

# Metabolismus

- Obecné znaky metabolismu
- Získání a využití energie - bioenergetika
- Buněčné dýchání (glykolysa + CKC + oxidativní fosforylace)
- Biosynthesa sacharidů + fotosynthesa
- Metabolismus lipidů
- Metabolismus dusíkatých látek

# Metabolismus

- soubor všech chemických reakcí a příslušných fyzikálních procesů, které souvisejí s aktivními projevy života daného organismu
- komplex navazujících enzymových reakcí

# Obecné znaky metabolismu + bioenergetika

## BUNĚČNÁ TEORIE

Robert Hook (1667) → "buňka"

1. Buňky tvoří veškerou živou hmotu (*x viry*).
2. Veškeré buňky pocházejí z jiných buněk (*x samoplození*).
3. Informace se předávají z generace na generaci.
4. V buňkách látky podléhají chemickým přeměnám.
5. Buňky reagují na vnější podněty.

Otevřené systémy: tok látek, energie a informací dovnitř a ven

**dynamická rovnováha → ustálený stav**

**Pravá rovnováha → smrt organismu**

# Dělení organismů z hlediska výživy

(trofika, *trofé* = výživa):

zdroj energie: světelné záření → **fototrofy**

chemické reakce (redox) → **chemotrofy**



Přenos vodíku (elektronů) na konečný akceptor

**Lithotrofy**

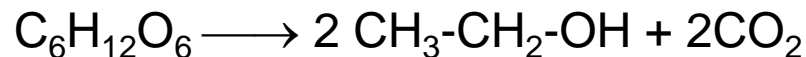
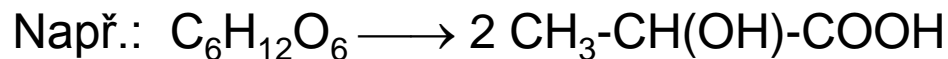
(líthos = kámen)

**organotrofy**

**aerobní**

**anaerobní**

**Fermentace**: „disproporcionace“



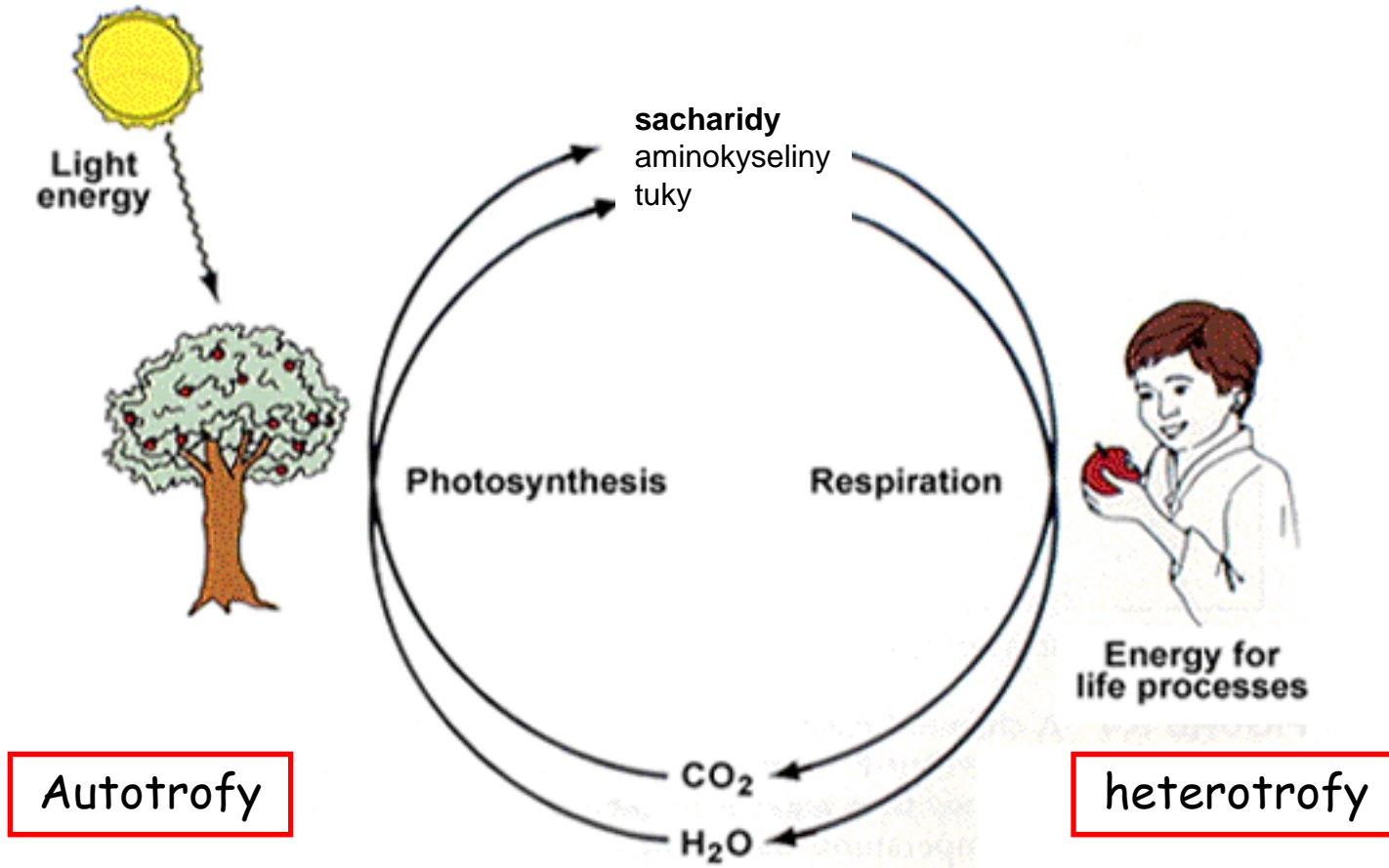
Pokračování.....

Příjem látek (především uhlík): anorganické látky → autotrofy  
organické látky → heterotrofy

# Nejdůležitější metabolické typy

TYP METABOLISMU	ZDROJ UHLÍKU	ZDROJ VODÍKU	OXIDAČNÍ ČINIDLO (akcept. H)	PŘÍKLADY ORGANISMŮ
<b>fotolithotrofní (autotrofní)</b>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	zelené buňky rostlin
<b>fotolithotrofní (heterotrofní)</b>	organické látky	H <sub>2</sub> O	(CO <sub>2</sub> )	někt. fotos. bakterie
<b>fotoorganotrofní (heterotrofní)</b>	organické látky	organické látky	CO <sub>2</sub>	některé řasy a bakterie
<b>chemoorganotrofní aerobní</b>	organické látky	organické látky	O <sub>2</sub>	živočich., aerob. $\mu$ org.
<b>chemoorganotrofní anaerobní respirující</b>	organické látky	organické látky	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	půdní anaerobní mikroorg.
<b>chemoorganotrofní fermentační</b>	organické látky	organické látky	----	kvasinky vinné, mléčné; škrkavky
<b>chemolithotrofní</b>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S, CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> (téměř vždy)	bakterie sírné, nitrifikační

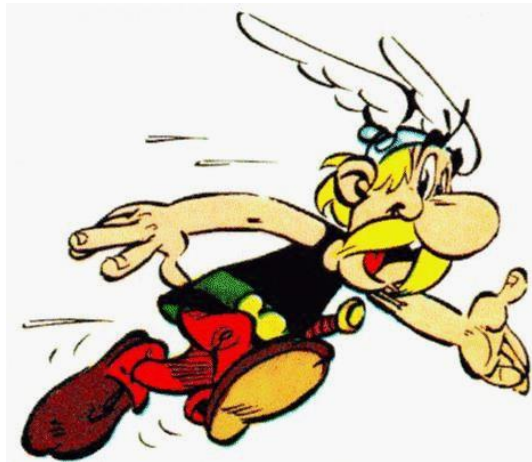
# Základní koncept přeměny látek a energie



# Metabolické děje

katabolické

**Zisk energie**



anabolické

**Synthesa látek**

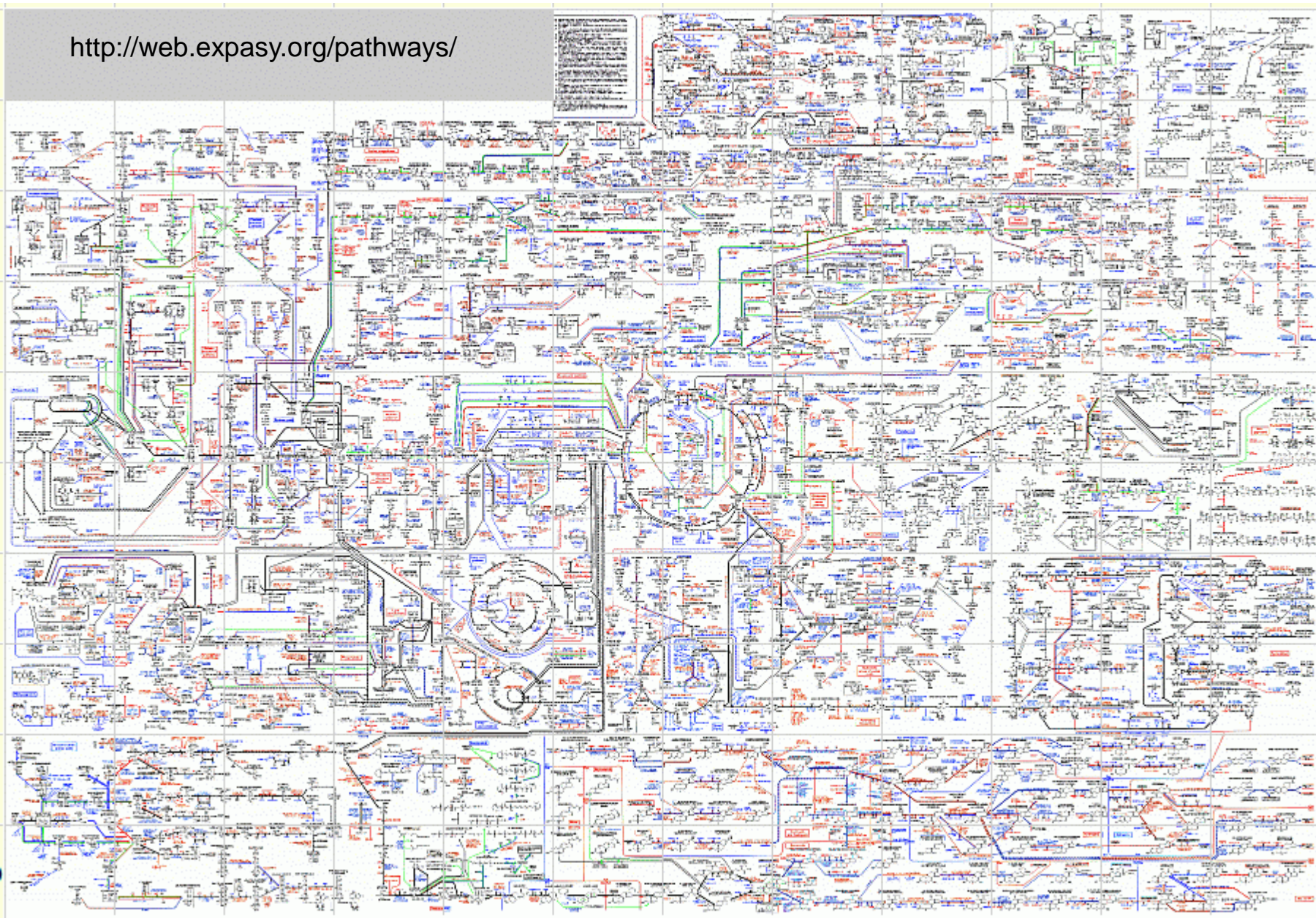


Vzájemná koordinace a regulace

+ děje amfibolické a anaplerotické

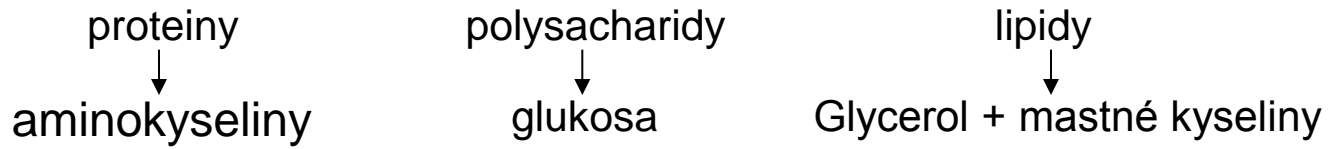
# Hlavní metabolické dráhy

<http://web.expasy.org/pathways/>

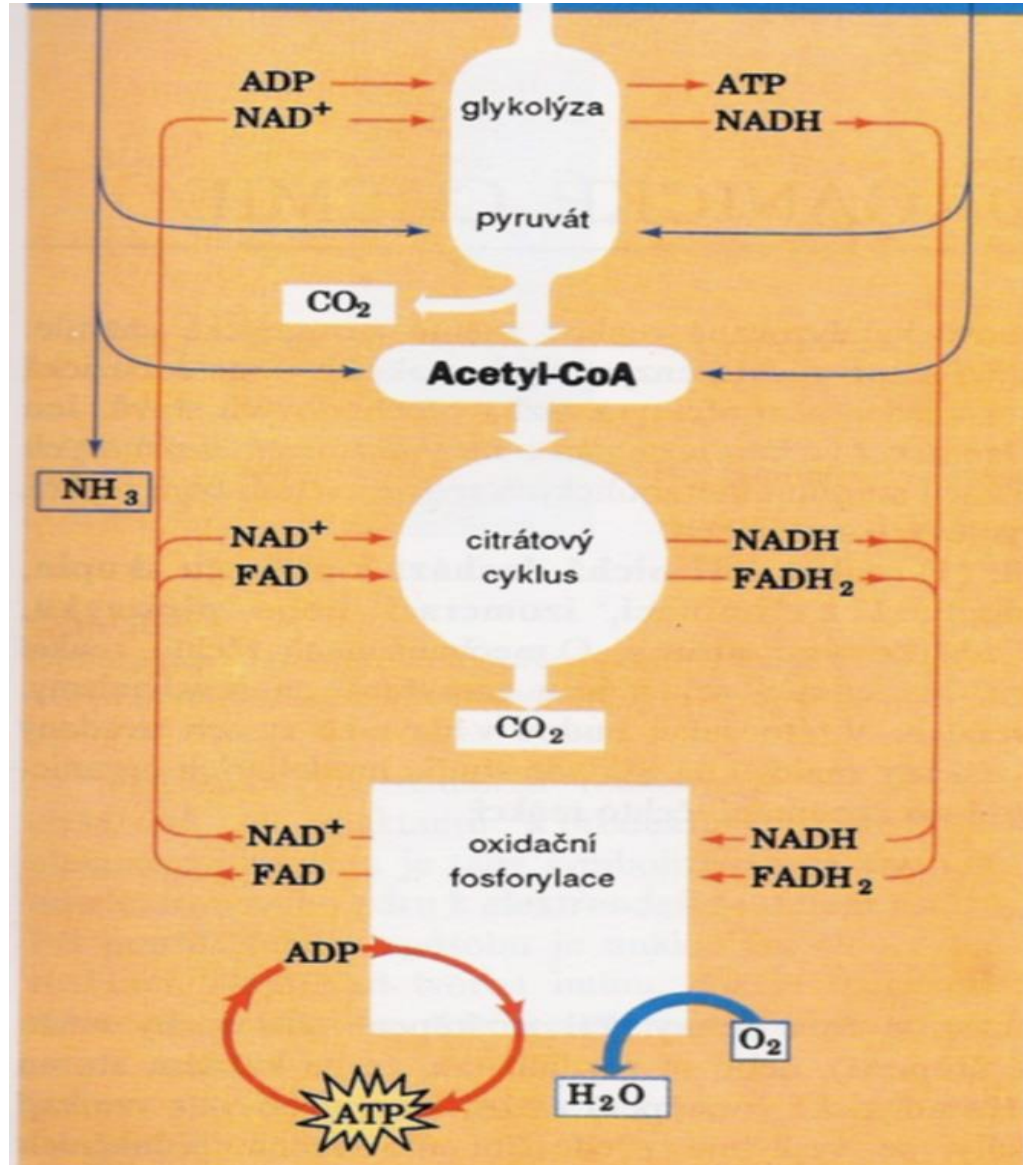


# Katabolismus - chemoorganotrofní aerobní

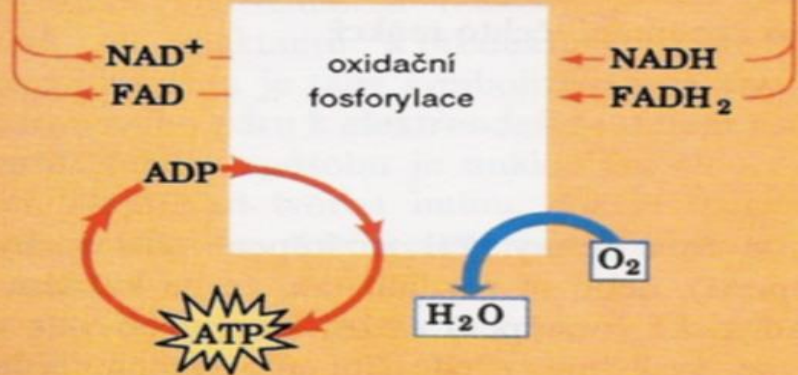
I. fáze



II. fáze



III. fáze



# Anabolismus

výrobní fáze metabolismu - biosynthesa/biogenese

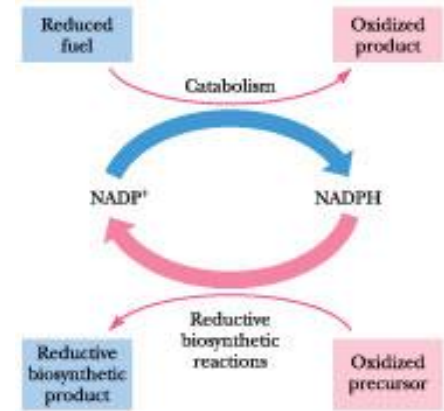
Vzrůst komplexity látek vyžaduje energii - **ATP**

Celkově redukční charakter – redukční činidlo **NADPH + H<sup>+</sup>**

1. stupeň: intermediáty 2. a 3. fáze katabolismu (CKC) → prekursory
2. stupeň: biosynthesa stavebních jednotek
3. stupeň: biosynthesa polymerů z aktivovaných stavebních jednotek

# Katabolismus versus anabolismus

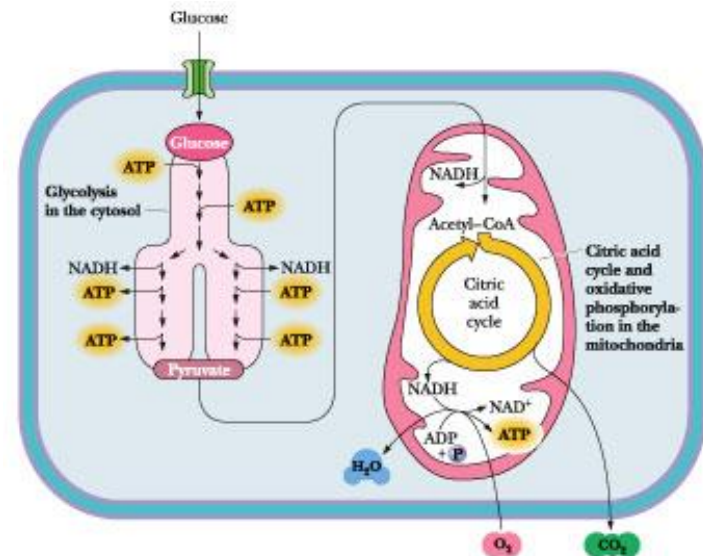
- A. Protichůdný charakter**
- |                   |   |              |
|-------------------|---|--------------|
| degradační        | x | syntetický   |
| oxidační          | x | redukční     |
| energii poskytuje | x | spotřebovává |
| konvergentní      | x | divergentní  |



- B. Vzájemně se doplňují:** produkty a meziprodukty katabolismu využívány v anabolických dějích (energie, redukční činidlo, prekursor), některé reakce jsou společné

- C. Stejně výchozí a konečné produkty**

- D. Probíhají odděleně - kompartmentace**

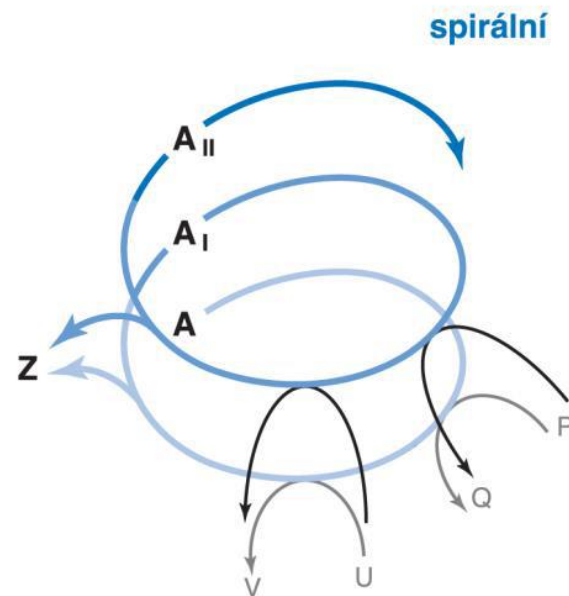
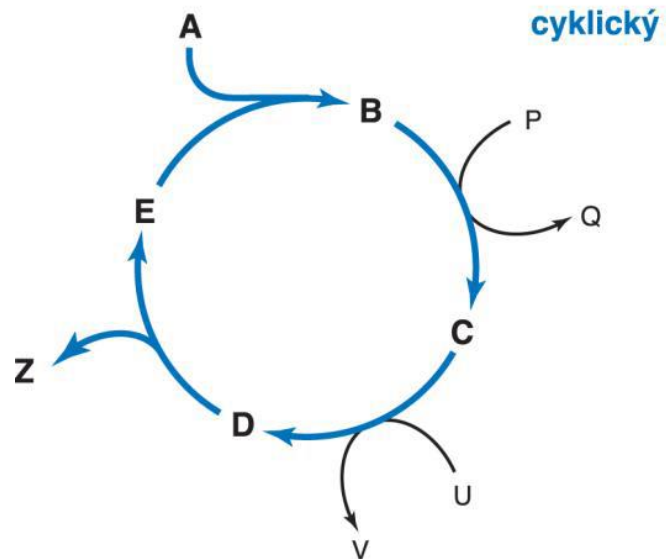


# Metabolická dráha

Primární x sekundární metabolismus

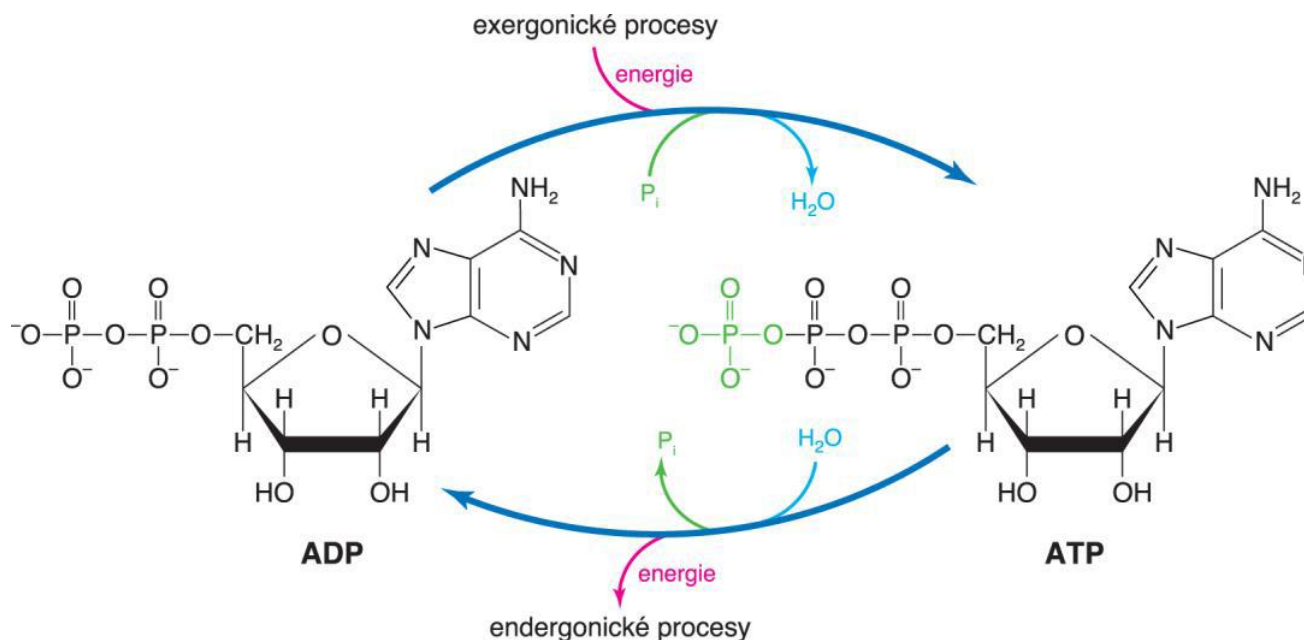
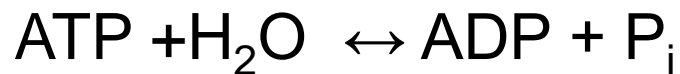
- ❑ Sled reakcí probíhající od výchozího metabolitu ke konečnému produktu
- ❑ Skládají se z mnoha kroků při nichž dochází k malým změnám struktury – **intermediáty** (meziprodukty)
- ❑ Vstupující látky jsou obvykle v aktivované formě

# Průběh metabolických drah:

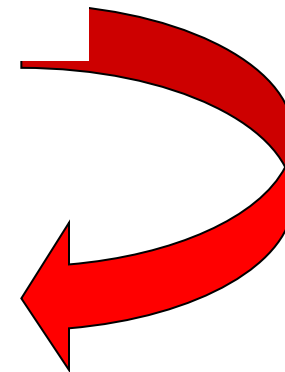




# ATP = společná měna



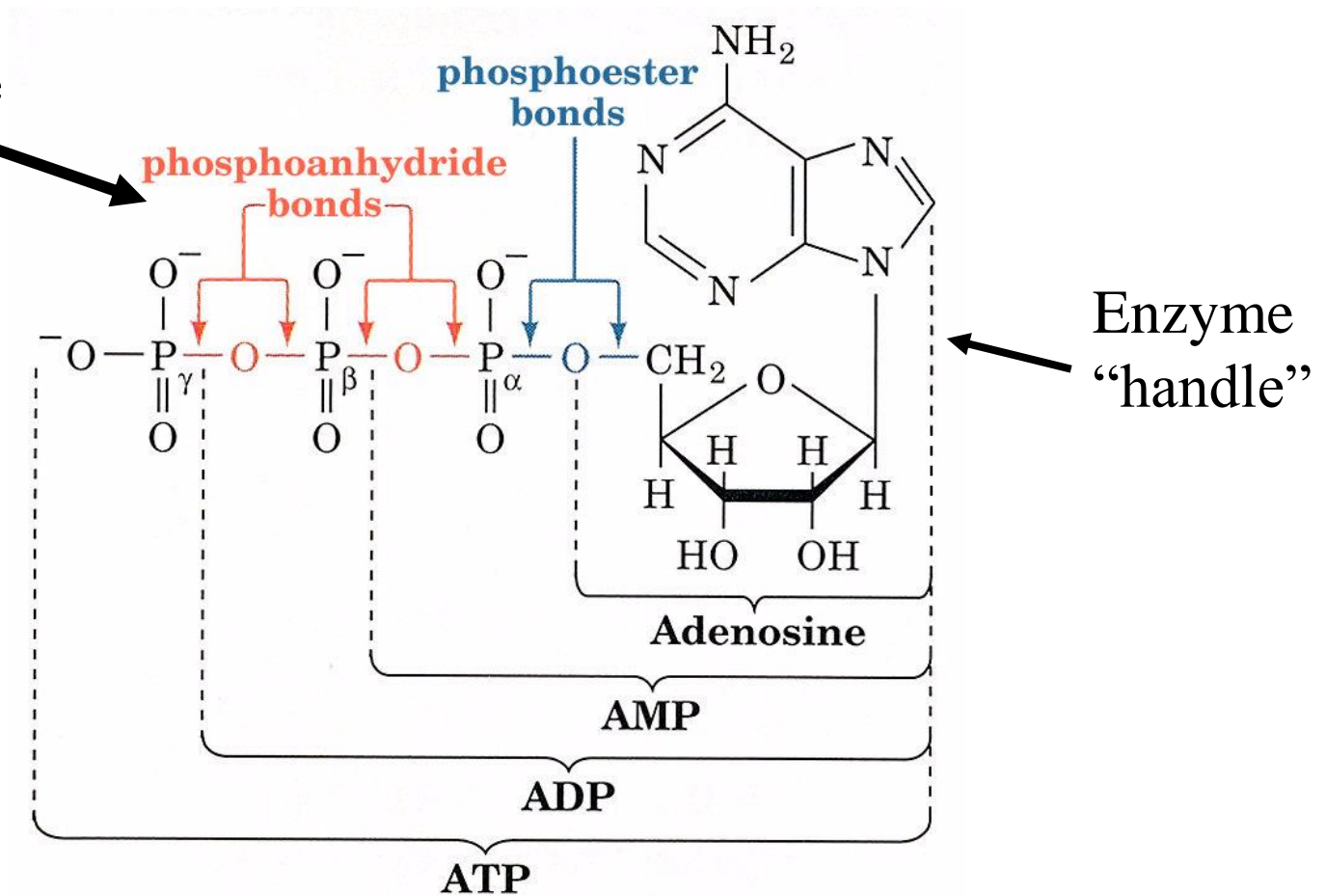
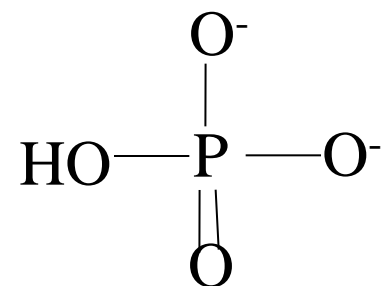
- Každá buňka obsahuje asi 1 billion molekul ATP jejichž životnost je asi 1 minuta
- Více než polovina energie z ATP se přemění na teplo



# ATP = společná měna proč má ATP vysokou vnitřní energii?

Fosfoanhydridové  
vazby

1. Elektrostatické  
síly
2. Resonanční  
stabilizace



# Bioenergetika

Platí: I. věta termodynamická (zákon zachování energie)  
II. věta termodynamická (v uzavřeném systému roste entropie)

Systemy: izolované - uzavřené - **otevřené**  
izolované a uzavřené: směřují k rovnováze  
otevřené: stacionární stav (minimum produkce entropie)

kriteria rovnováhy: různá ( $\Delta H$ ,  $\Delta G$ ,  $\Delta S$ )

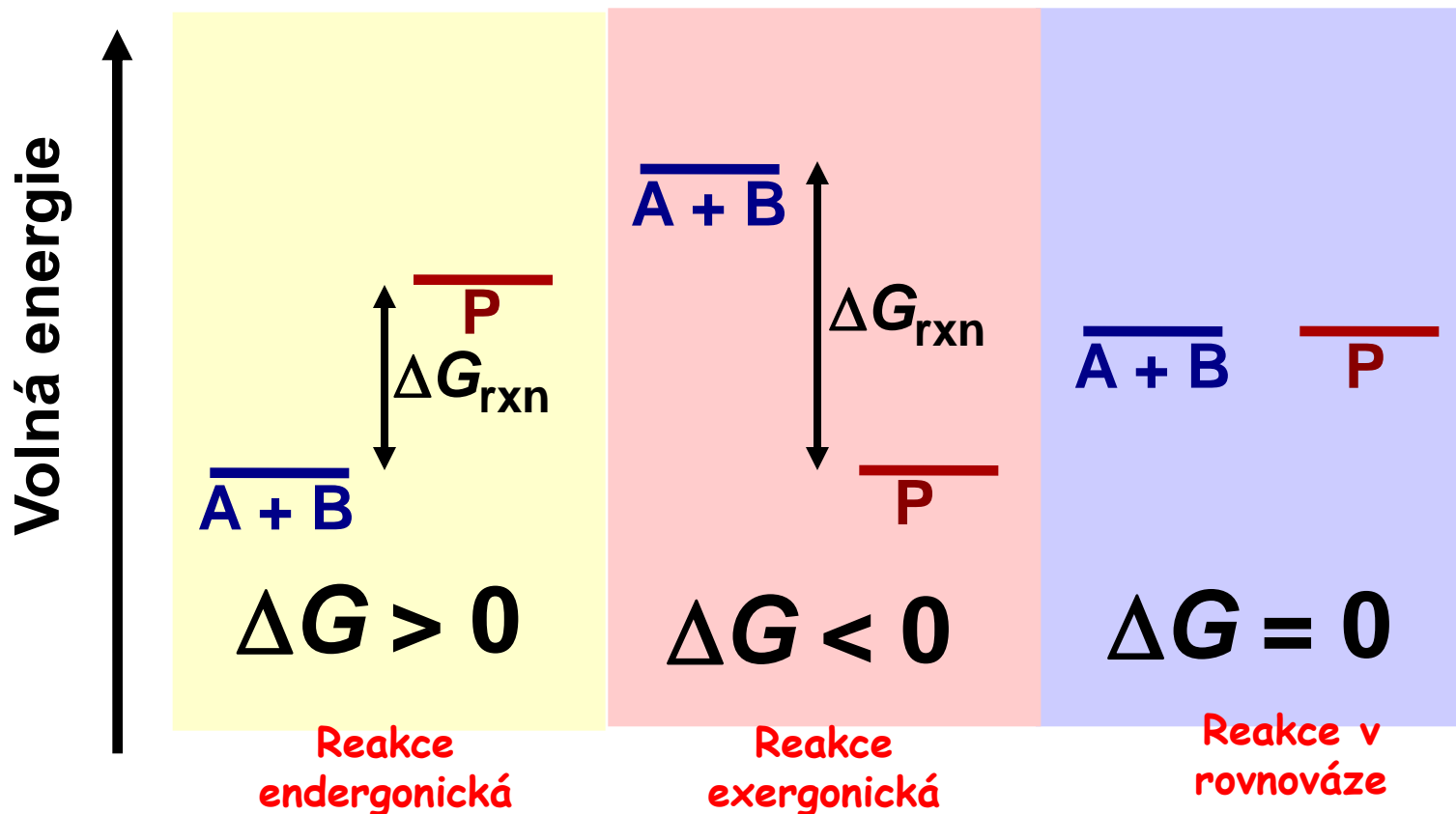
definice:  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

V biochemii je oblíbená **Gibbsova volná energie**

Ize použít pro otevřený systém,  $T$  a  $p = \text{konst.}$

# Volná energie je mírou vzdálenosti reakce od rovnováhy

$$\Delta G_{\text{rxn}} = G_{\text{produktů}} - G_{\text{substrátů}}$$



# vztah $\Delta G$ a $\Delta G^\circ$ ?

Závislost  $\Delta G$  na koncentraci reaktantů:

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \left( \frac{[\text{produkty}]}{[\text{substráty}]} \right)$$

**Plynová konst.**  
(8.31 J · K<sup>-1</sup> · mol<sup>-1</sup>)

**teplota**  
(K)<sup>o</sup>

Za standardních podmínek:

$$\Delta G = \Delta G^\circ$$

Konc. 1M, 25°C, 1 atm

# Bioenergetika

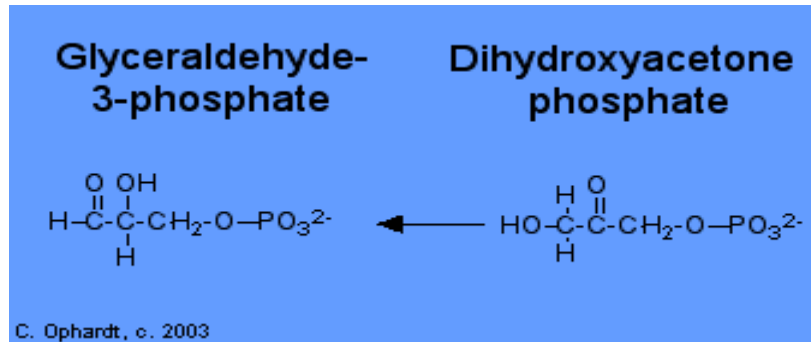
V biochemii  $\Delta G^{0'}$  - standardní „biochemická“ změna volné energie

$$\Delta G' = \Delta G^{0'} + RT \ln [\text{produkty}]/[\text{reaktanty}]$$

Pro pH = 7  $[\text{H}^+] = 10^{-7}$

O směru reakce rozhodují fyziologické koncentrace:

Příklad:



Dihydroxyaceton fosfát (M)	Glyceraldehyd 3-fosfát (M)	Změna volné energie (kJ mol <sup>-1</sup> )
1,0	1,0	+ 7,7 ( $\Delta G^{0'}$ )
2,0 x 10 <sup>-1</sup>	9,0 x 10 <sup>-3</sup>	0 ( $\Delta G'$ )
<b>1,0 x 10<sup>-1</sup></b>	<b>1,0 x 10<sup>-4</sup></b>	<b>- 9,5 (<math>\Delta G'</math>)</b>
1,0 x 10 <sup>-4</sup>	1,0 x 10 <sup>-1</sup>	+ 24,8 ( $\Delta G'$ )

Fyziol. konc.

Shrnutí.....

děj exergonický:  $\Delta G < 0$

- probíhá samovolně
- nepotřebuje dodávat energii
- **katabolismus (celkově)**

děj endergonický:  $\Delta G > 0$

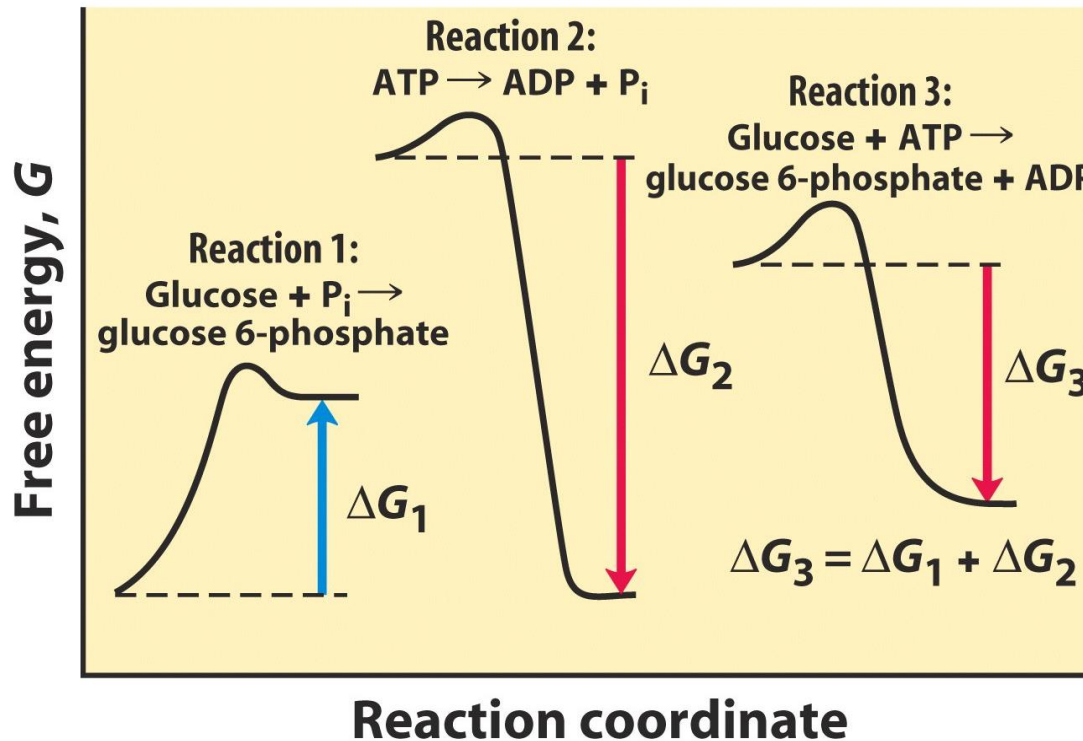
**(pozor: neexistují!!)**

příklady: ligasy  
aktivní transport  
anabolismus (celkově)  
řízené polymerace



# Řešení: spřažení reakcí

Příklad: vznik glukosa 6-fosfátu



$$\Delta G_3 = \Delta G_1 + \Delta G_2$$

**Podmínka: společný meziprodukt**



# ENERGETIKA ŠTĚPENÍ ATP

## jednotka energie ATP:

energie získaná reakcí  $\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ADP} + \text{Pi}$

$$\Delta G'_{\text{ADP}} = \Delta G^{\circ'}_{\text{ADP}} + RT \ln ([\text{ADP}] \cdot [\text{Pi}] / [\text{ATP}] \cdot [\text{H}_2\text{O}])$$
$$\Delta G'_{\text{ADP}} \cong -50 \text{ kJ/mol}, \Delta G^{\circ'}_{\text{ADP}} = -30,5 \text{ kJ/mol} \text{ (-29 až -35 kJ/mol)}$$

Jaká je energie štěpení:  $\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{AMP} + \text{PPi}$ ?

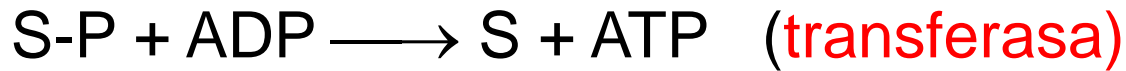
$$\Delta G'_{\text{AMP}} = \Delta G^{\circ'}_{\text{AMP}} + RT \ln ([\text{AMP}] \cdot [\text{PPi}] / [\text{ATP}] \cdot [\text{H}_2\text{O}])$$

$\Delta G^{\circ'}_{\text{AMP}}$  je stejné jako  $\Delta G^{\circ'}_{\text{ADP}}$  (asi -33 kJ/mol)

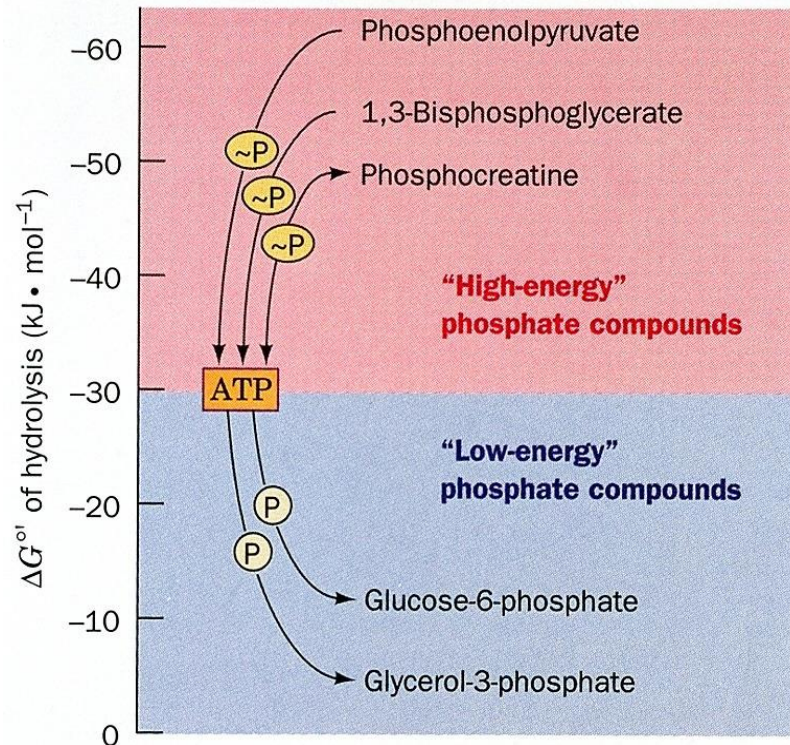
$$\Delta G'_{\text{AMP}} = 2 \Delta G'_{\text{ADP}}$$

# Synthesa ATP v organismech

Substrátová fosforylace:



$$\Delta G^{\circ'}_{\text{ADP}} = -30,5 \text{ kJ/mol}$$



# .... Synthesa ATP v organismech

Membránové fosforylace:



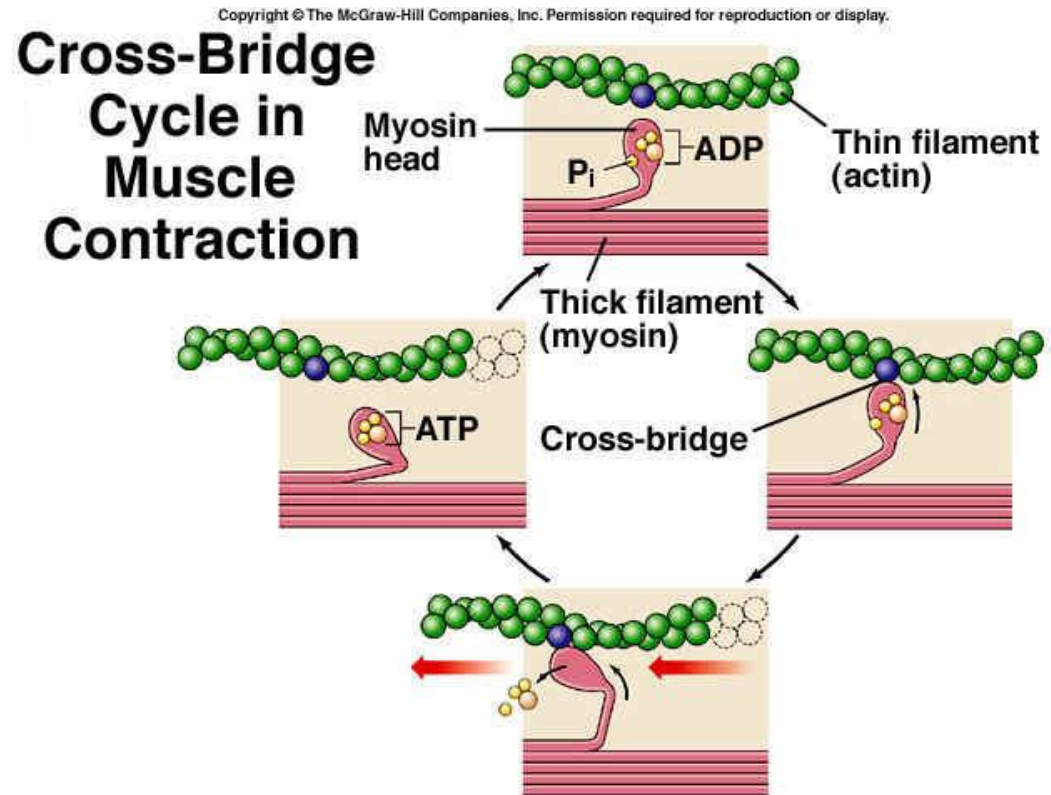
- Oxidativní fosforylace (mitochondrie)
- Fotofosforylace (chloroplasty)

## Makroergické sloučeniny

Sloučenina	$\Delta G^{\circ}$ hydrolysy (kJ/mol)
fosfoenolpyruvát	-61,9
1,3-bisfosfoglycerát	-49,4
fosfokreatin	-43,1
difosfát anorganický (PP <sub>i</sub> )	-33,5
ATP (→AMP + PP <sub>i</sub> )	-32,2
ATP (→ADP + P <sub>i</sub> )	-30,5
glukosa-1-fosfát	-20,9
fruktosa-6-fosfát	-13,8
glukosa-6-fosfát	-13,8
glycerol-3-fosfát	-9,2

# Využití ATP

- **Chemická práce:** transferasy a ligasy
- **Osmotická práce** - primární aktivní transport látek proti koncentračnímu gradientu
- **Mechanická práce:** aktomyosin (kontrakce svalu), cytoskelet
- **Regulační práce** – přenos signálu do buněk apod.



# Transport látek přes membrány

Membrány jsou jen velmi omezeně propustné pro hydrofilní látky

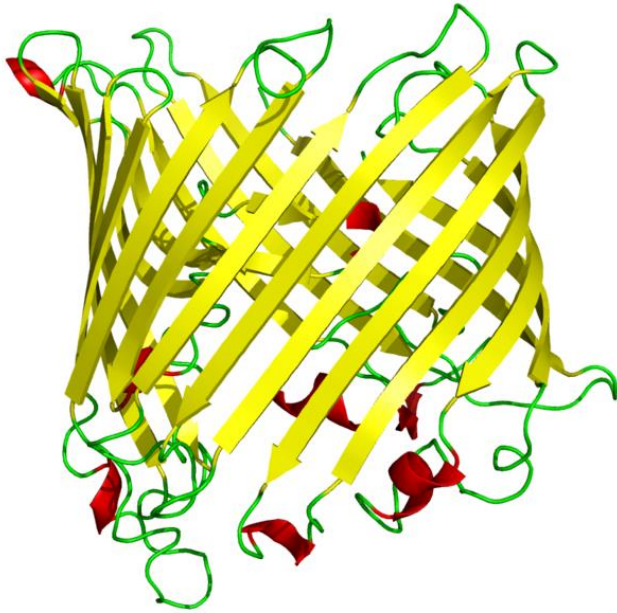
**podle provedení:**

- volná difuze
- trvalými póry
- ionofory
- uzavíratelnými kanály
- bílkovinnými přenašeči
- endocytosa, pinocytosa

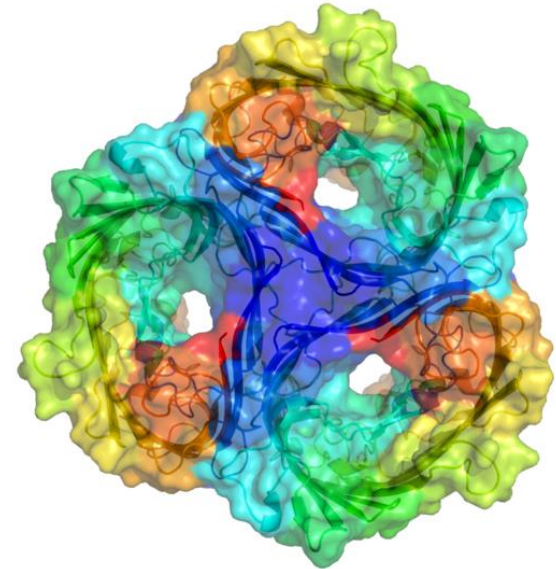
**podle energetického zabarvení:**

- pasivní transport
- aktivní transport

# Transport látek trvalými póry - poriny

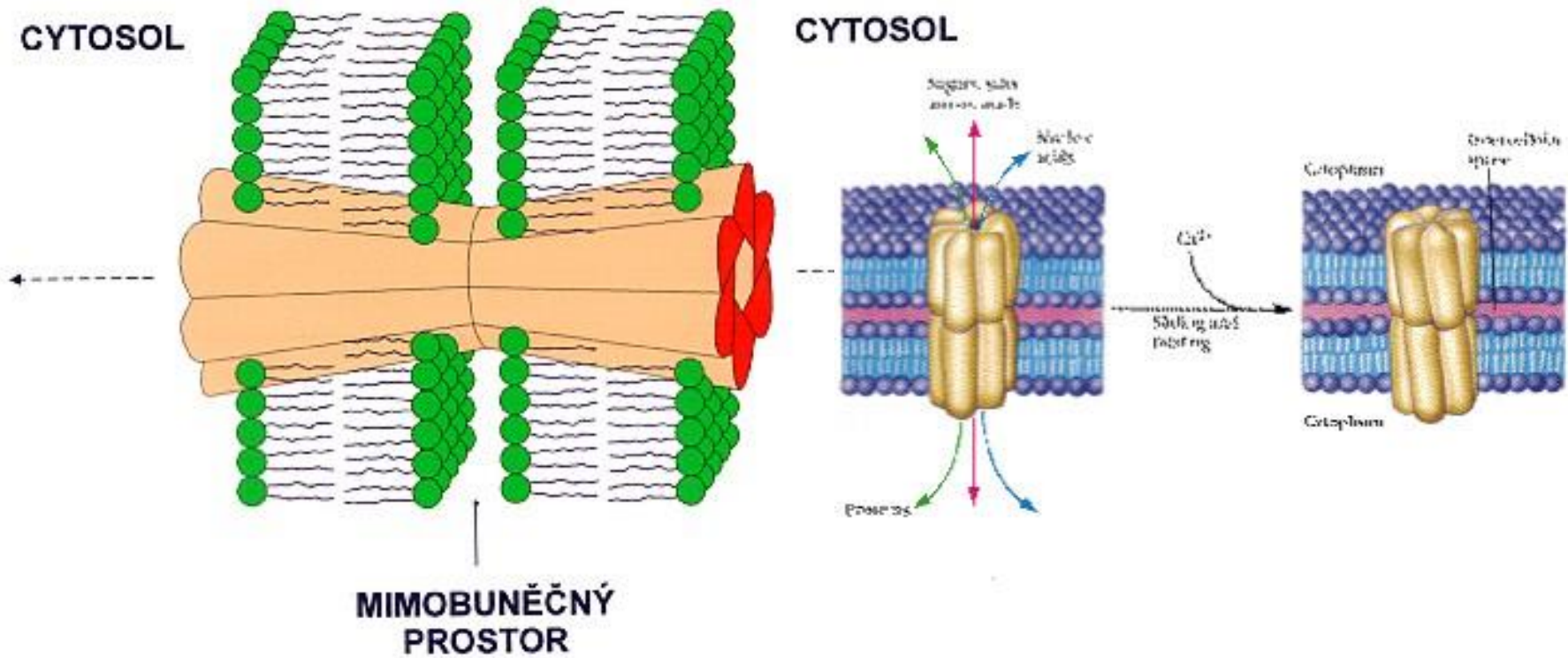


Molekulové síto



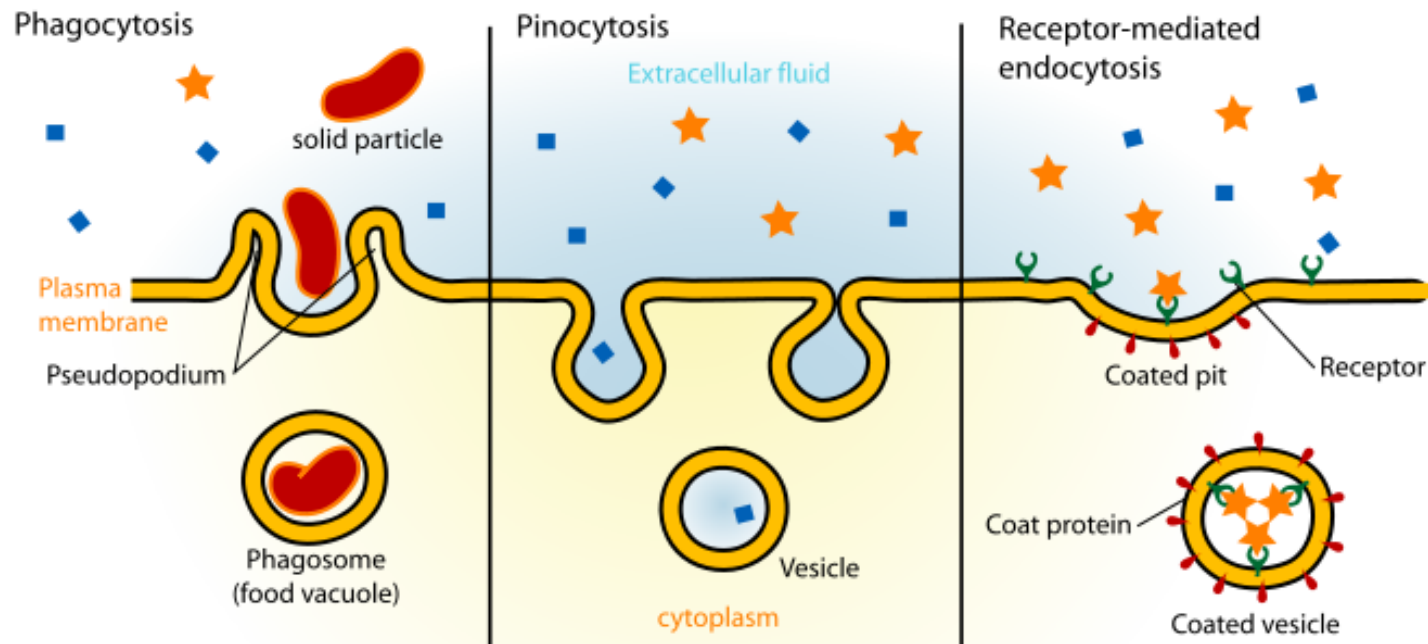
Transport iontů,  
sacharidů, aminokyselin

# Membránový transport- uzavíratelný kanál

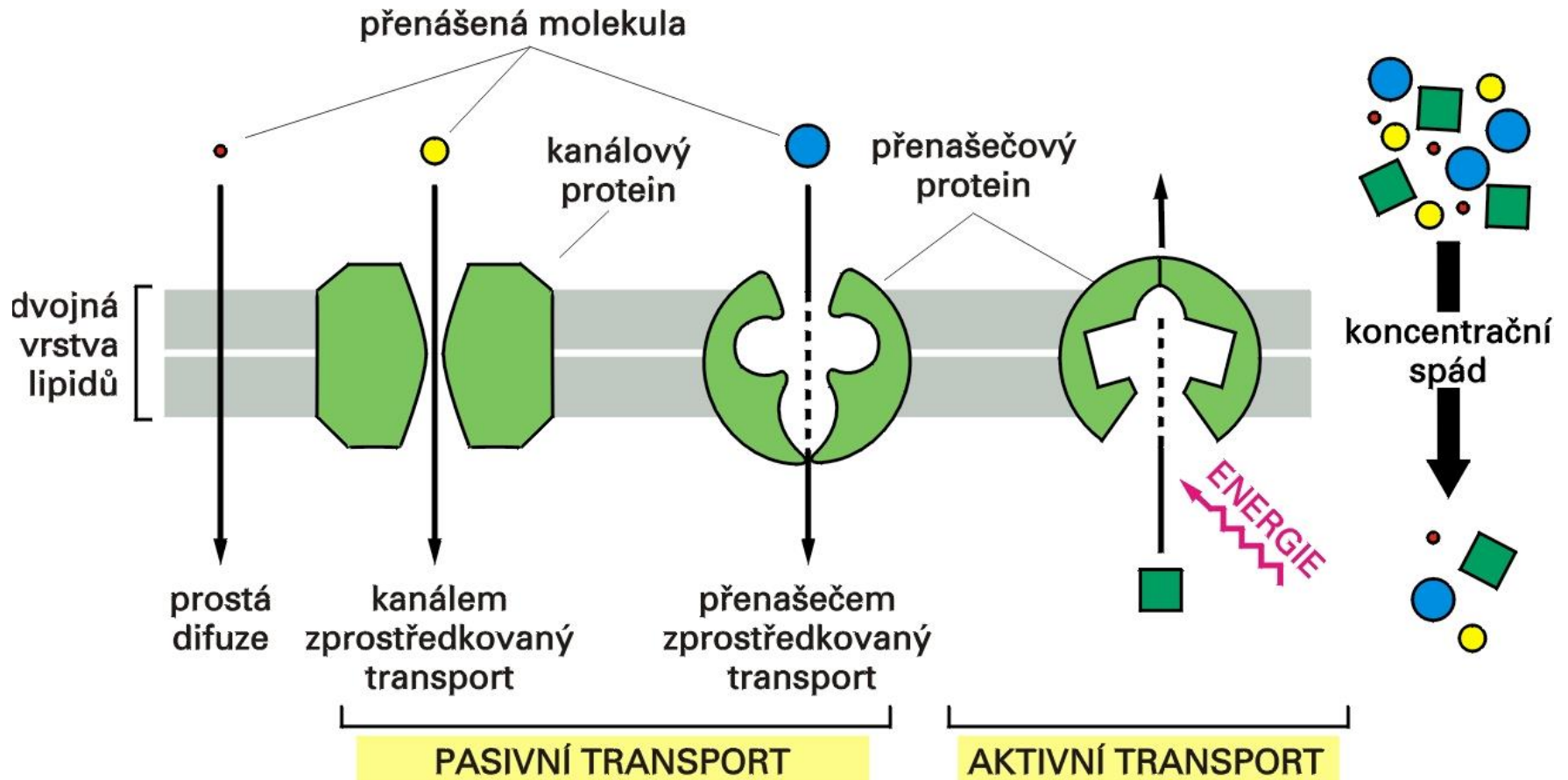


# Transport látek - endocytosa

## Endocytosis



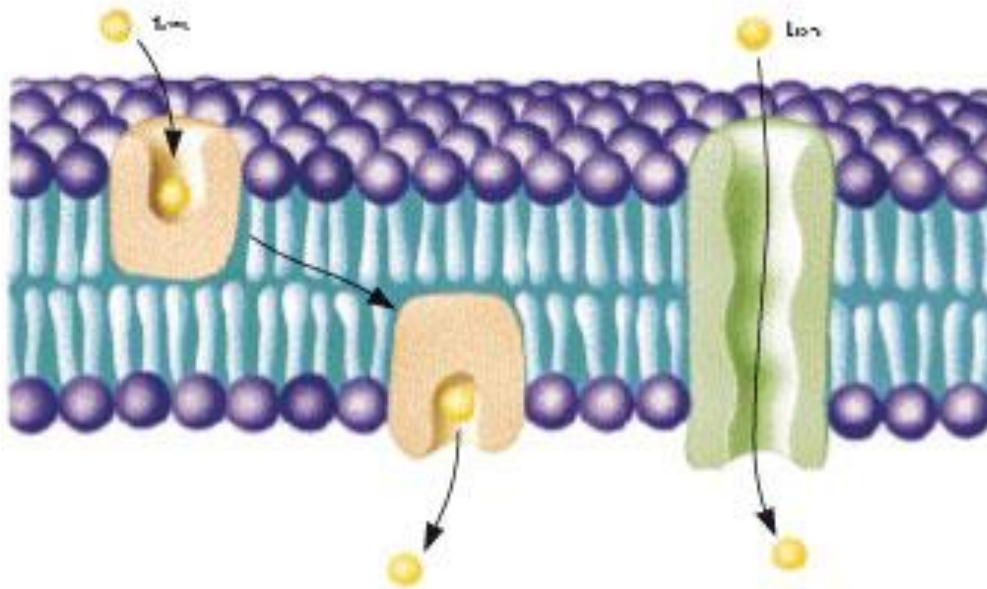
# Pasivní a aktivní transport



# Transport látek - ionofory

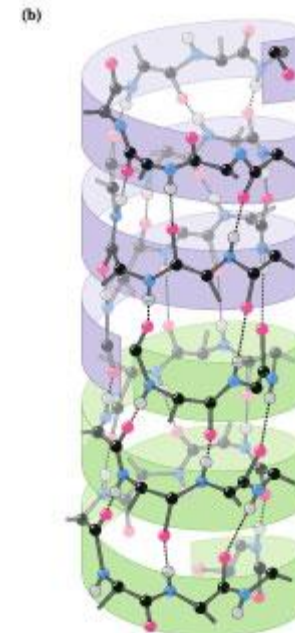
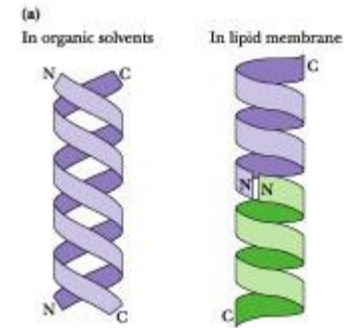
(a) Cizí prostředí

(b) Cizí prostředí ionofor



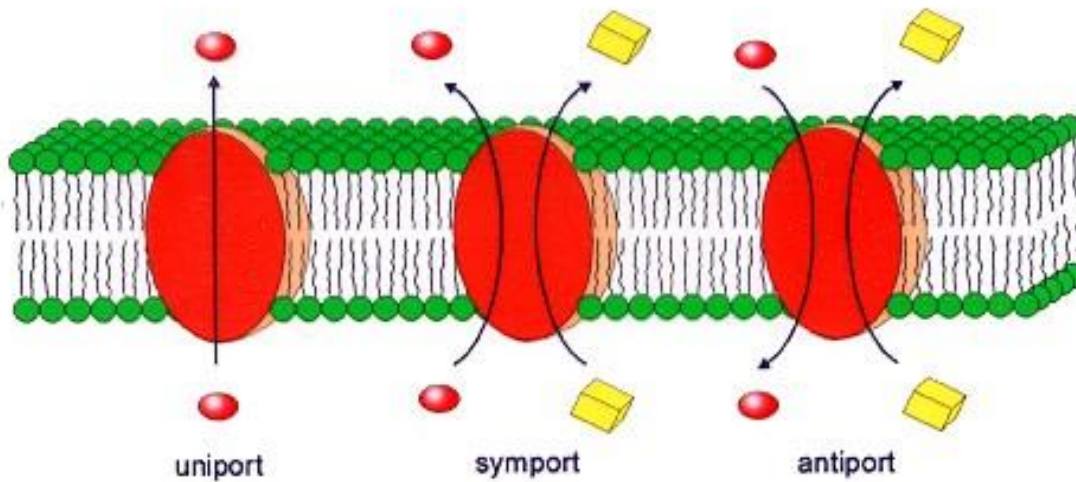
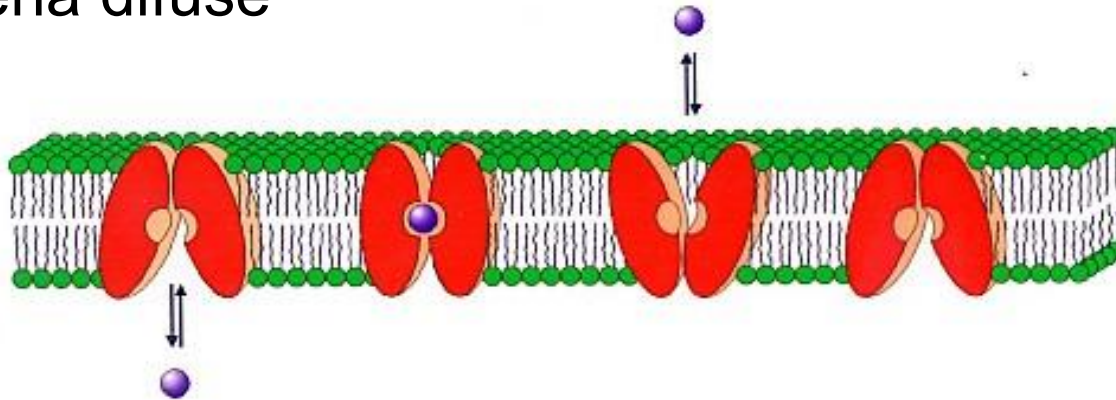
Mobilní přenašeč  
valinomycin  
Selektivní pro  $K^+$

Kanálový přenašeč  
gramicidin  
 $Na^+$ ,  $K^+$

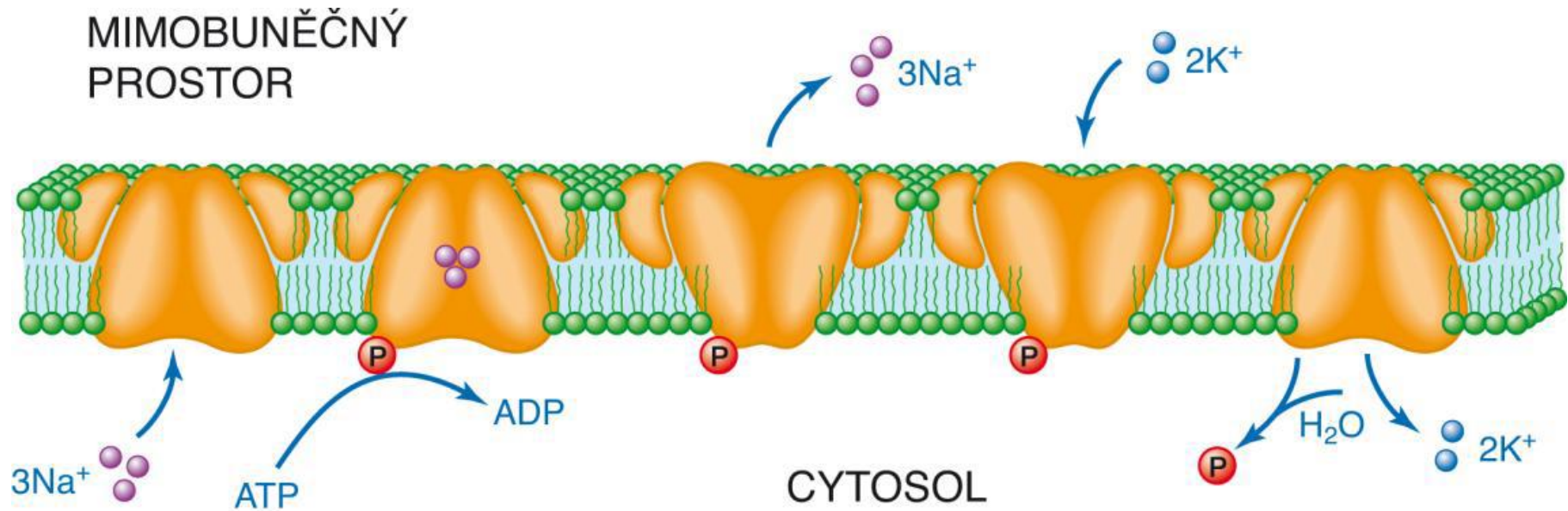


# Membránový transport – bílkovinné přenašeče (translokasy)

– usnadněná difuze



# Promární Aktivní transport Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATPasa



$$\Delta G_{\text{transport}} = -RT \ln \frac{C_{\text{vně}}}{C_{\text{uvnitř}}}$$

# Sekundární aktivní transport

Resorpce glukosy ledvinami (z moči)

