy enzymů katalyzují fáze citrátového cyklu:

1

4

2

5

6