

# **METABOLISMUS**

**Pracovní sešit k přednáškám z biochemie**  
**pro studenty biologických kombinací**

**III**

***ZDENĚK GLATZ***

**1998**

# METABOLISMUS

## ŽIVOT

- růst
- rozmnožování
- vývoj a diferenciace
- dráždivost
- pohyb

## Látková přeměna - intermediální metabolismus

Funkce - zajišťování energie

- zajišťování stavebního materiálu

Procesy - rozkladné - katabolické - disimilační

- biosyntetické - anabolické - asimilační

- amfibolické - obojí

## Rozdělení organismů podle metabolismu

A. Podle zdroje přijímané energie

fototrofy - sluneční energie

chemotrofy - oxidace chemických látek

B. Podle zdroje stavebního materiálu

**autotrofy - anorganické látky**

**heterotrofy - organické látky**

### **C. Podle donoru elektronů**

**organotrofy - organické látky**

**litotrofy - anorganické látky**

### **D. Podle konečného akceptoru elektronů**

**aeroby - O<sub>2</sub>**

**anaeroby - NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>**

**fermentace - elektrony jsou předávány na jiné organické látky**

## **Metabolismus**

### **H. KREBS - tři fáze metabolismu**

***Katabolismus* - degradační fáze metabolismu - konvergentní**

**Funkce**

- **produkce energie**
- **poskytuje prekurzory**
- **poskytuje NADPH**

**1. Fáze - složité molekuly štěpeny na stavební jednotky**

**2. Fáze - stavební jednotky převedeny na C<sub>1</sub> a C<sub>2</sub> látky**

**3. Fáze - citrátový cyklus + dýchací řetězec**

***Anabolismus*** - biosyntetická fáze metabolismus - divergentní

**Funkce** - zajišťování stavebního materiálu pro funkci a růst

1. Fáze - citrátový cyklus poskytuje prekurzory
2. Fáze - z prekurzorů jsou syntetizovány stavební jednotky
3. Fáze - ze stavebních jednotek jsou syntetizovány biopolymery

### **Bioenergetika**

1. *Chemická energie*
2. *Mechanická - pohybová energie*
3. *Osmotická - transportní energie*
4. *Elektrická energie*
5. *Strukturní energie*
6. *Regulační energie*
7. *Tepelná energie*
8. *Světelná energie*

**Chemická energie** - energie vazeb a strukturního uspořádání chemických sloučenin

***Enthalpie H*** - reakční teplo při konstantním tlaku

$\Delta H < 0$  - reakce exogenní

$\Delta H > 0$  - reakce endogenní

**Gibbsova energie  $G$  - změna energie při konstantním tlaku a teplotě**

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

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K$$

$$\Delta G^{\circ} = -nF \Delta E^{\circ}$$

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ}$$

$$\Delta G^{\circ} = \Sigma G^{\circ}_{\text{produktů}} - \Sigma G^{\circ}_{\text{vychoz. Látek}}$$

$\Delta G < 0$  - reakce exergonické

$\Delta G > 0$  - reakce endergonické

**Spřažení reakcí**



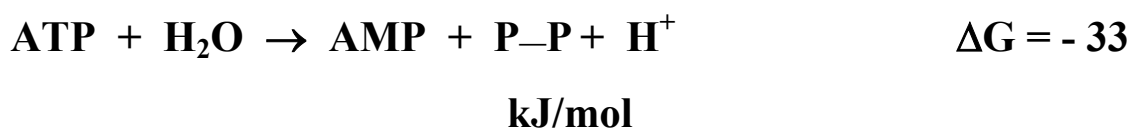
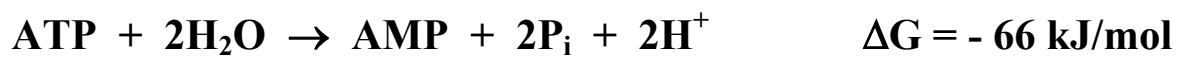
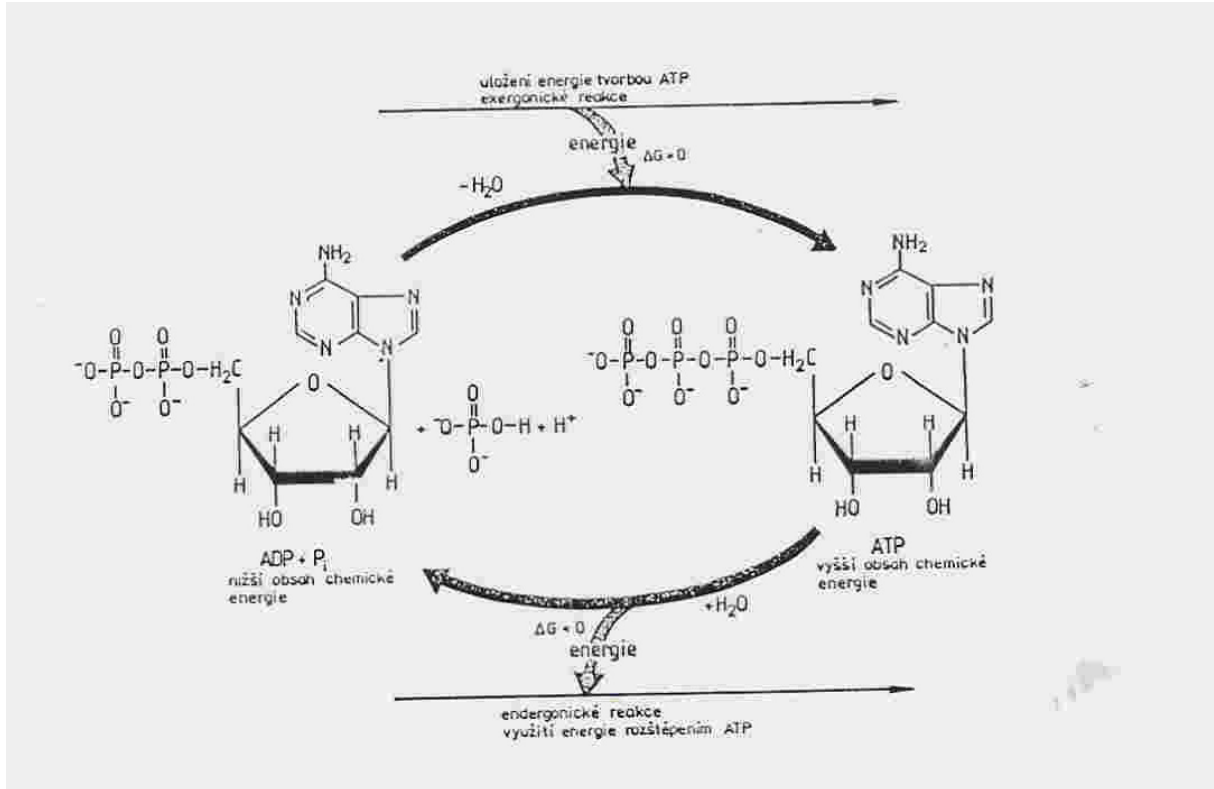
$$\Delta G = \Delta G_1 + \Delta G_2$$

**Makroergické sloučeniny - makroergická vazba**

1. při procesech uvolňování energie jsou schopny část této energie zachytit a uchovat
2. při procesech vyžadujících energii mohou svým rozkladem tuto uchovanou energii uvolnit a předat

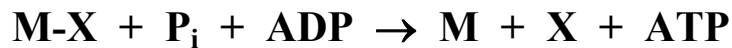
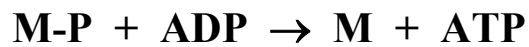
# ATP - univerzální přenašeč energie

LIPMANN a KALCKAR 1941



## Tvorba ATP

### 1. Substrátová fosforylace



### 2. Fosforylace spřažena s tokem elektronů

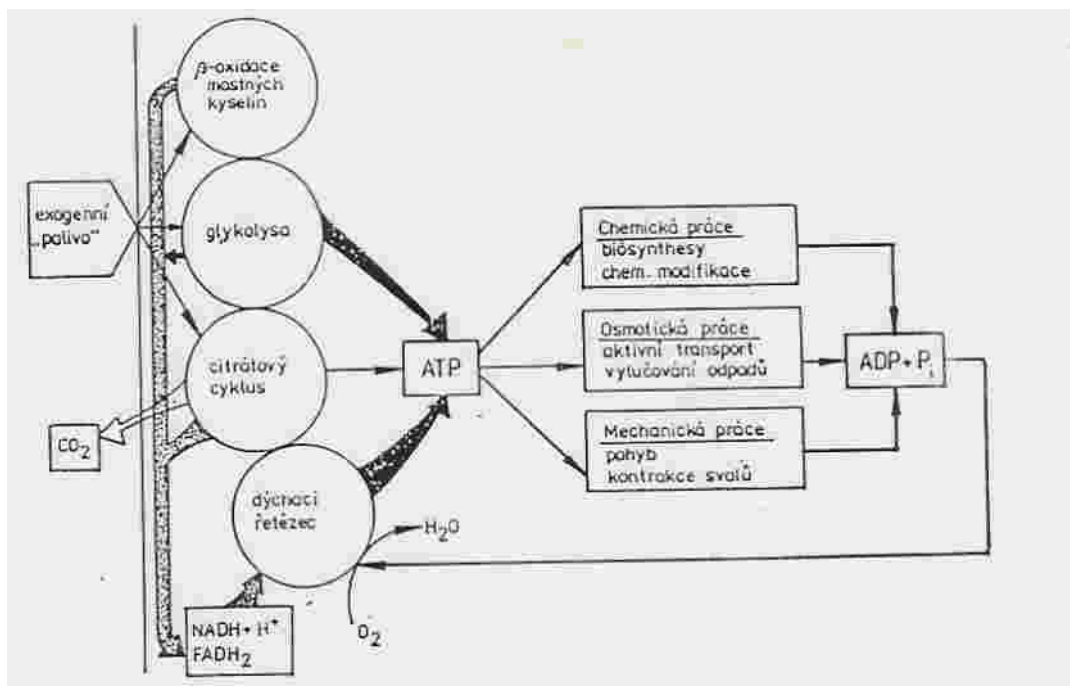
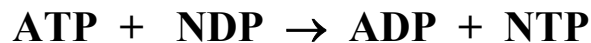
- oxidační fosforylace
- fotofosforylace

### 3. Adenylátkinasovou reakcí



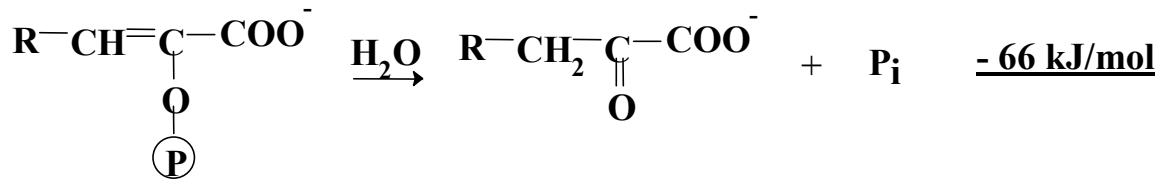
## Spotřeba ATP

- Biosyntetické reakce
- Počáteční stádia odbourávání živi
- Fyziologické procesy
- Vzájemné přeměny nukleotidů

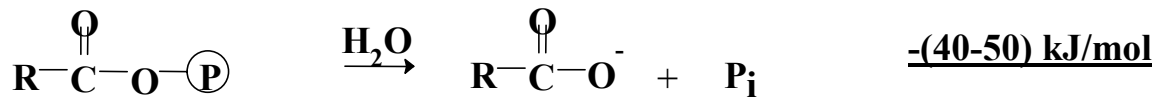


## Další makroergické sloučeniny

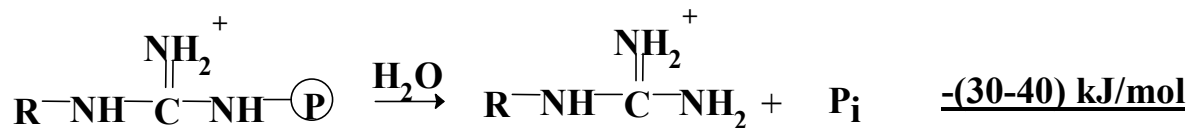
### ENOYLFOSFÁTY



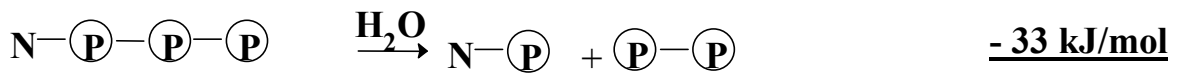
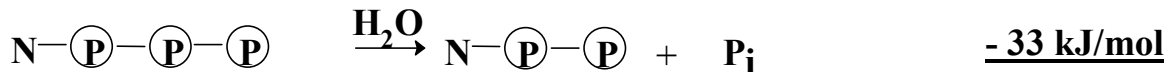
### ACYLFOSFÁTY



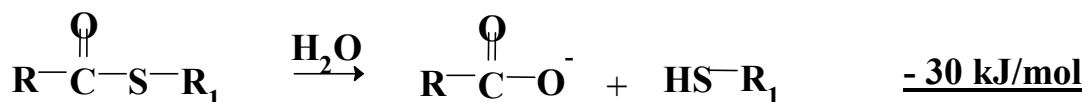
### GUANIDIUMFOSFÁTY



### NUKLEOTIDY



### ACYLTHIOESTERY

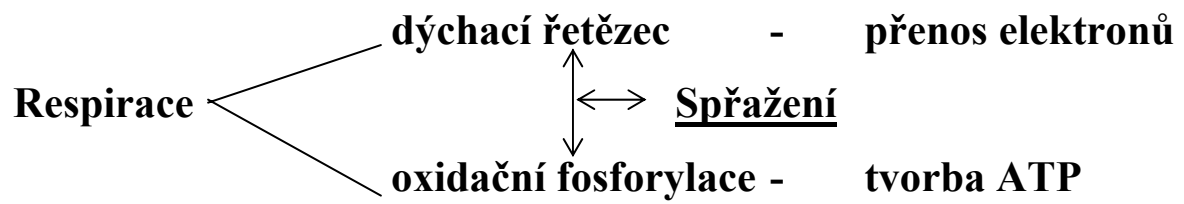


### FOSFOMONOESTERY

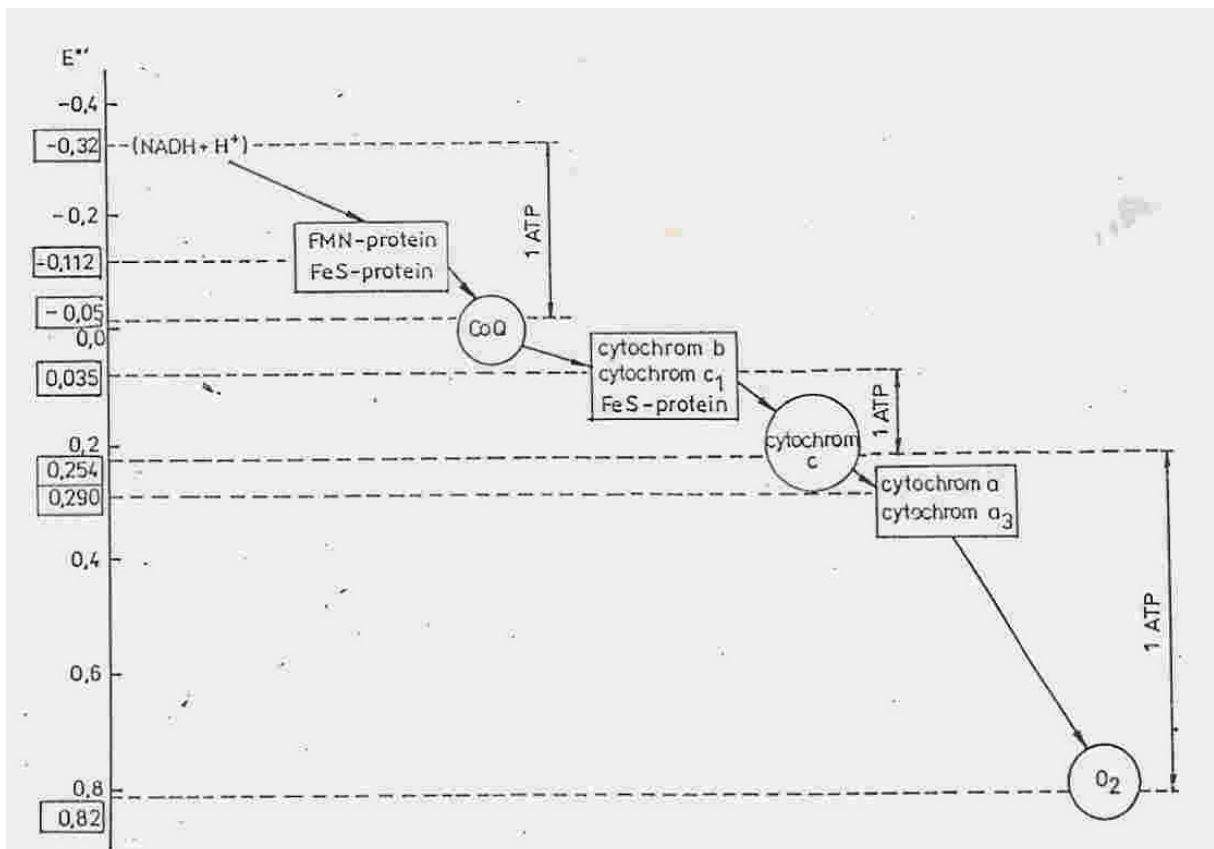
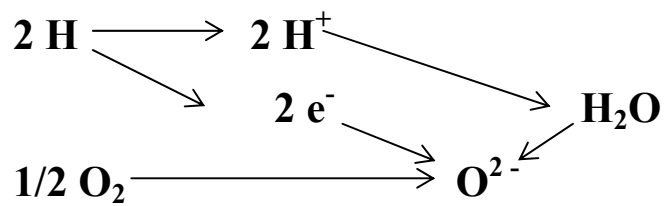




# DÝCHACÍ ŘETĚZEC A OXIDAČNÍ FOSFORYLACE



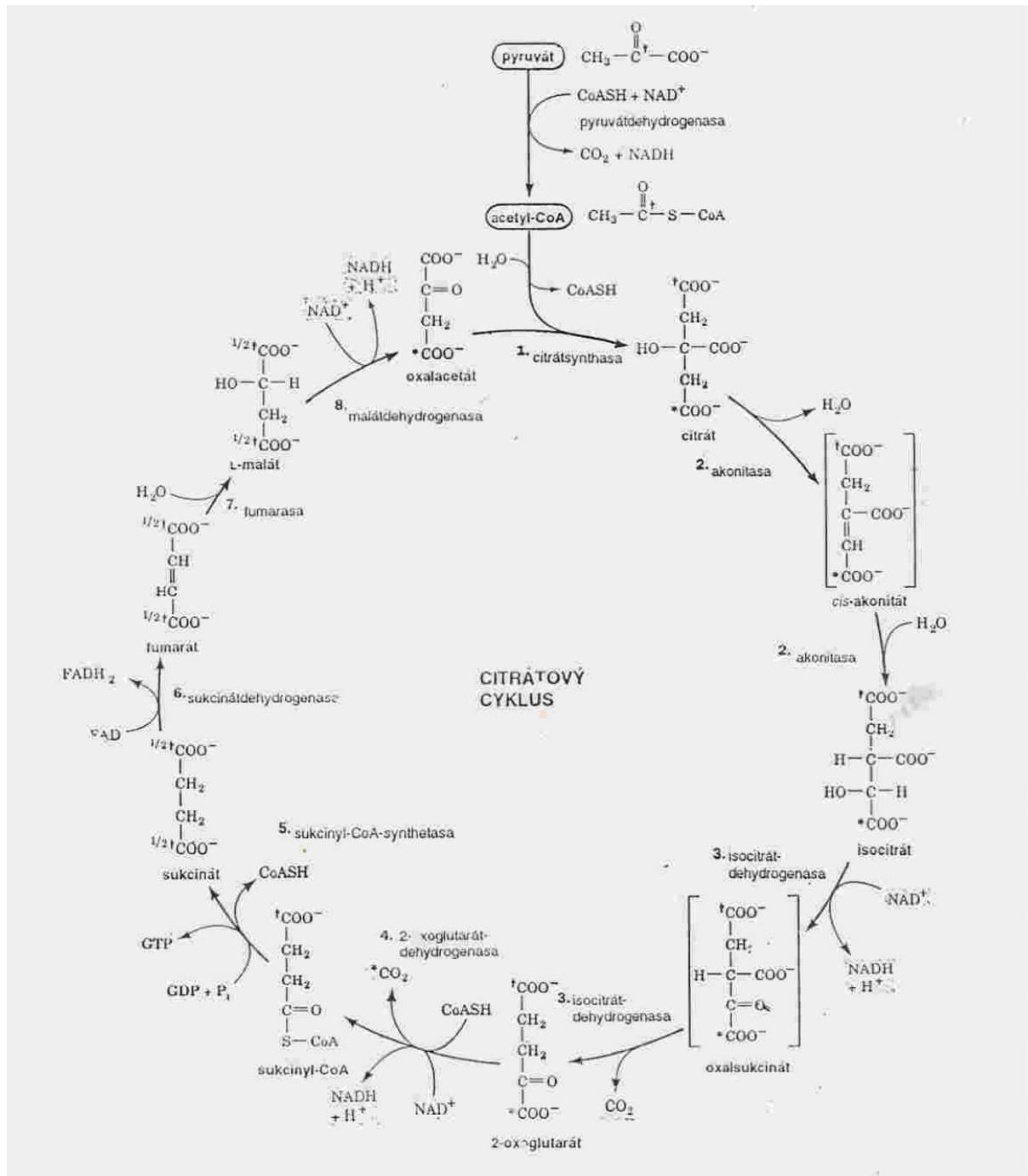
## *Aerobní respirace*





# CITRÁTOVÝ CYKLUS

H.Krebs (1937) - Krebsův cyklus, cyklus trikarboxylových kyselin





# METABOLISMUS SACHARIDŮ

## Štěpení oligosacharidů a polysacharidů

### *A. Štěpení sacharidů při trávení potravy*

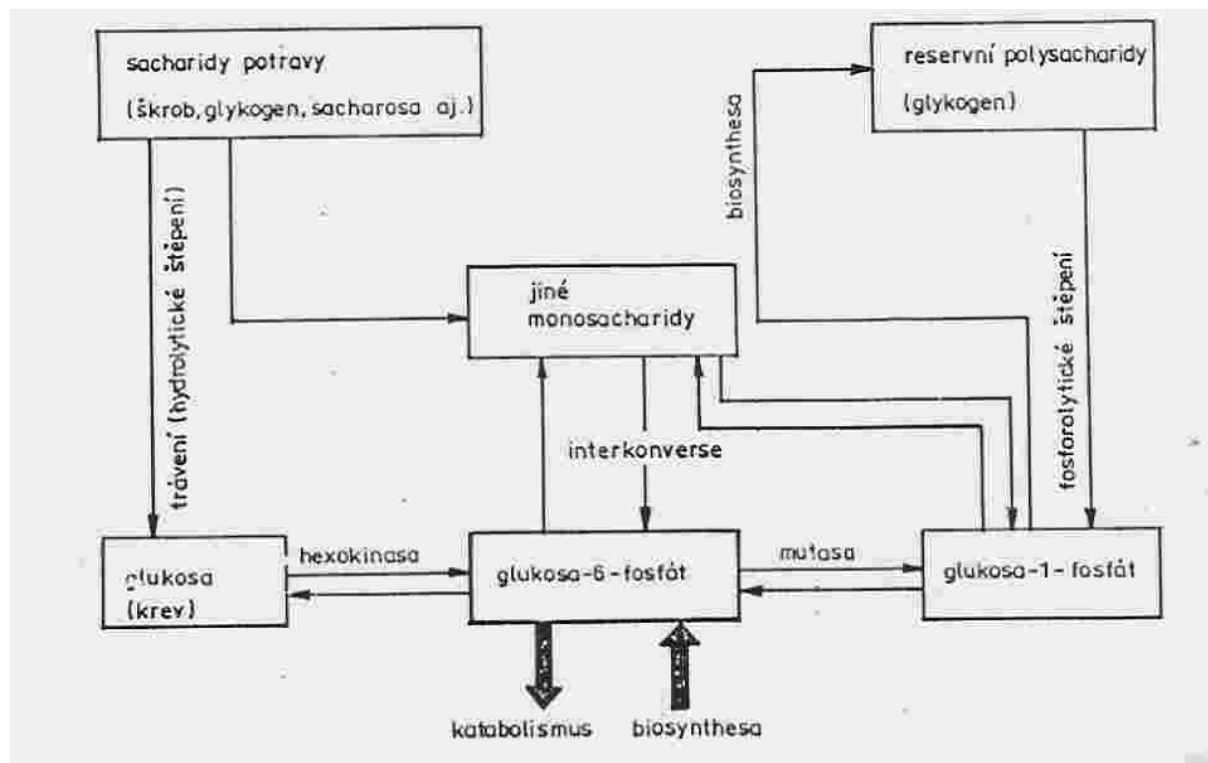
<b><math>\alpha</math> – amylasa</b>	<b>sliny, pankreas</b>	<b>škrob</b>	<b>Dextriny, maltosa, glukosa</b>
<b>amyloglikosidasa</b>	<b>střeva</b>	<b>glykogen</b>	<b>maltosa</b>
<b>maltasa</b>	<b>"</b>	<b>maltosa</b>	<b>glukosa</b>
<b>laktasa</b>	<b>"</b>	<b>laktosa</b>	<b>glukosa, galaktosa</b>
<b>sacharasa</b>	<b>"</b>	<b>sacharosa</b>	<b>glukosa fruktosa</b>
<b>celulasy</b>	<b>houby, bakterie</b>	<b>celulosa</b>	<b>glukosa</b>

### *B. Štěpení rezervních polysacharidů*

<b>fosforylase</b>	<b>játra</b>	<b>glykogen</b>	<b>glukosa-1-P</b>
<b><math>\beta</math> – amylasa</b>	<b>rostliny</b>	<b>škrob</b>	<b>maltosa</b>

## Glukosa-6-fosfát - klíčový metabolit

- Fosforylací glukosy z potravy
- Izomerací glukosa-1-fosfátu z tkáňového glykogenu
- Izomeracemi a epimeracemi jiných monosacharidů

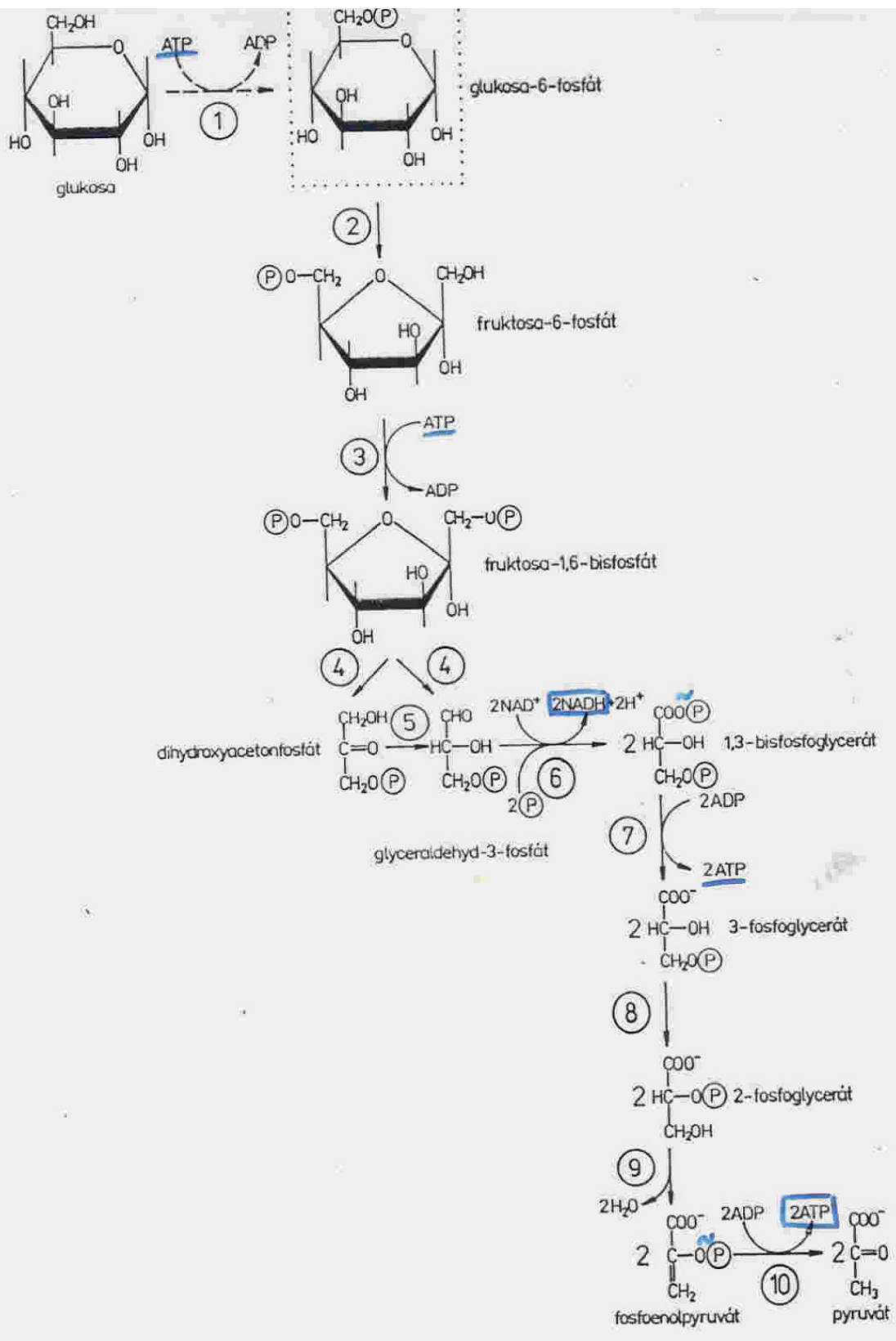


## GLYKOLÝZA



*Historie :*

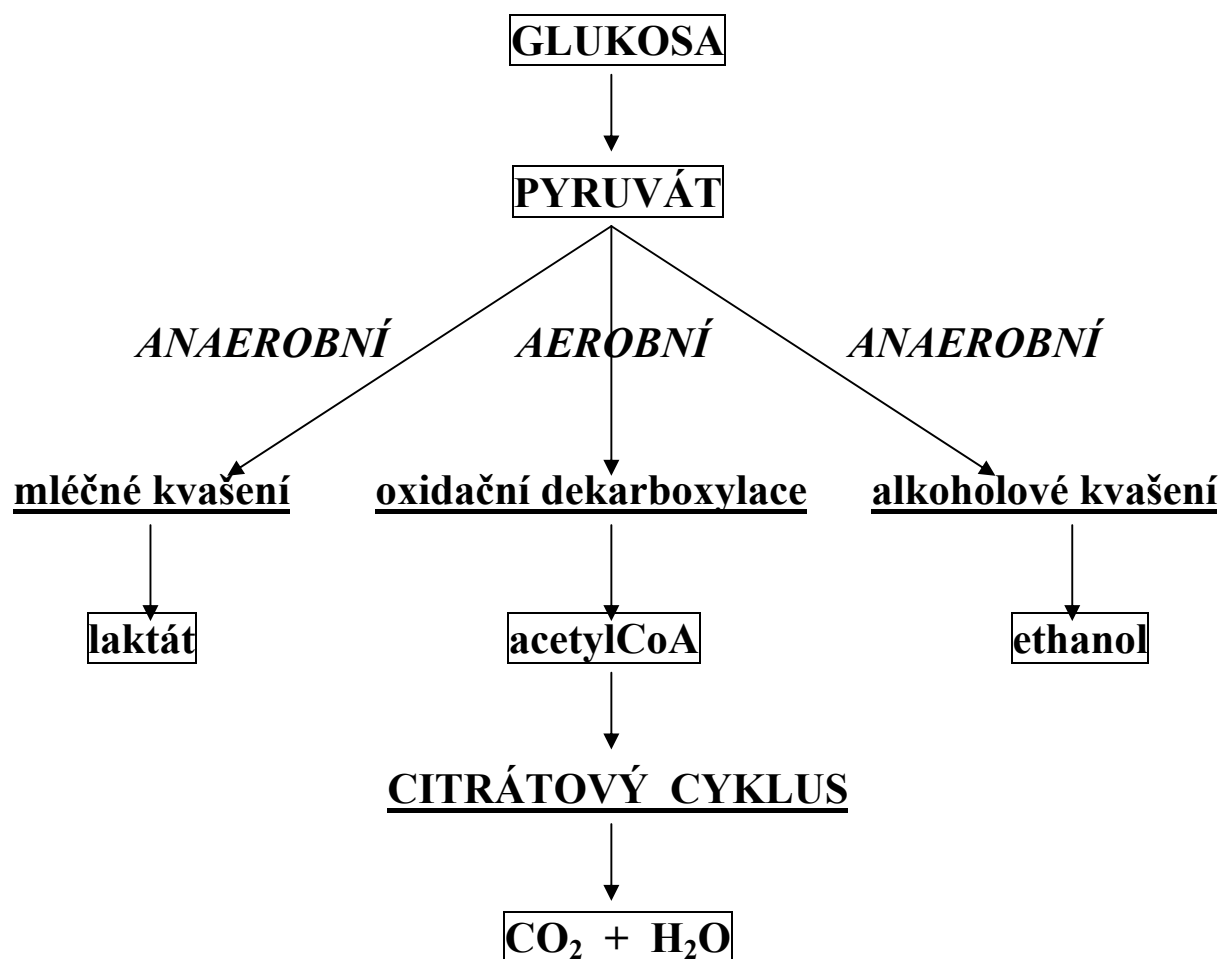
- 19. stol. Paster - kvasinky  
Buchner - kvasniční extrakt
- 1905 - 1910 Harden, Young
- 1940 Embden, Meyerhof, Parnas



## Bilance glykolýzy



→



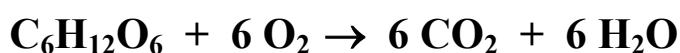


## Aerobní odbourávání

### Oxidační dekarboxylace :



### Bilance aerobní glykolýzy :



Glykolýza	1 ATP + 1 NADH	(4-1) ATP
Oxidační dekarboxylace	1 NADH	3 ATP
Citrátový cyklus	1 ATP 3 NAD + FADH <sub>2</sub>	12 ATP
<b>CELKEM</b>	<b>18 ATP/ triosu tj.</b>	<b>36 ATP/ glukosu tj. 40 %</b>

## Mléčné kvašení



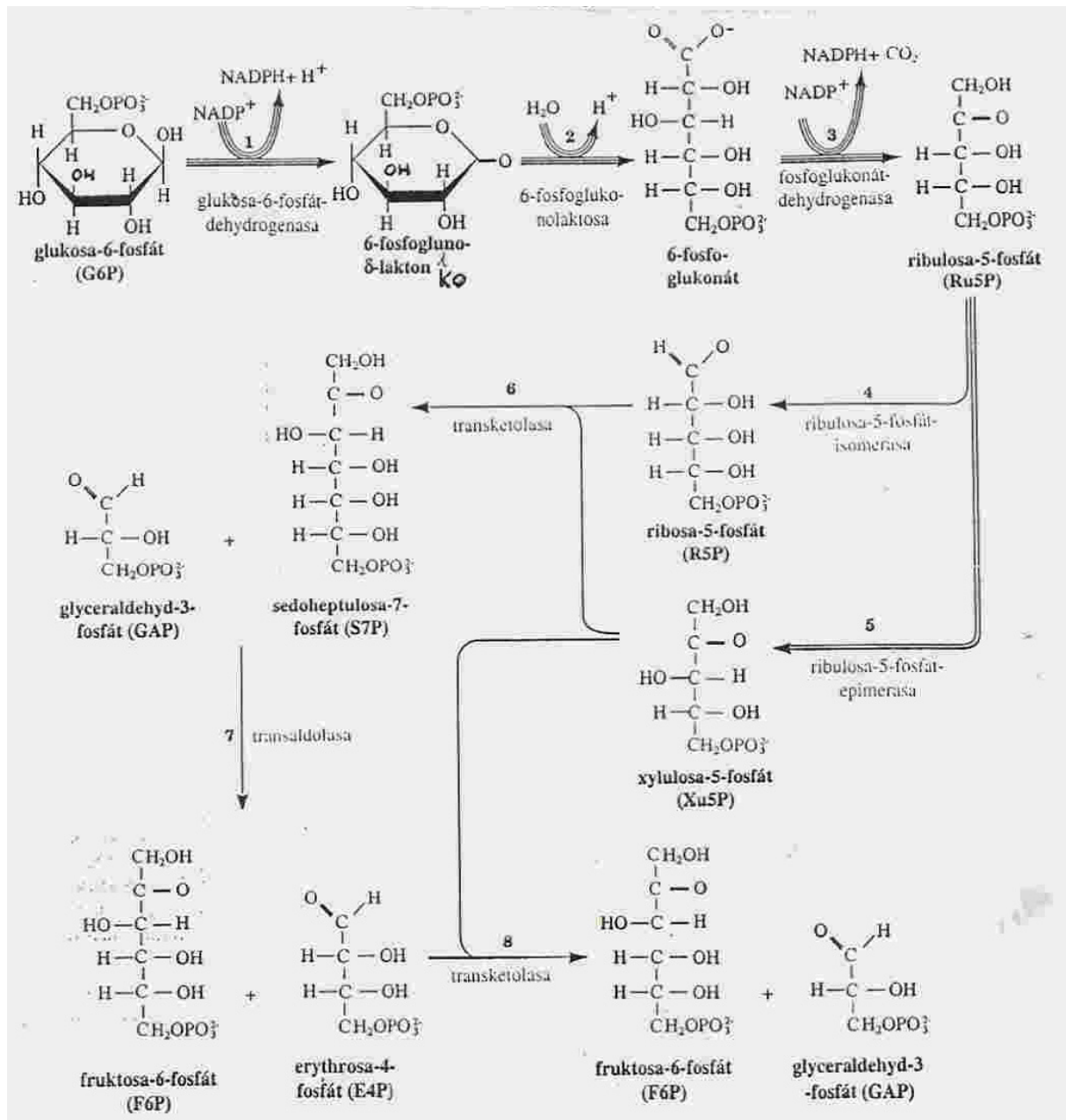
### Bilance mléčného kvašení :



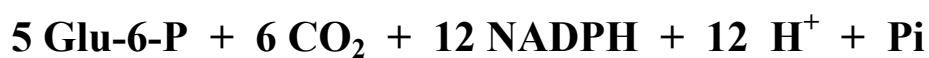
Glykolýza	1 ATP + 1 NADH	
Mléčné kvašení	- 1 NADH	
<b>CELKEM</b>	<b>1 ATP/ triosu tj.</b>	<b>2 ATP/ glukosu tj. 2 %</b>



## Pentosový cyklus

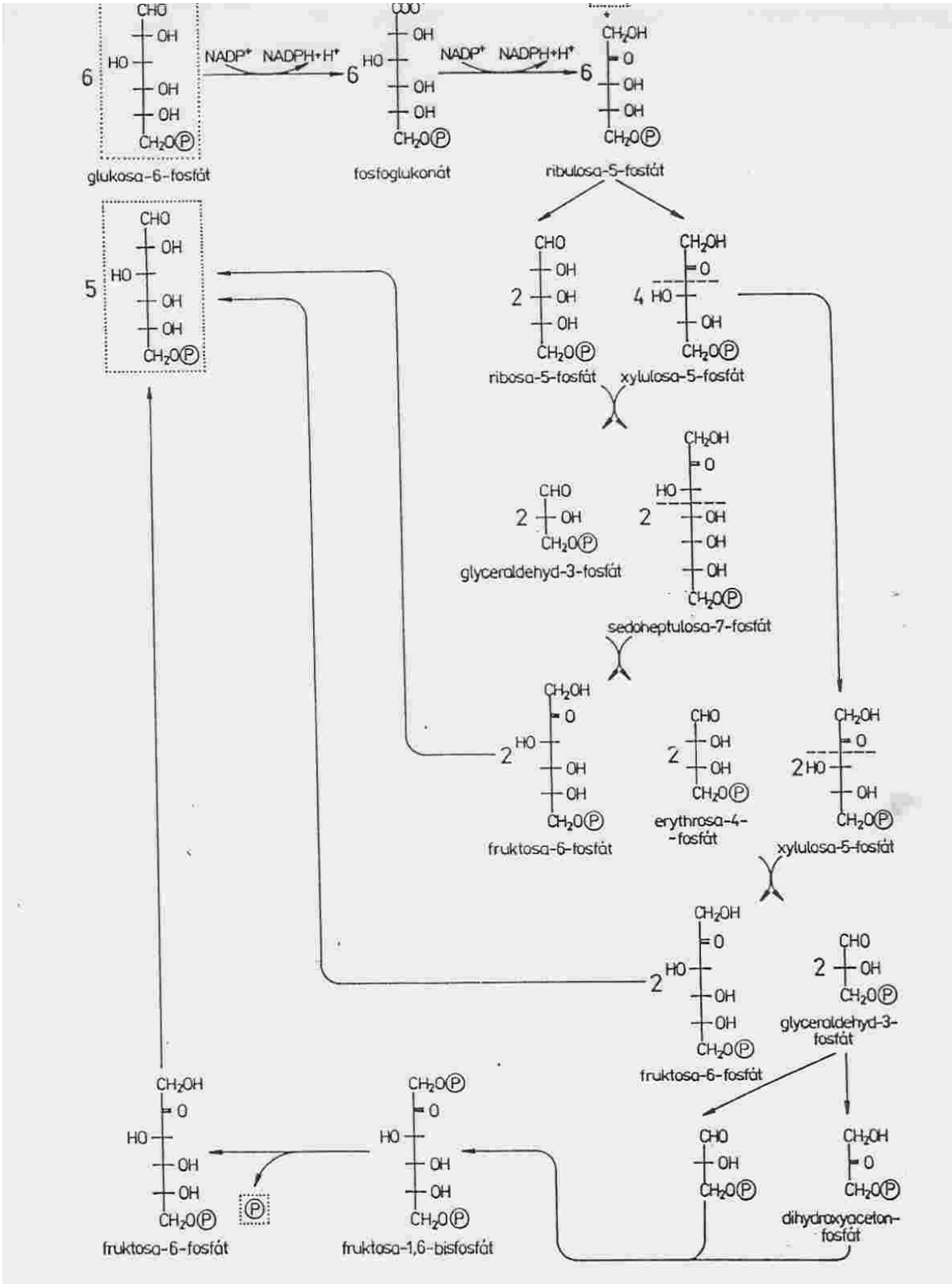


→

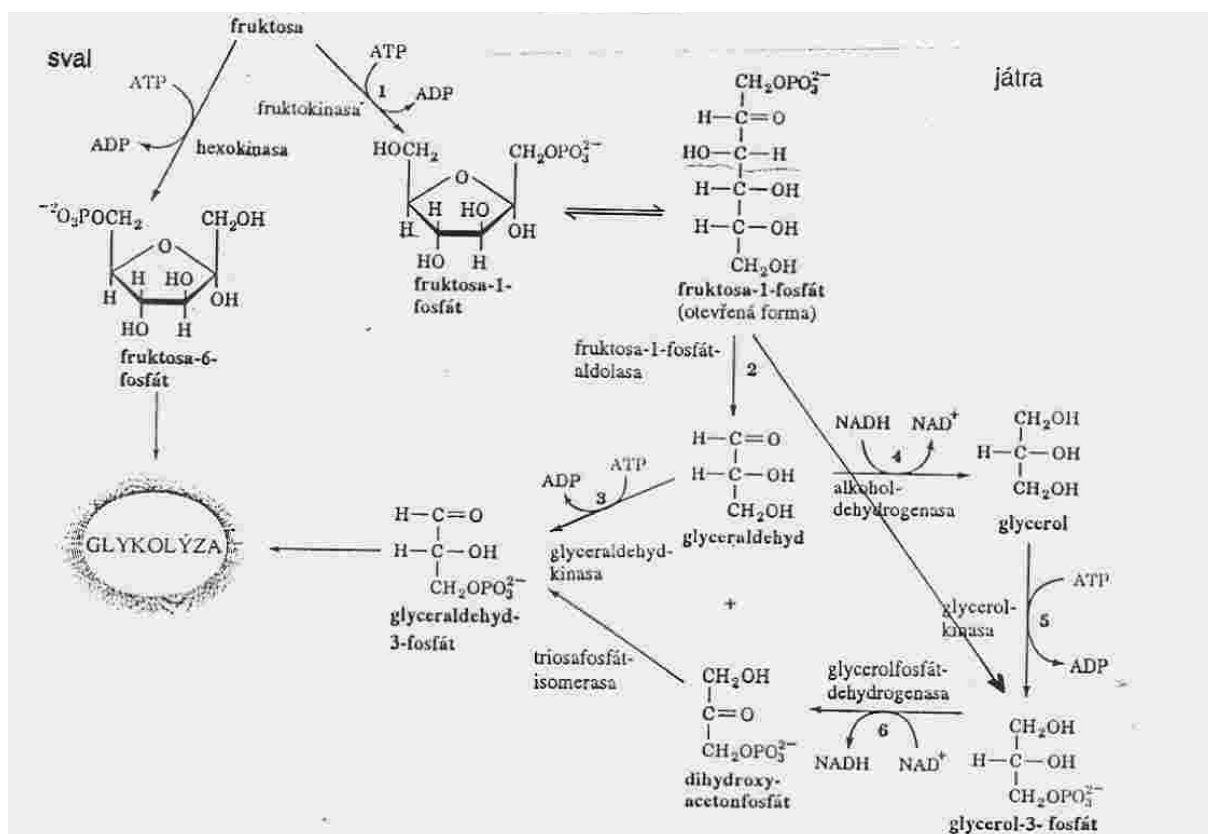


glykolýza	-	36 ATP
pentosový cyklus	-	36 ATP

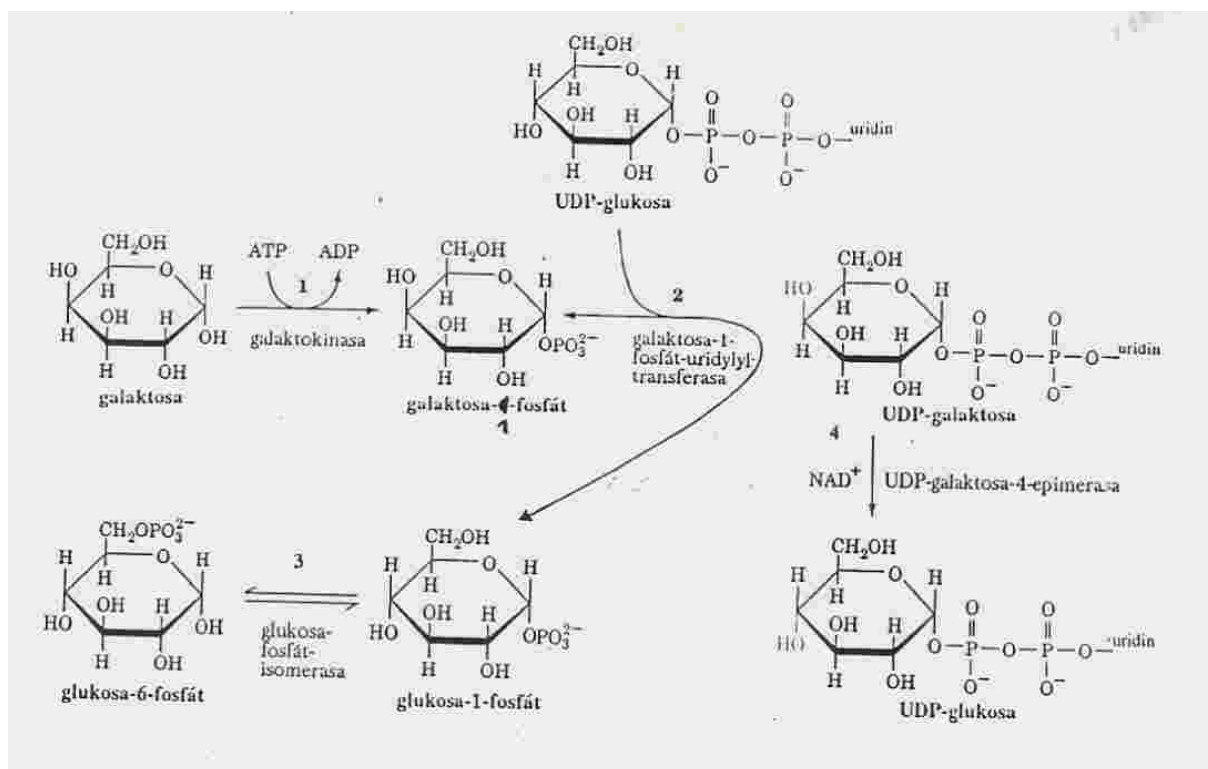




## Fruktosa



## Galaktosa

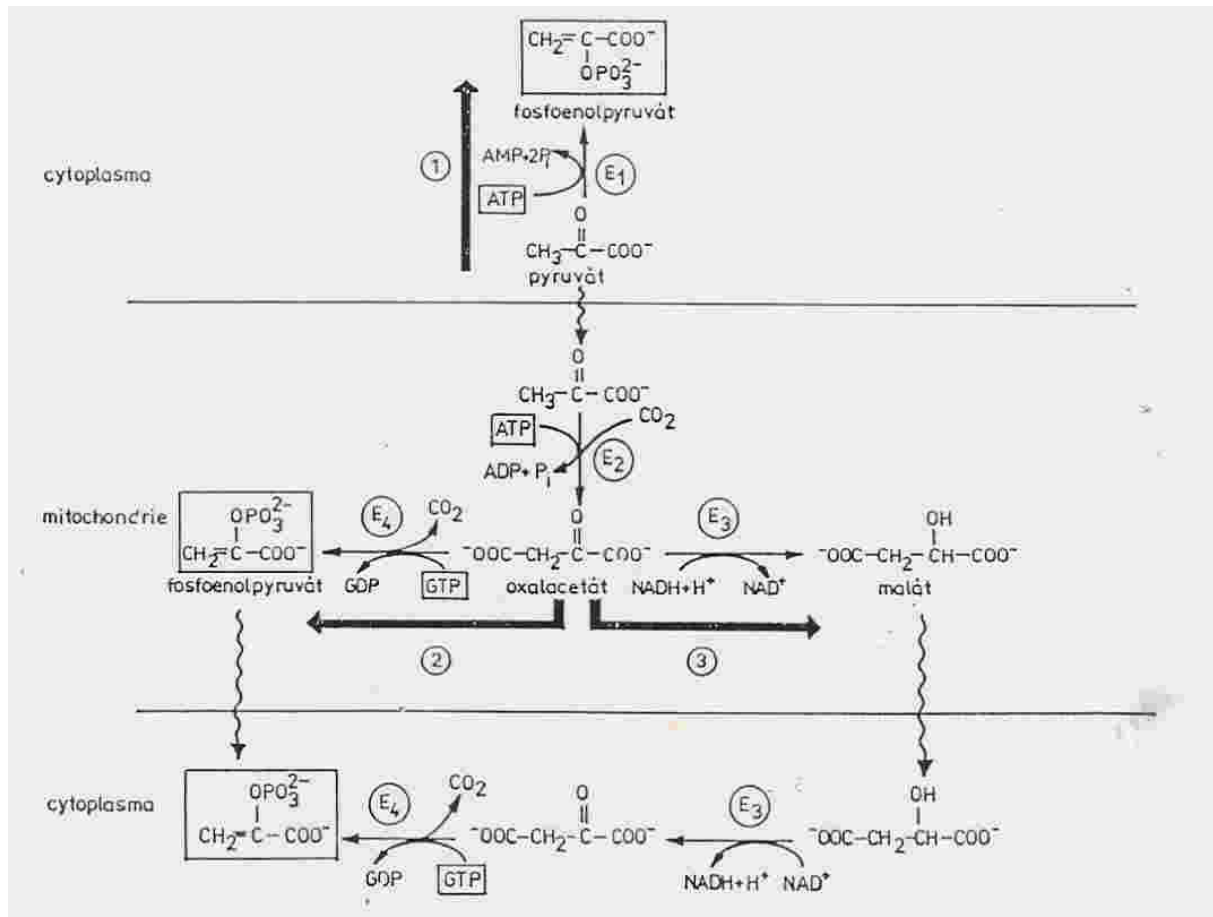


# BIOSYNTÉZA SACHARIDŮ

- Glukoneogenese
- Fotosyntéza

## Glukoneogenese

### 1. Vznik fosfoenolpyruvátu



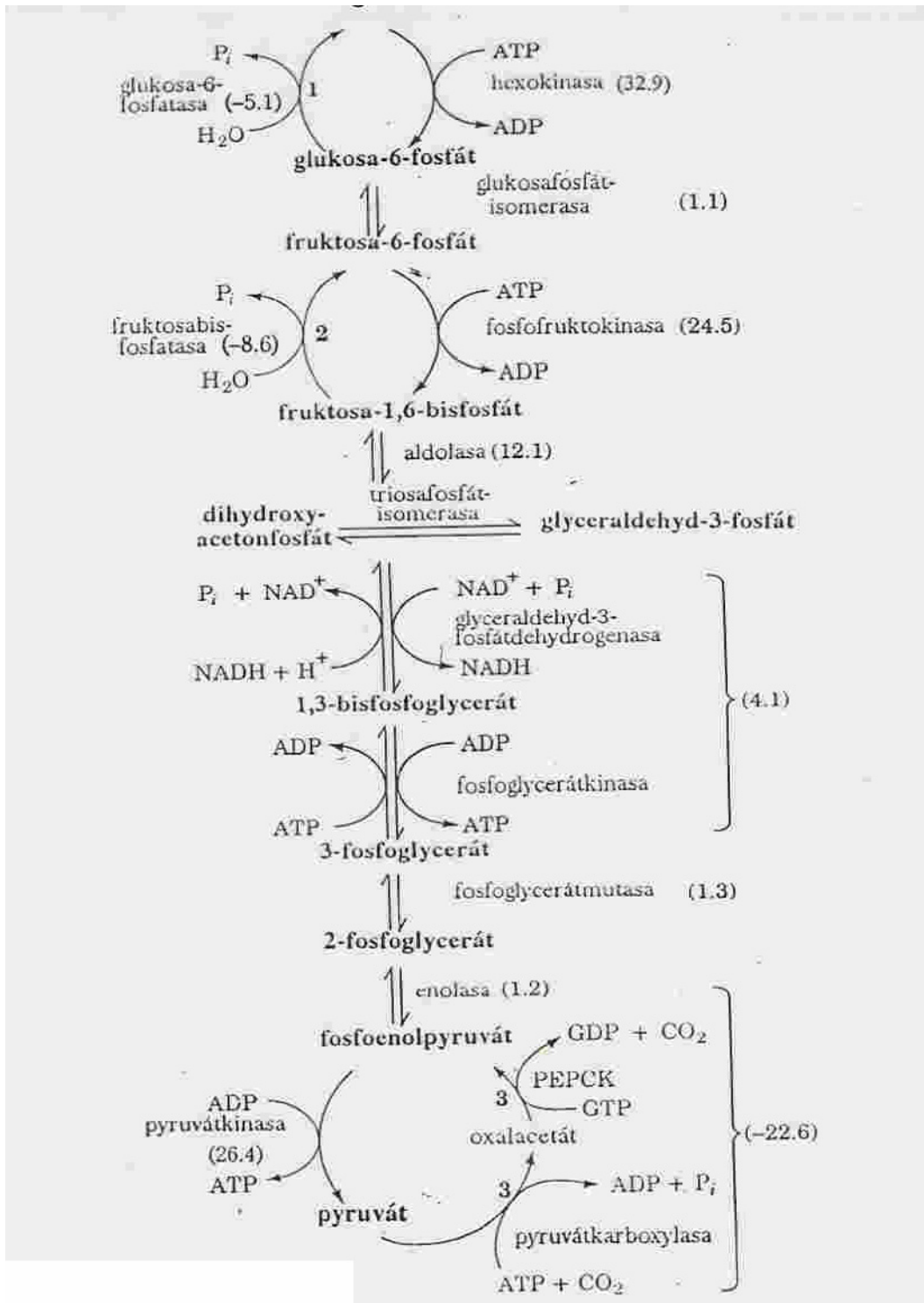
### 2. Hydrolytické reakce

#### A. fruktosabisfosfataza

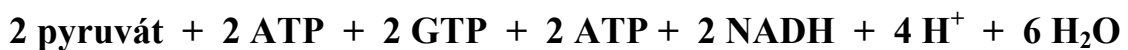


#### B. glukosafosfataza





### Bilance glukoneogeneze



→



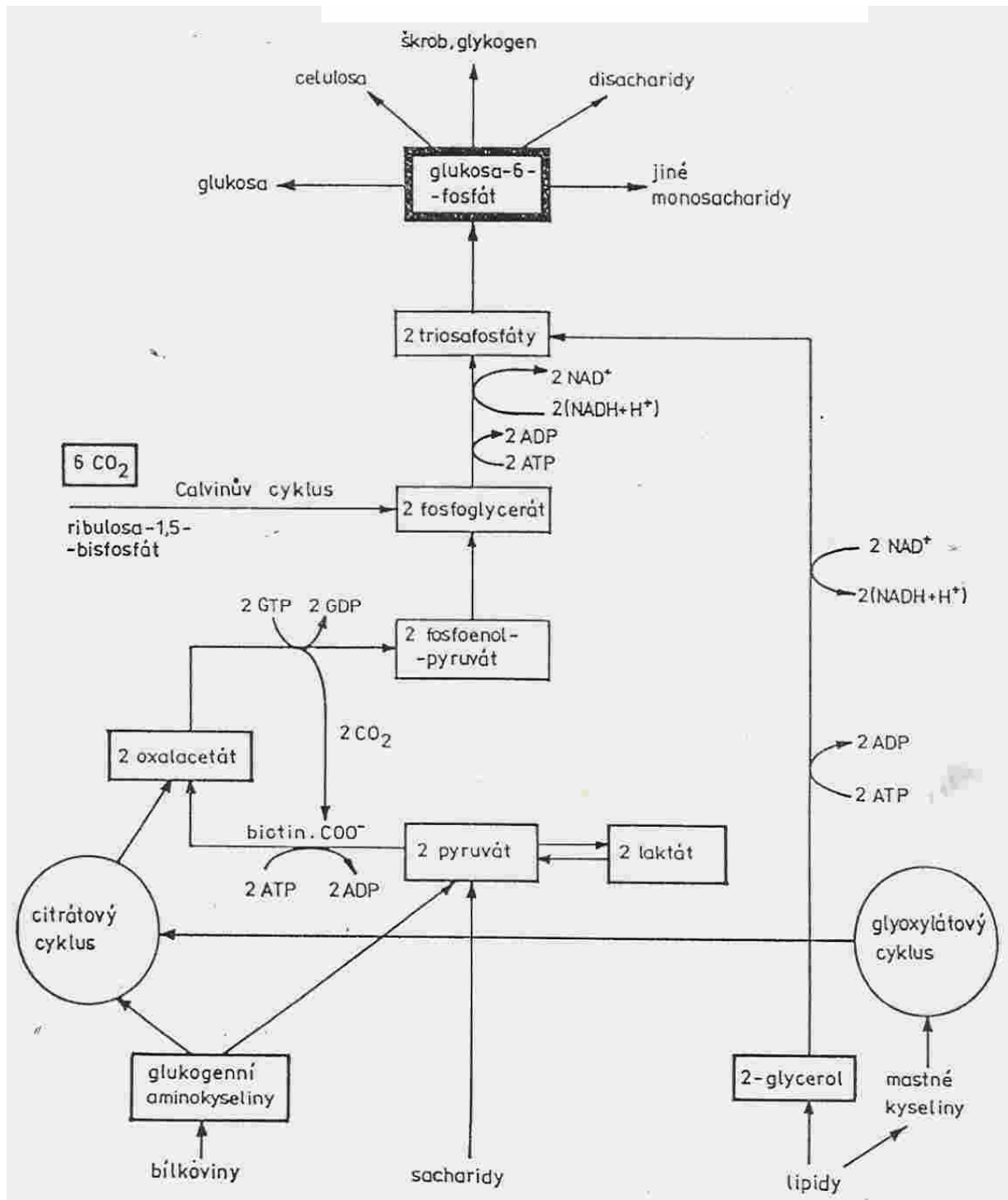
---


$$\text{glykolysa (8 ATP) - glukoneogeneze (12 ATP) = - 4 ATP}$$





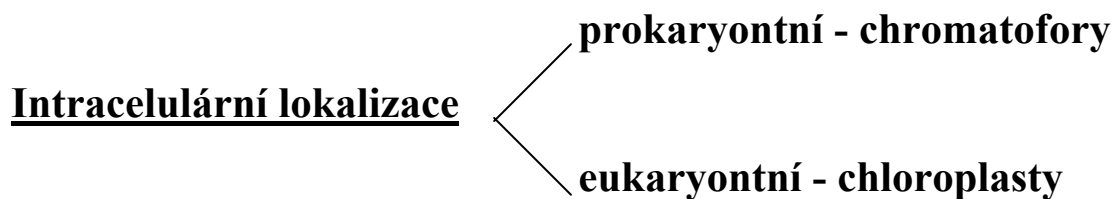
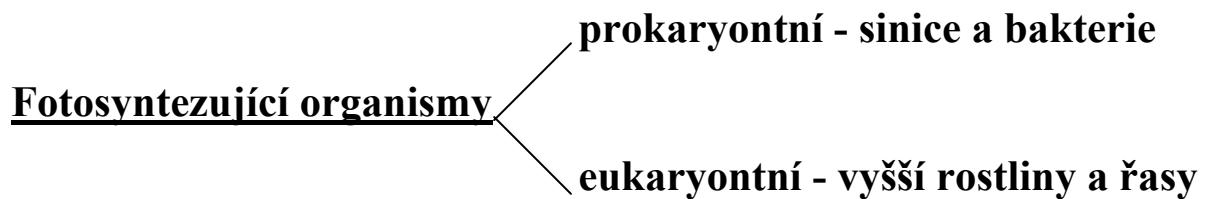
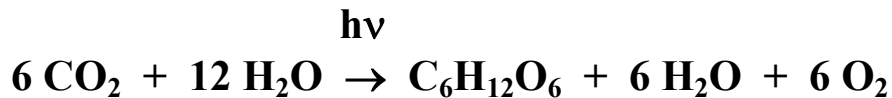
# BIOSYNTÉZA SACHARIDŮ



# FOTOSYNTÉZA

## Význam :

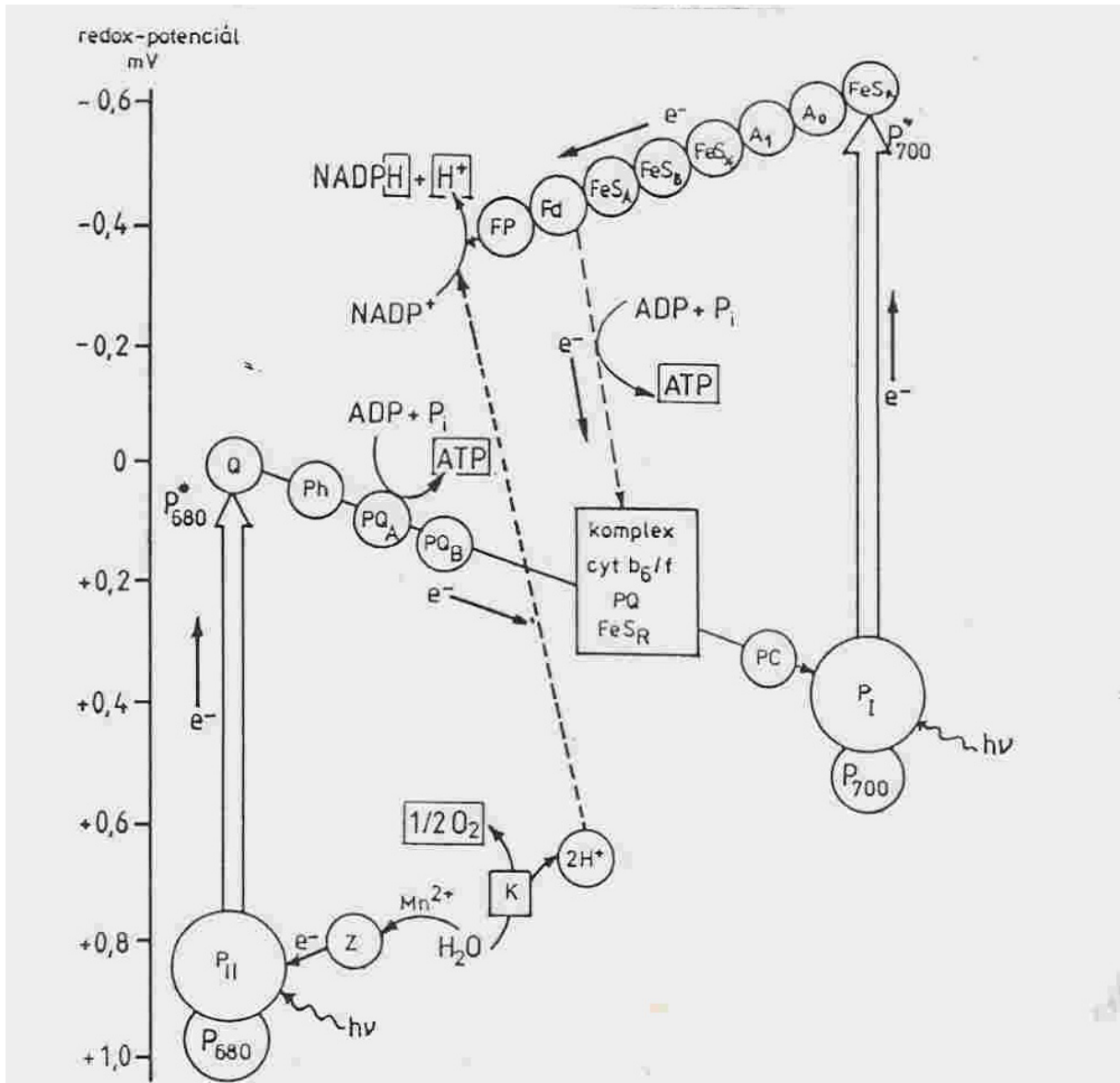
- zachycení sluneční energie a syntéza glukosy z  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$
- produkce  $\text{O}_2$



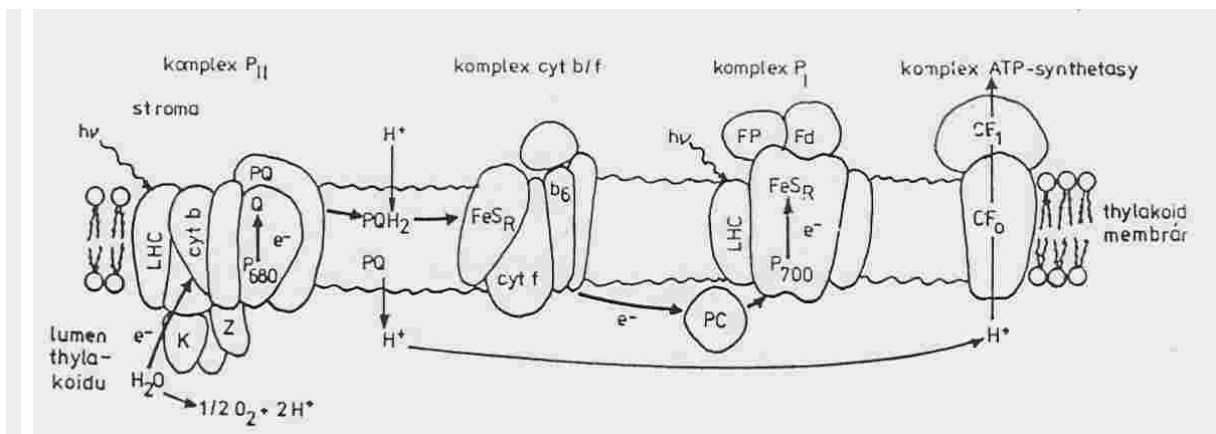
## Světelná fáze

- proces zachycení záření
- cyklický tok elektronů - cyklická fotofosforylace  $\rightarrow$  ATP
- necyklický tok elektronů - necyklická fotofosforylace  $\rightarrow$  ATP, NADP
- fotolýza vody -  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- + \frac{1}{2} \text{O}_2$
- spřažení transportu elektronů se syntézou ATP

## Schéma fotosystémů I a II

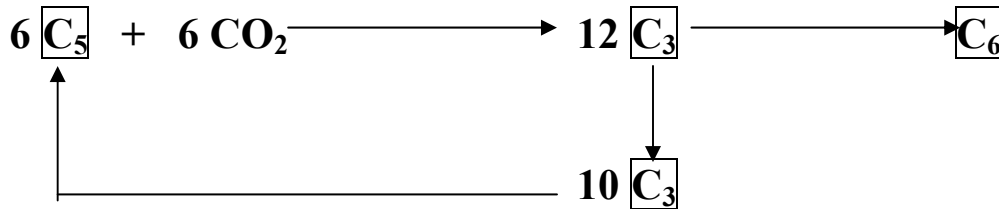


## Spražení toku elektronů a fotofosforylace



## Temná fáze

### M.CALVIN



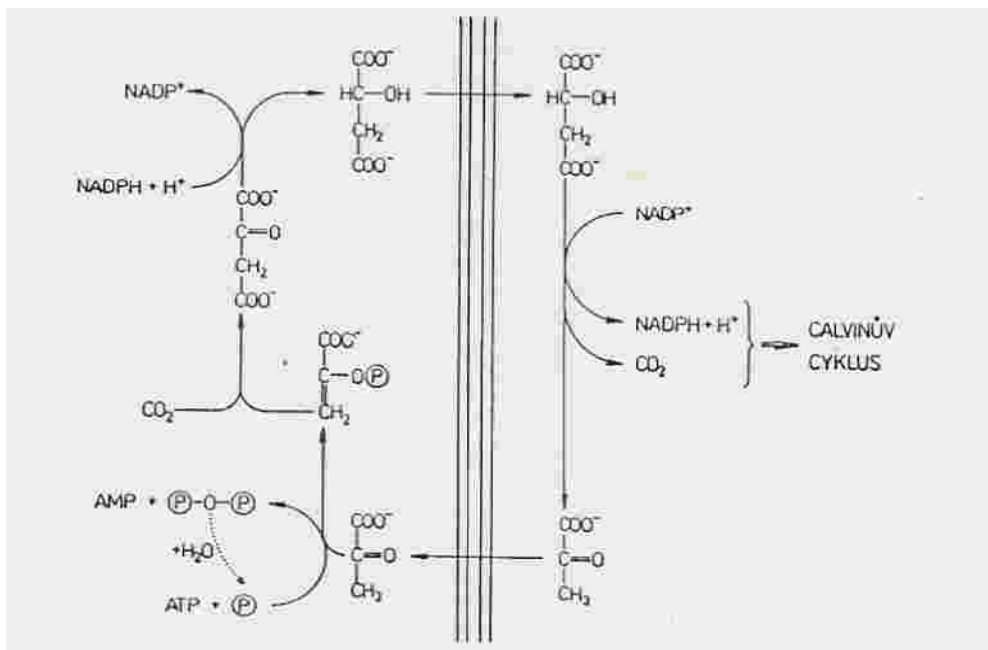
### Jiný způsob fixace CO<sub>2</sub>

#### C<sub>3</sub> rostliny

- většina rostlin a řas
- akceptor CO<sub>2</sub> ribulosa-5-P
- produkt 3-P-glycerát

#### C<sub>4</sub> rostliny

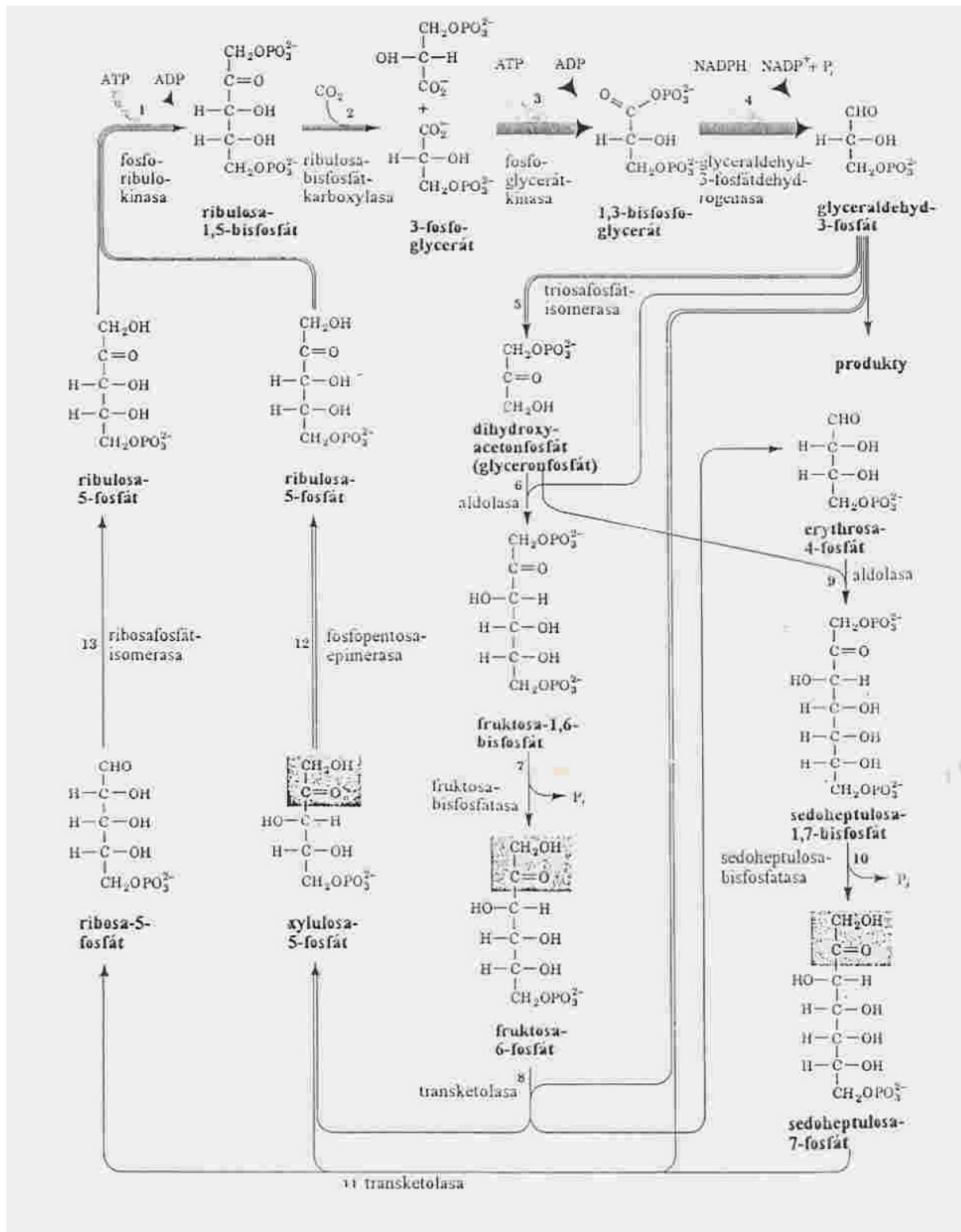
- rychlerostoucí tropické rostliny
- akceptor CO<sub>2</sub> fosfoenolpyruvát
- produkt oxalacetát

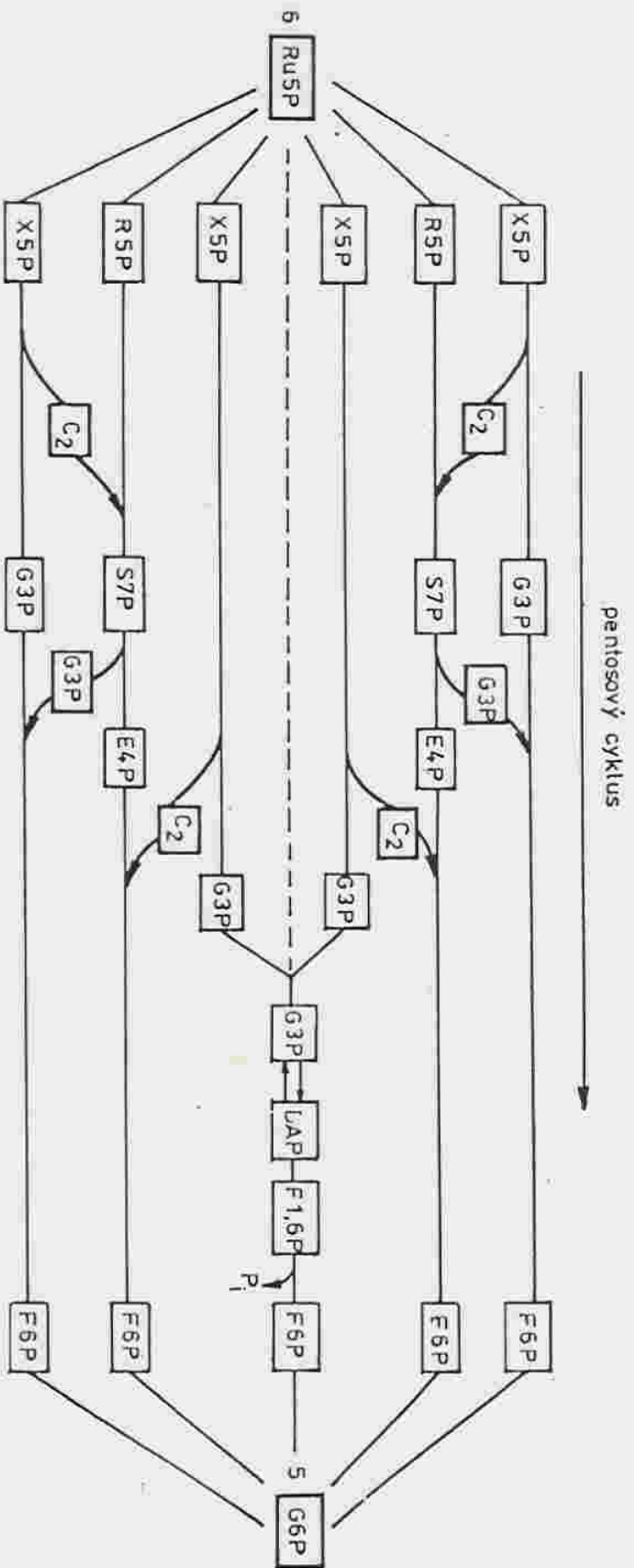


#### CAM rostliny

- tučnolisté
- příjem CO<sub>2</sub> probíhá v noci

# Calvinův cyklus





4.19 Zjednodušené schéma regenerační fáze pentosového cyklu a Calvinova cyklu (kap. 6.2.3)

Seznam zkratk:

aktivovaný glykolaldehyd  $C_2$

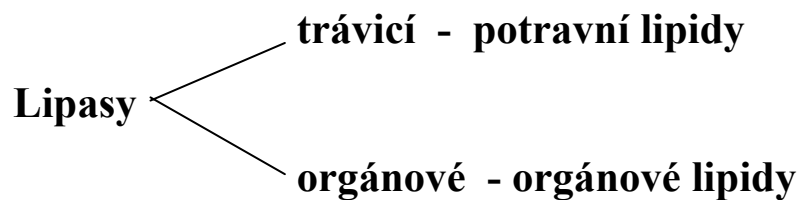
- Aldosy
- glyceraldehyd-3-fosfát G3P
  - erythrosa-4-fosfát E4P
  - ribosa-5-fosfát R5P
  - glukosa-6-fosfát G6P

- Ketosy
- dihydroxyacetonfosfát
  - ribulosa-5-fosfát
  - xydulosa-5-fosfát
  - fruktosa-6-fosfát
  - fruktosa-1,6-bisfosfát
  - sedoheptulosa-7-fosfát

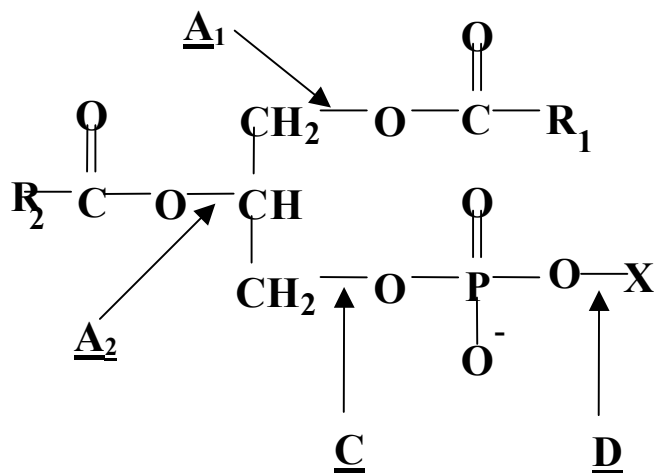
- DAP
- Ru5P
- X5P
- F6P
- F1,6P
- S7P

# METABOLISMUS LIPIDŮ

## Lipasy - hydrolasy - karboxylesterasy



## Fosfolipasy





# Odbourávání mastných kyselin

## β oxidace

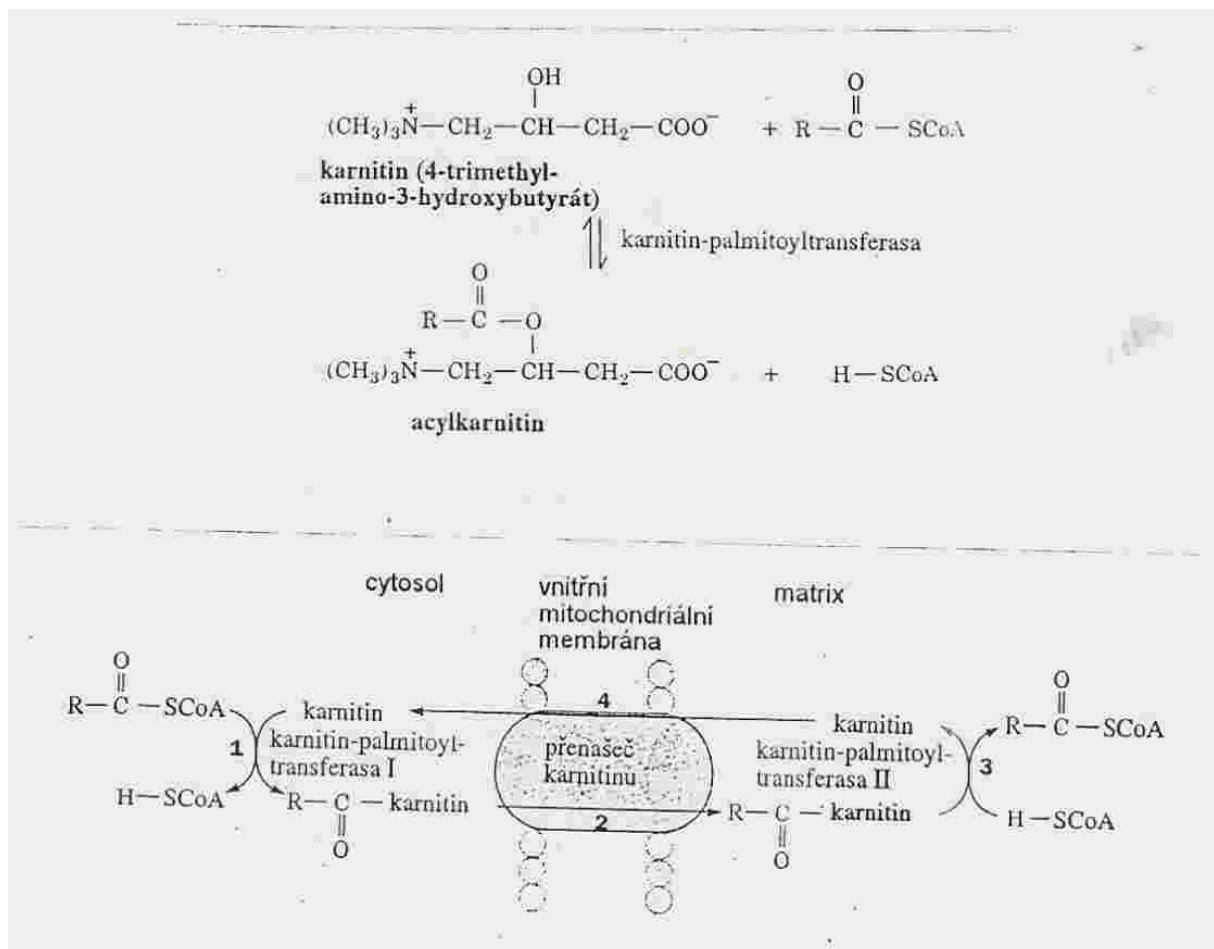
F.KNOOP 1909

F.LYNEN 1951

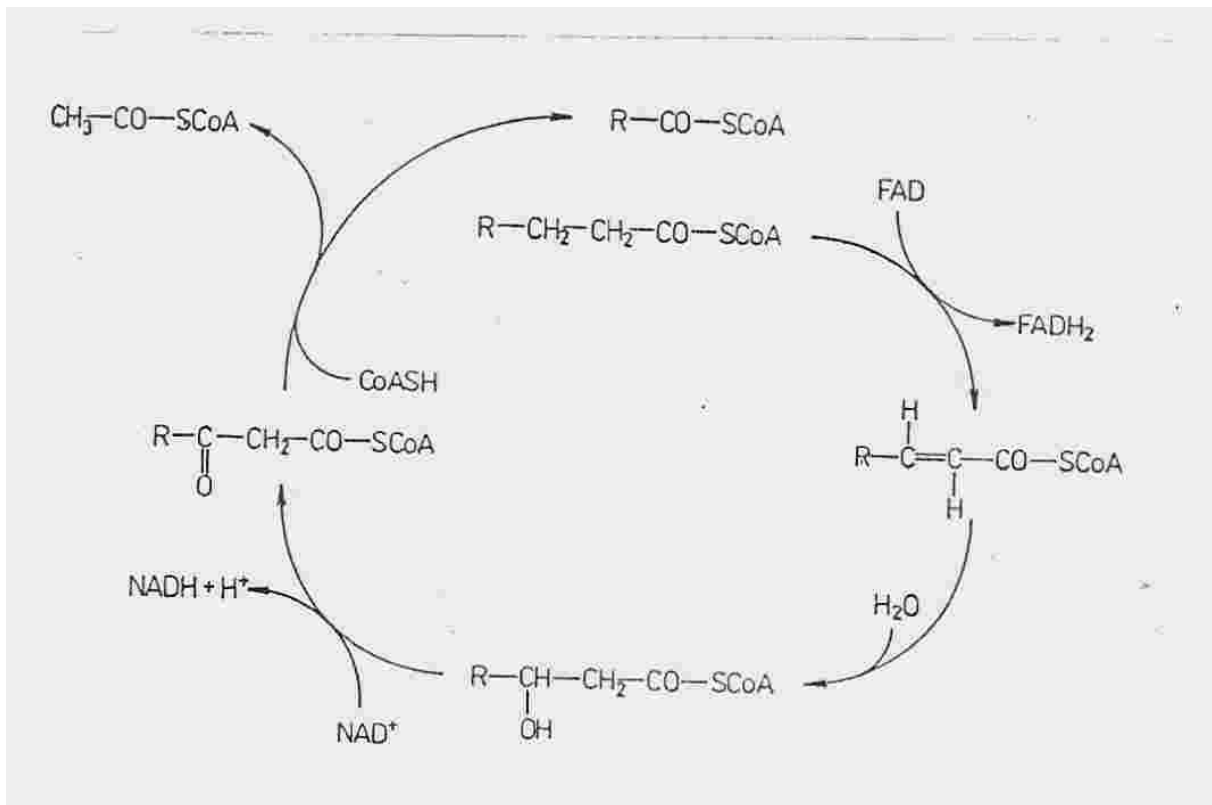
### *A. Aktivace mastných kyselin*



### *B. Transport RCOSCoA - karnitinový člunek*



### C. $\beta$ oxidace

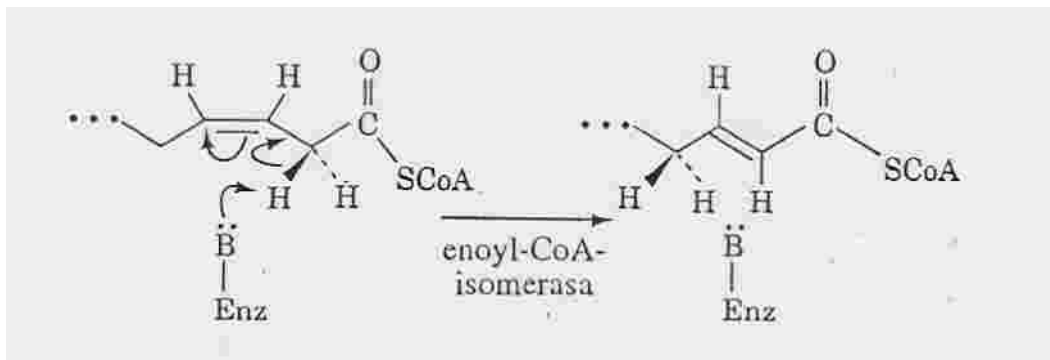


### Bilance $\beta$ oxidace :

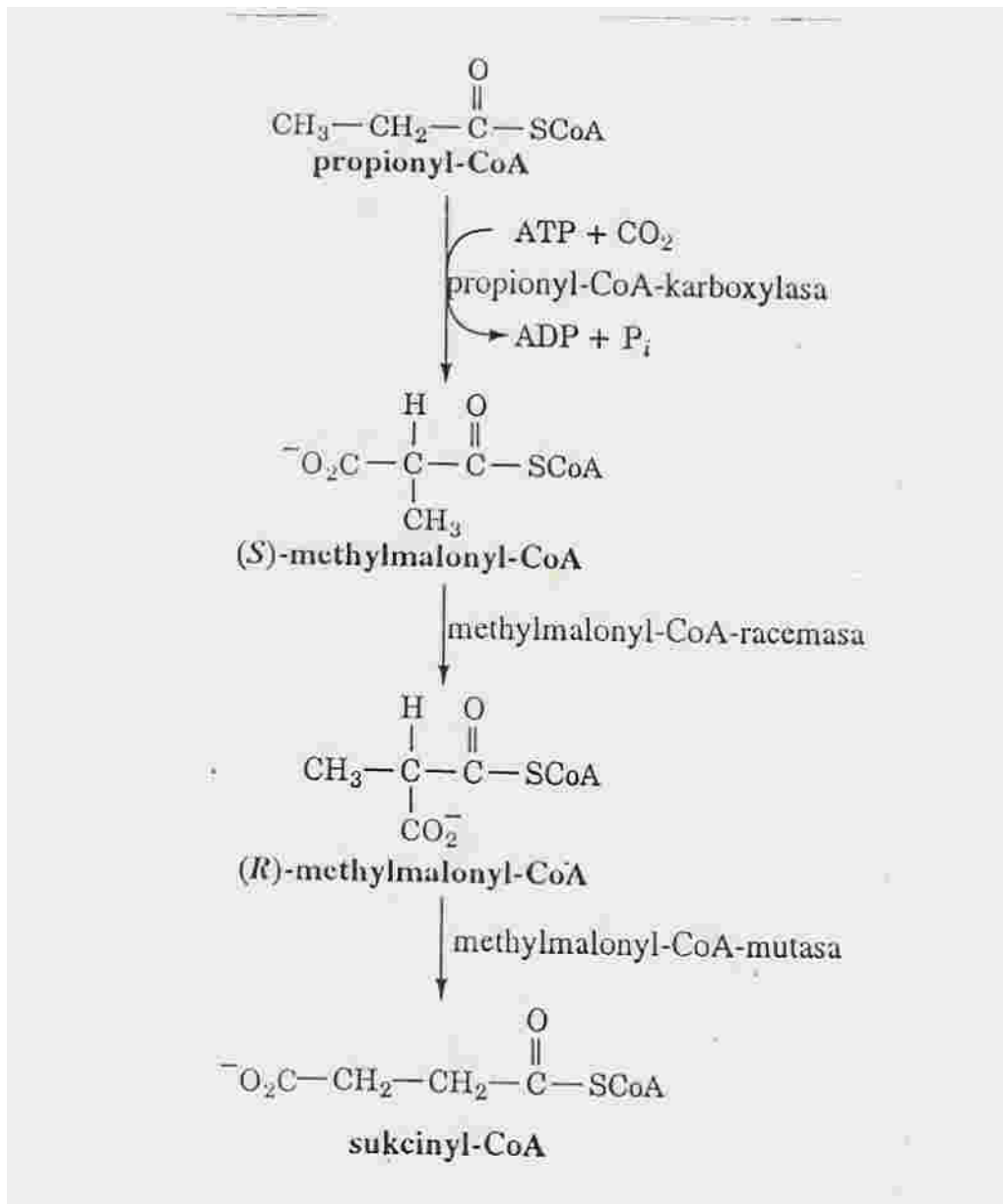
1. cyklus - 1  $FADH_2$  (2 ATP) + 1 NADH (3 ATP) - 5 ATP  
 acetylCoA (citrátový cyklus) - 12 ATP

na  $C_{16}$  - 7 x  $\beta$  oxidace + 8 x citrátový cyklus - aktivace  
 (7 x 5) + (8 x 12) - 2 ATP = 129 ATP

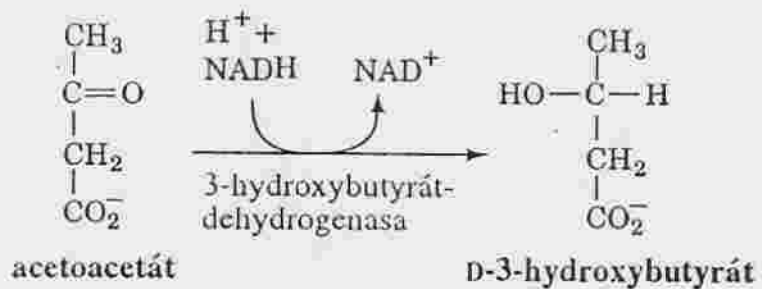
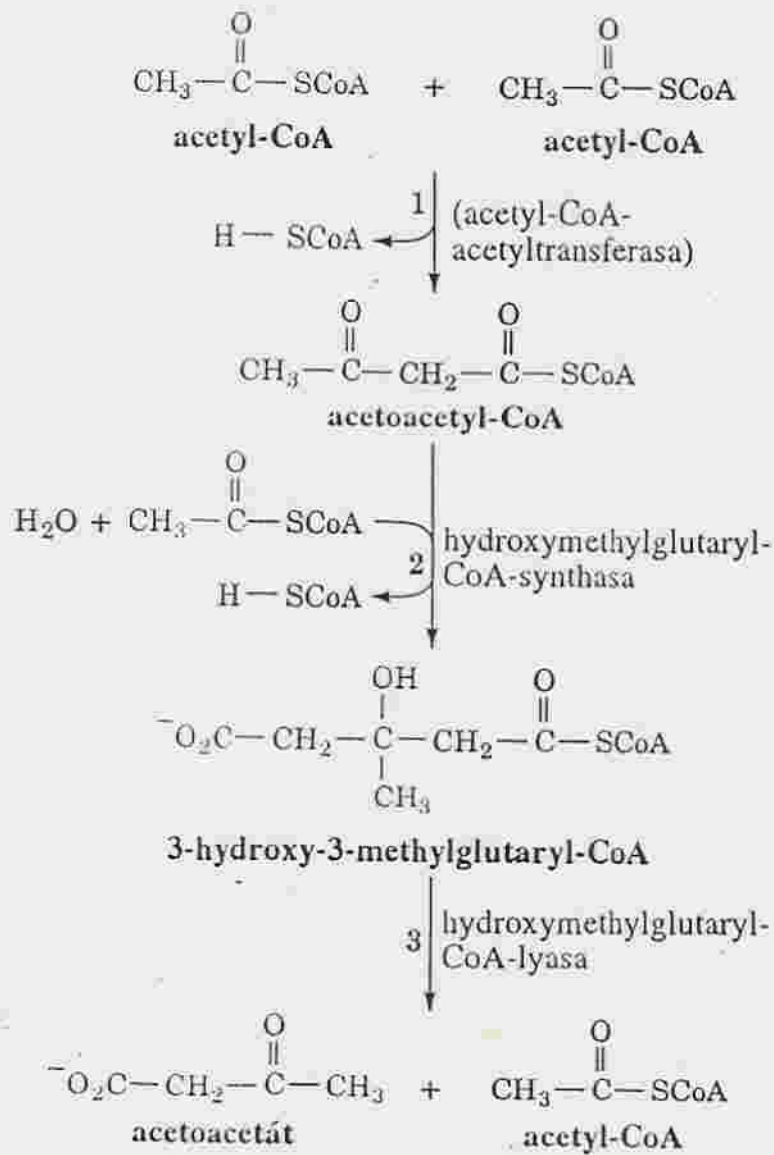
## Odbourávání nenasycených mastných kyselin



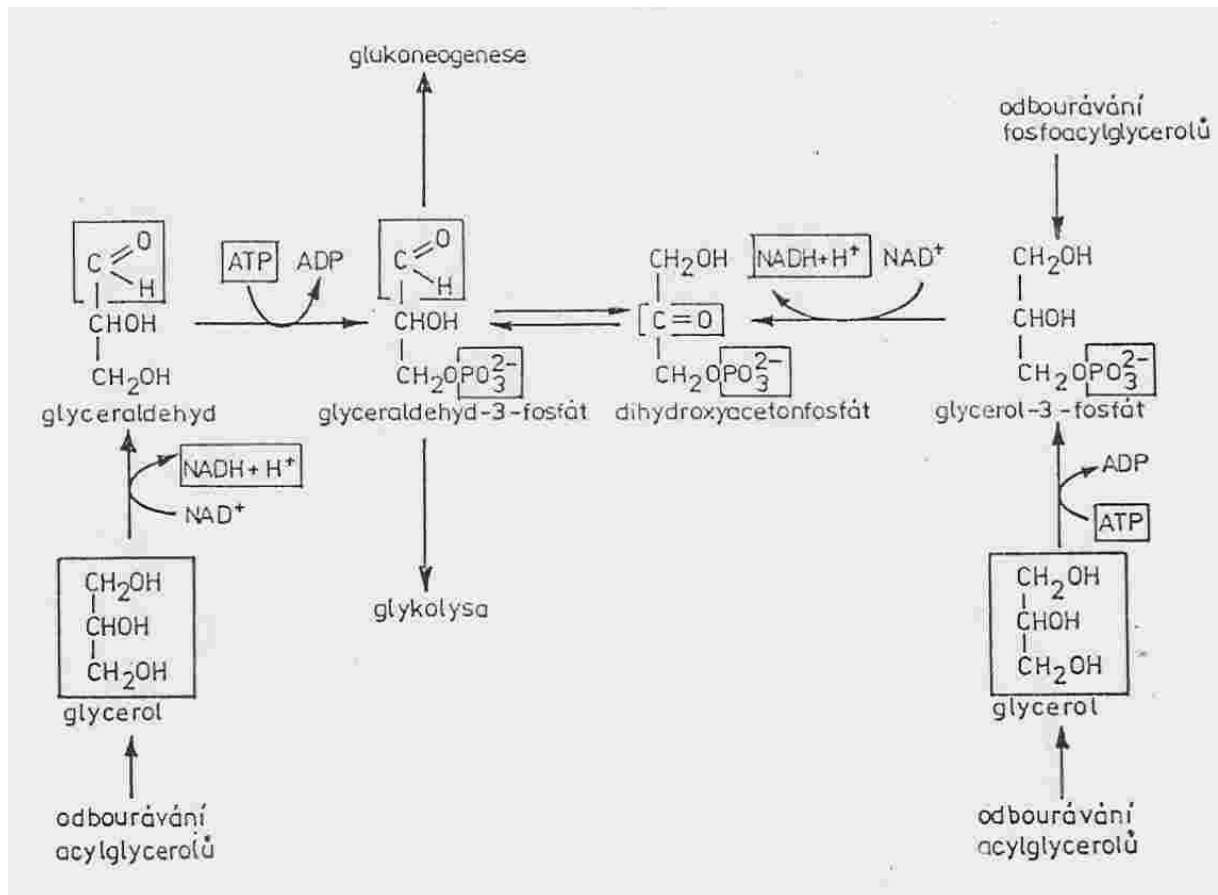
## Odbourávání mastných kyselin s lichým počtem C atomů



## Ketonové látky

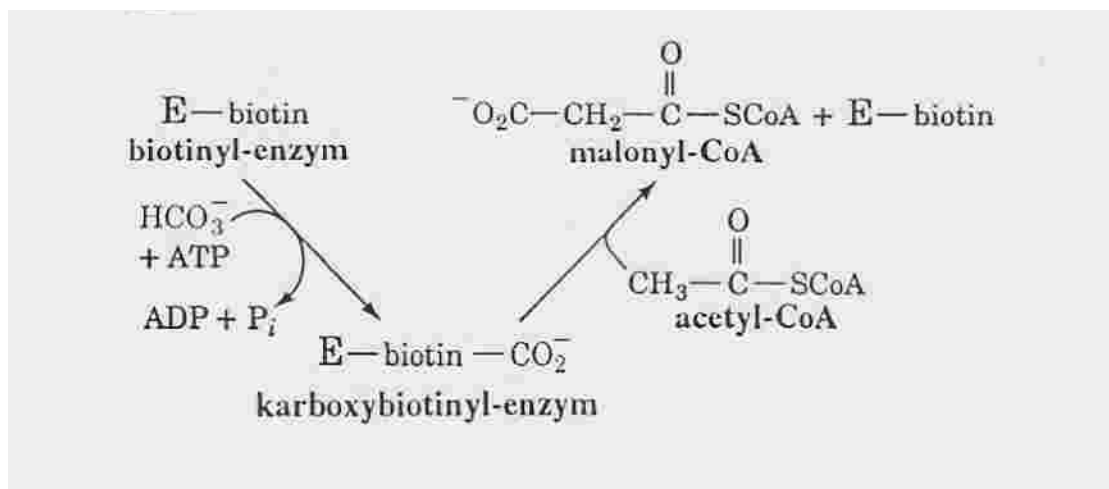


## Metabolismus glycerolu

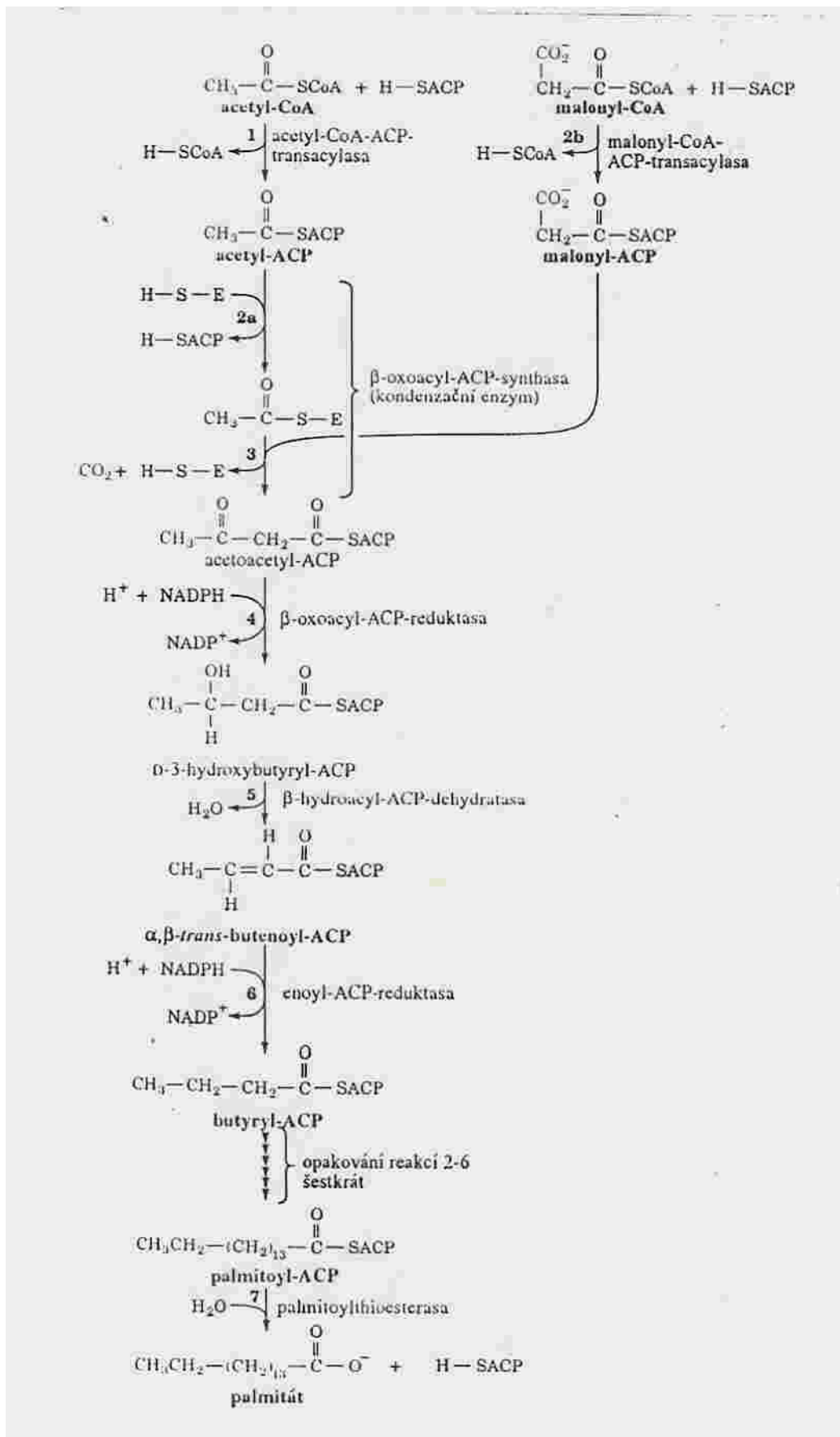


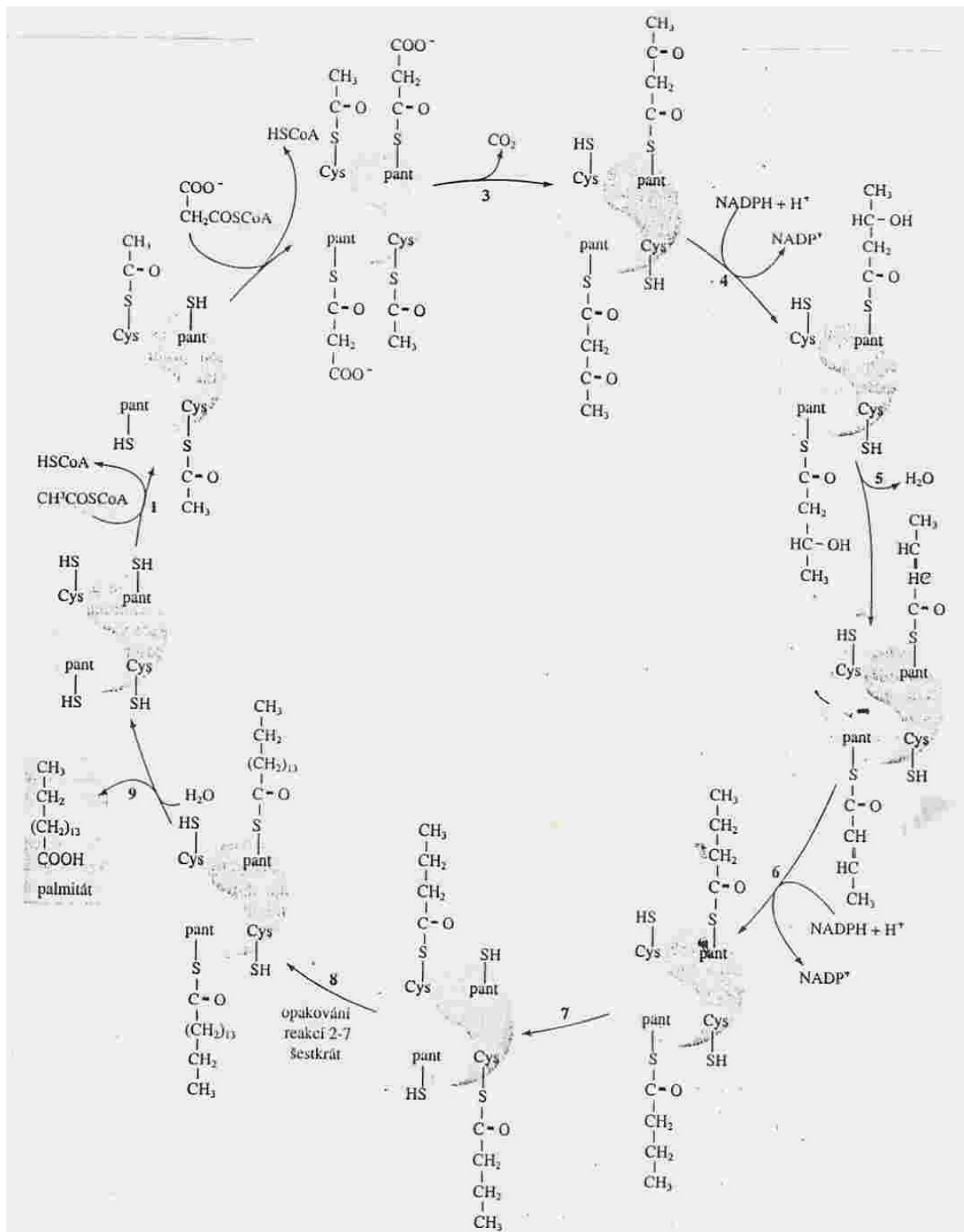
## Biosyntéza mastných kyselin

### *A. Syntéza malonylCoA*

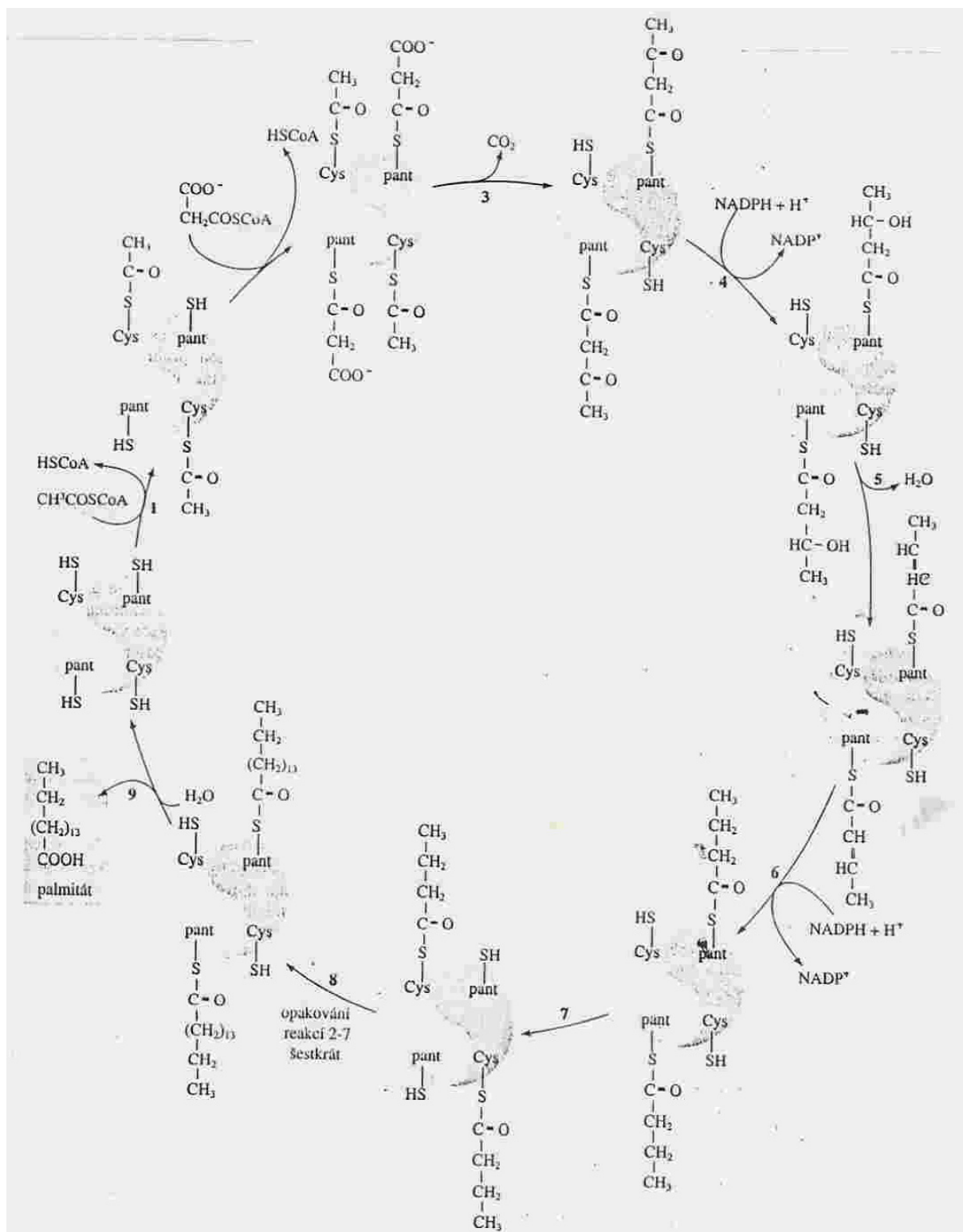


## B. Syntéza palmitové kyseliny





## Synthesa mastných kyselin





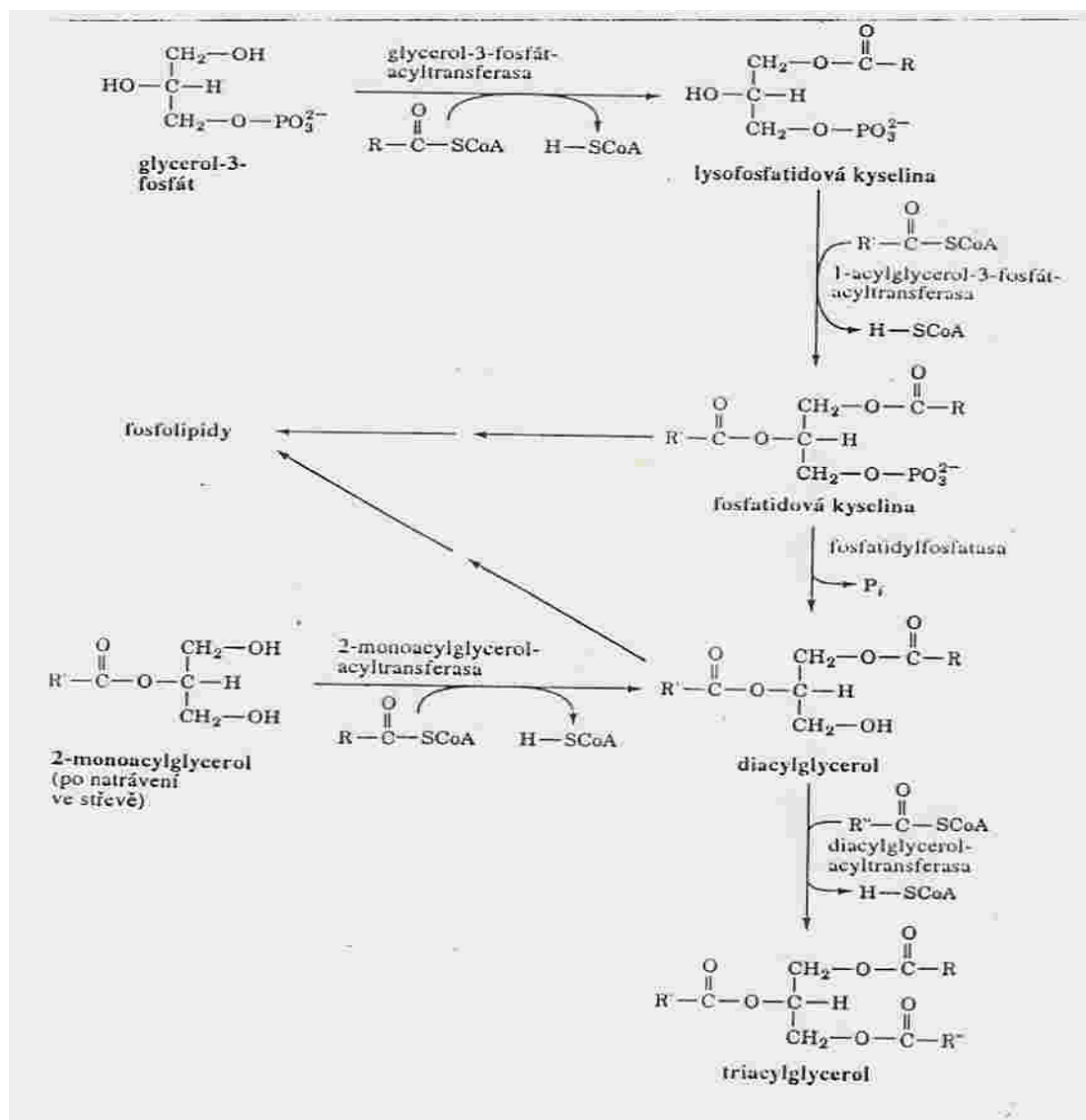
### C. Další přeměny palmitové kyseliny

- prodlužování řetězce - elongace - elongasy
- dehydrogenace - desaturece - desaturasy

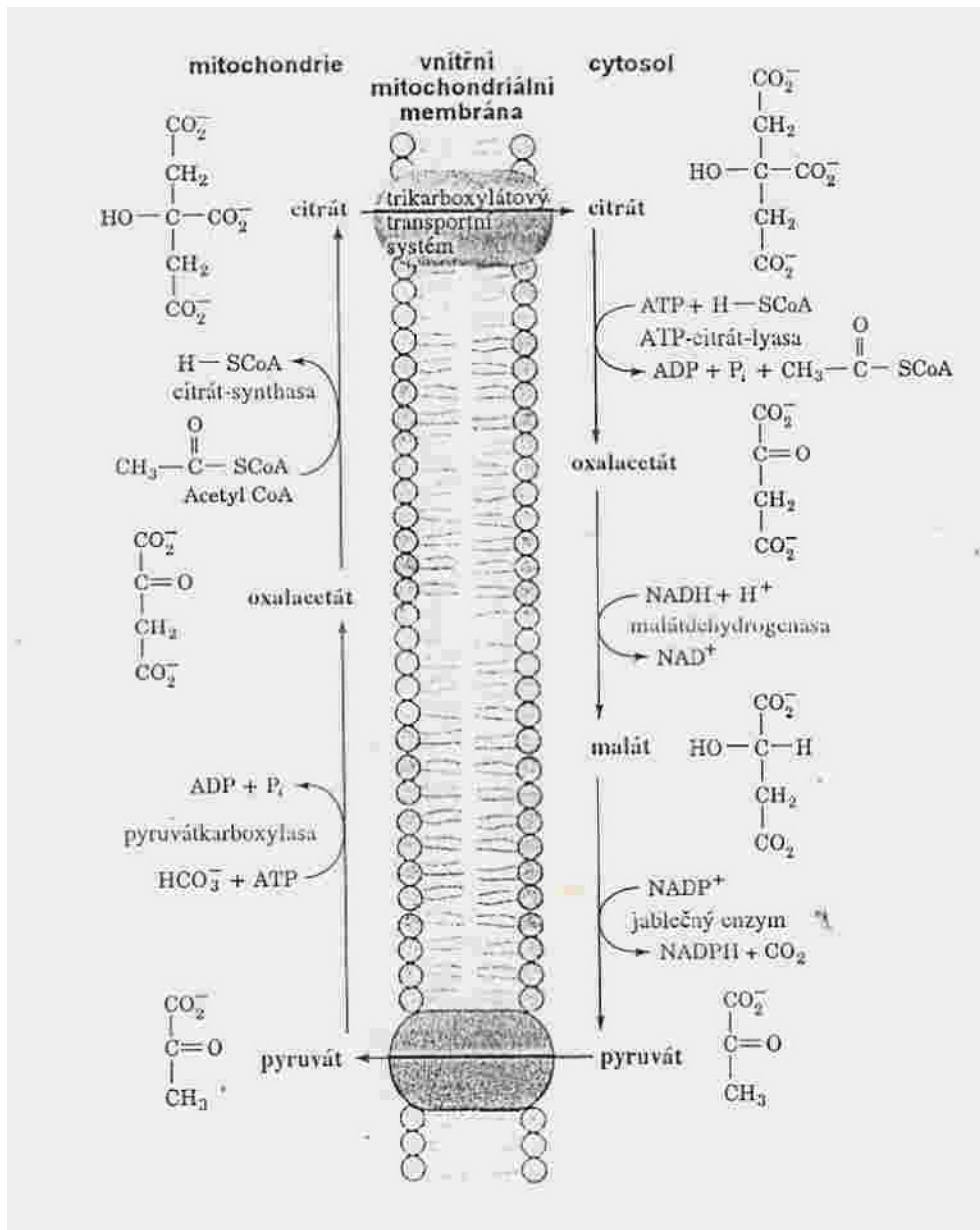
### Bilance biosyntézy mastných kyselin :

1. cyklus	syntéza malonylCoA	1 ATP
	2 NADPH na redukci	6 ATP
na C <sub>16</sub>	7 x (16/2 - 1)	49 ATP

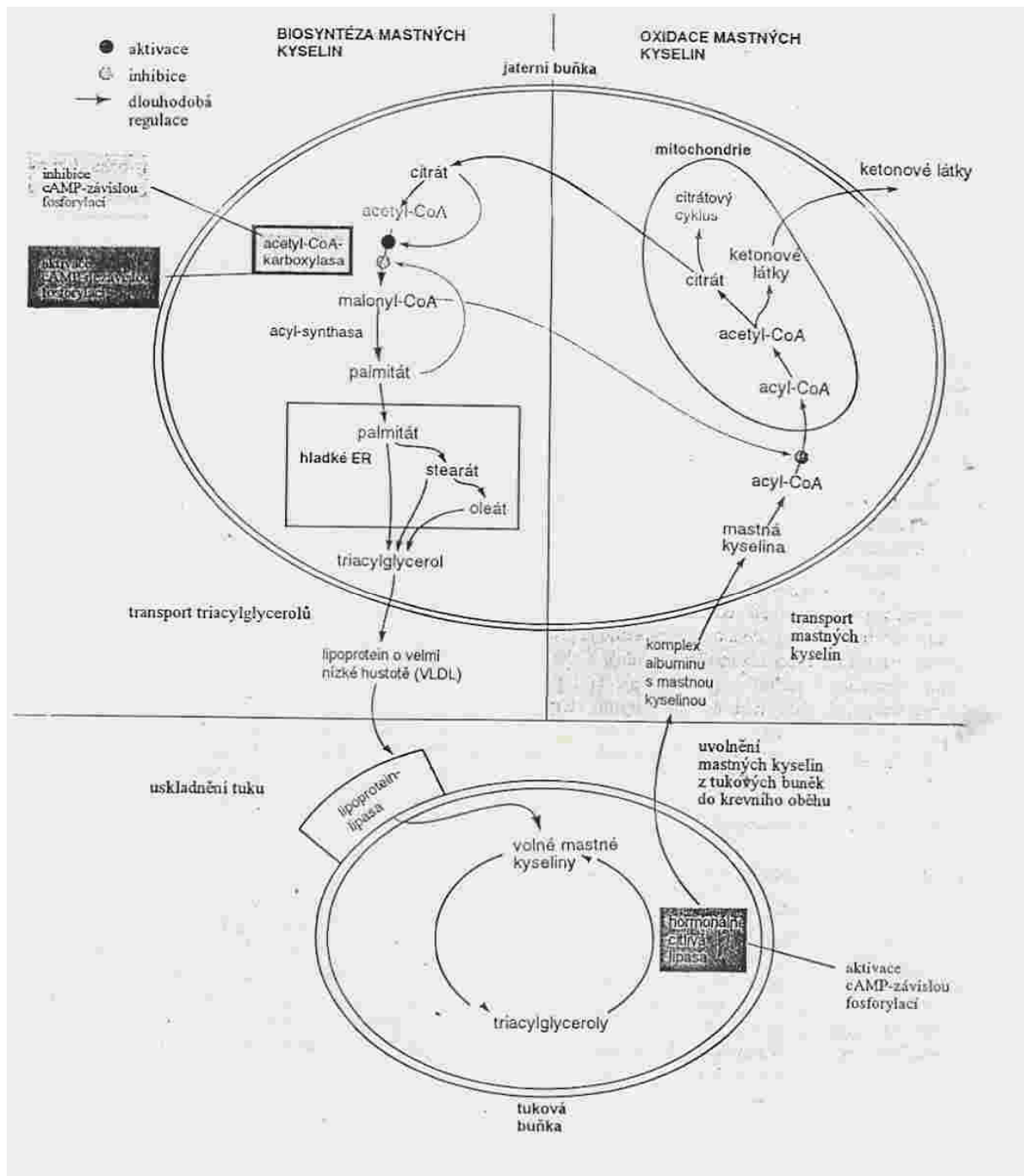
### Biosyntéza triacylglycerolů



## Přenos AcetCoA vně mitochondrie



# Regulace metabolismu triacylglycerolů



**insulin**

CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O  
energie

mastné kyseliny

⇌

tuk

↑

glukosa

⇌

glykogen

⇌

aminokyseliny

⇌

proteiny

**glukagon**

CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O  
energie

mastné kyseliny

⇌

tuk

↑

glukosa

⇌

glykogen

⇌

aminokyseliny

⇌

proteiny

**adrenalin**

CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O  
energie

mastné kyseliny

⇌

tuk

↑

glukosa

⇌

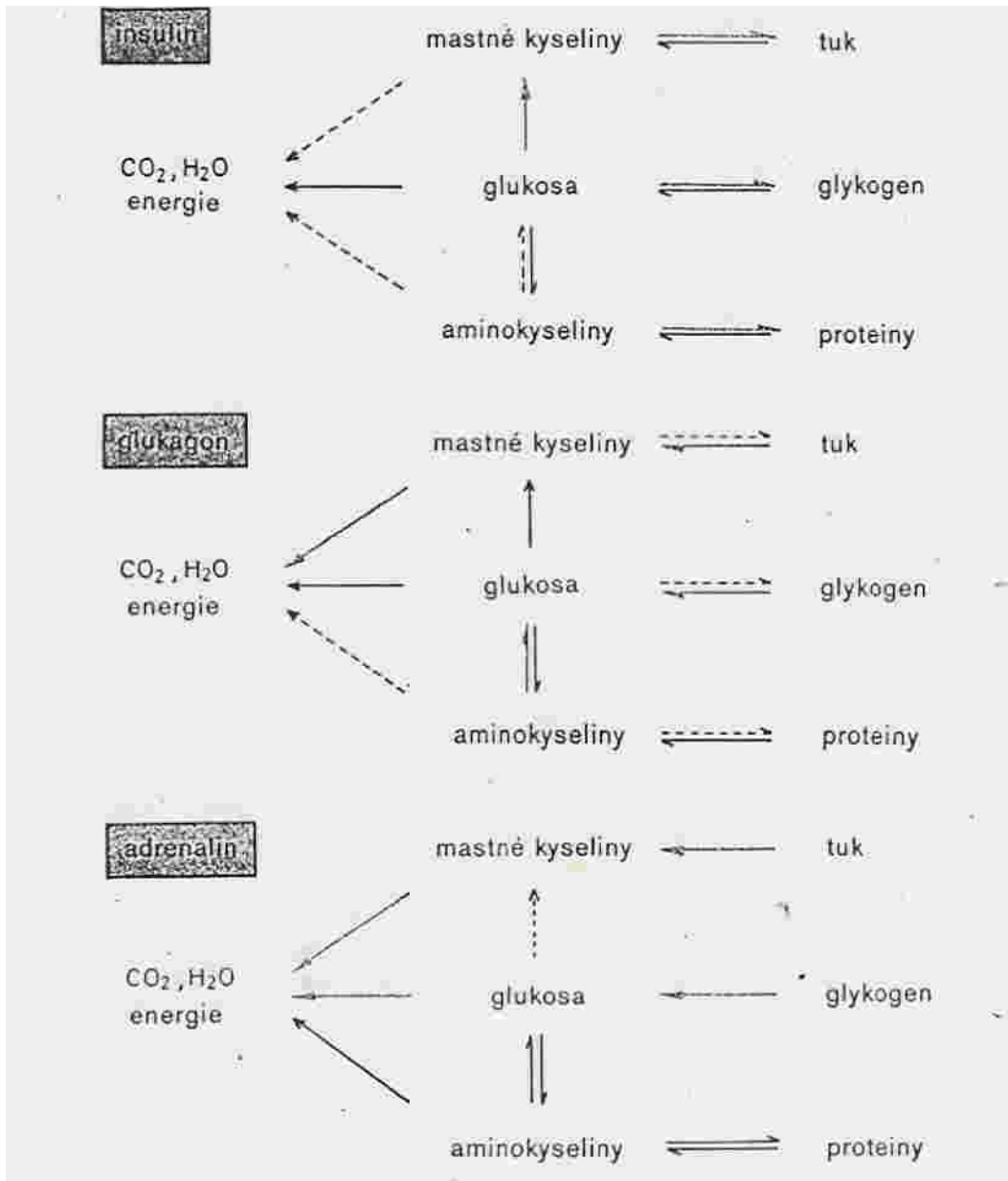
glykogen

⇌

aminokyseliny

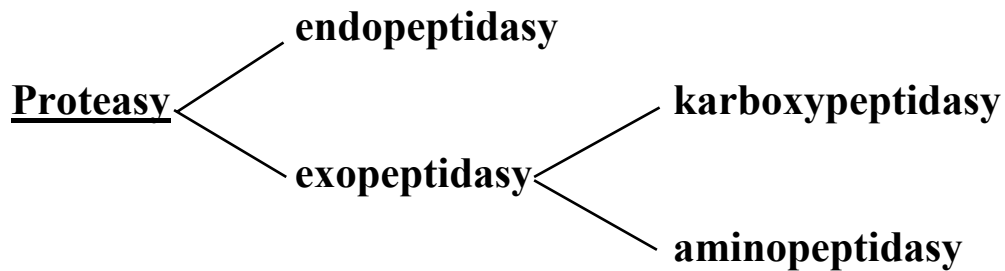
⇌

proteiny



# METABOLISMUS BÍLKOVIN

## Proteolýza



Proteasy - serinové  
cysteinové  
metaloproteasy  
kyselé - aspartátové

### 1. Žaludeční proteasy

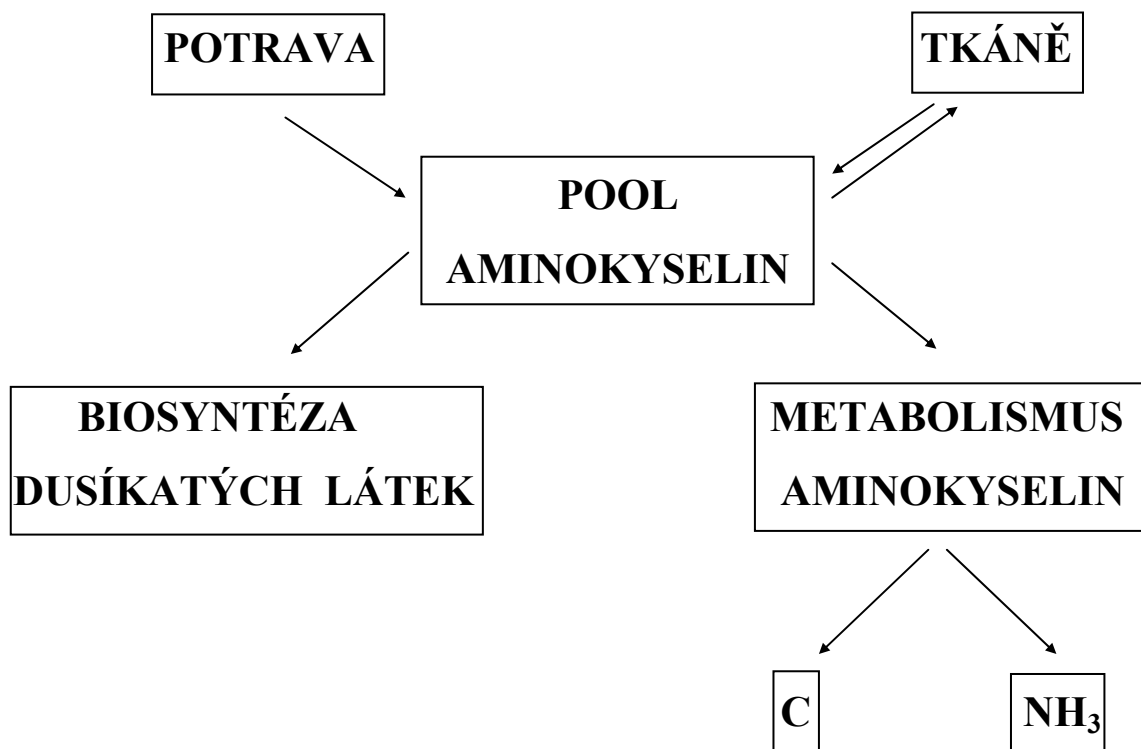
- pepsin
- chymosin (renin, sýřidlo)

### 2. Pankreatické proteasy

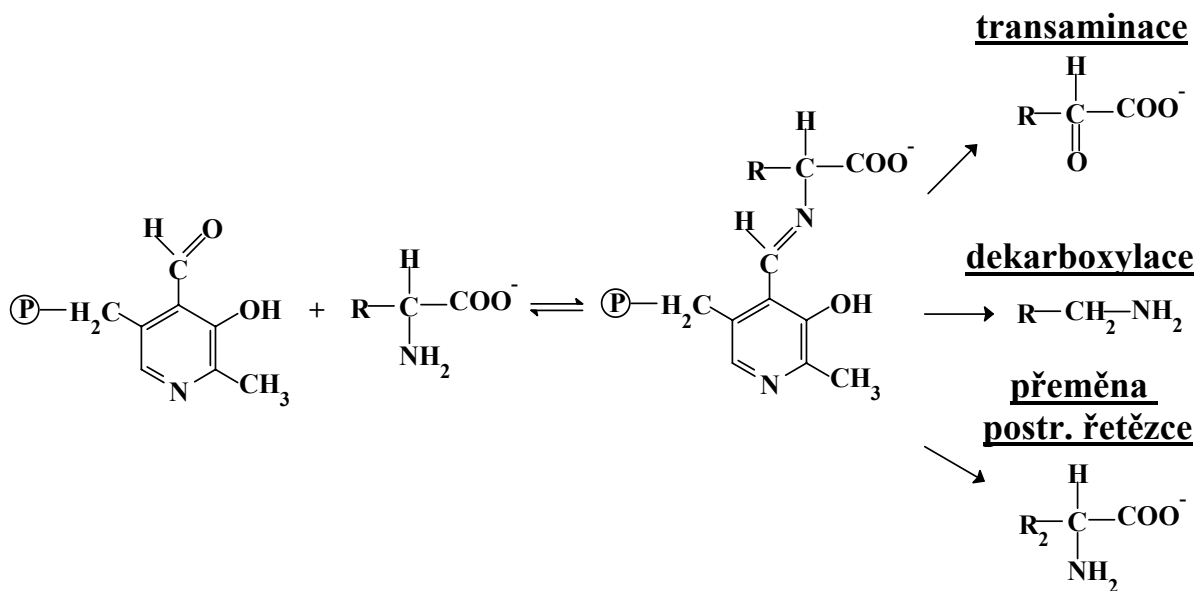
- trypsin
- chymotrypsin
- elastasa
- karboxypeptidasa A,B

### 3. Proteasy střevní šťávy

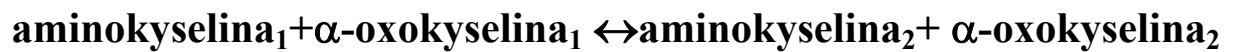




## METABOLISMUS AMINOKYSELIN

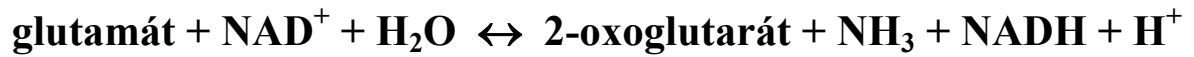


### Transaminace

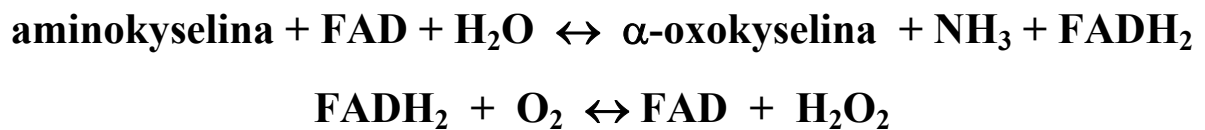


### Oxidační deaminace

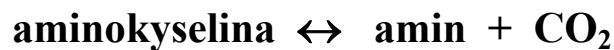
*savci*



*vejcorodí*



### Dekarboxylace



### **Biogenní aminy**

cystein	cystamin	CoA
k.asparagová	$\beta$ alanin	„
tyrosin	tyramin	tkáňový hormon
DOPA	dopamin	„
histidin	histamin	„
hydroxytryptofan	serotonin	„
k.glutamová	k. $\gamma$ -aminomáselná	neuromodulátor
serin	ethanolamin	fosfolipidy
methionin	spermin, spermidin	sperma



## Degradace uhíkových koster aminokyselin

### 1. Glukogenní aminokyseliny - prekurzory sacharidů

pyruvát	-	Ser, Ala, Cys, Gly, Thr, Met, Trp
2-oxoglutarát	-	Glu, Gln, Arg, Pro, His
oxalacetát	-	Asp, Asn
fumarát	-	Phe, Tyr
sukcinyl-CoA	-	Val, Ile, Met, Thr

### 2. Ketogenní aminokyseliny - prekurzory mastných kyselin

acetoacetát	-	Leu, Phe, Tyr, Lys, Trp
acetyl-CoA	-	Leu, Ile, Trp

### Metabolismus amoniaku



**Živočichové - amonotelní -  $\text{NH}_3$  - vodní živočichové**

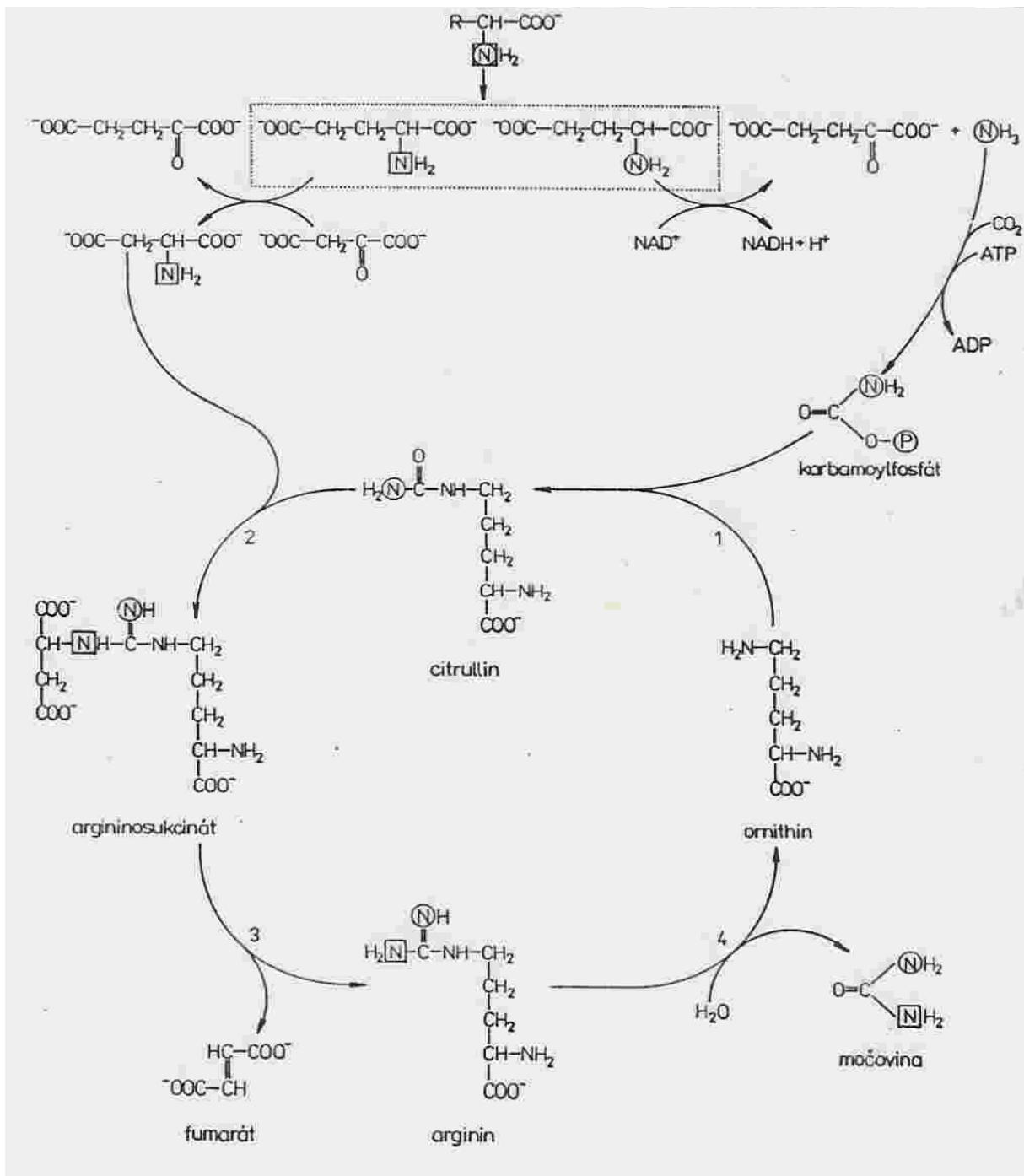
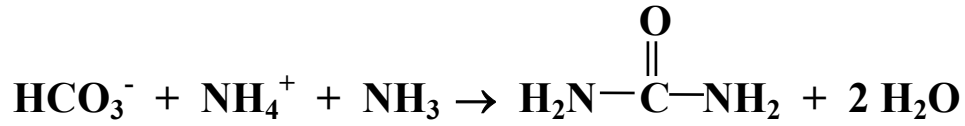
**- urikotelní - k.močová - vejcorodí**

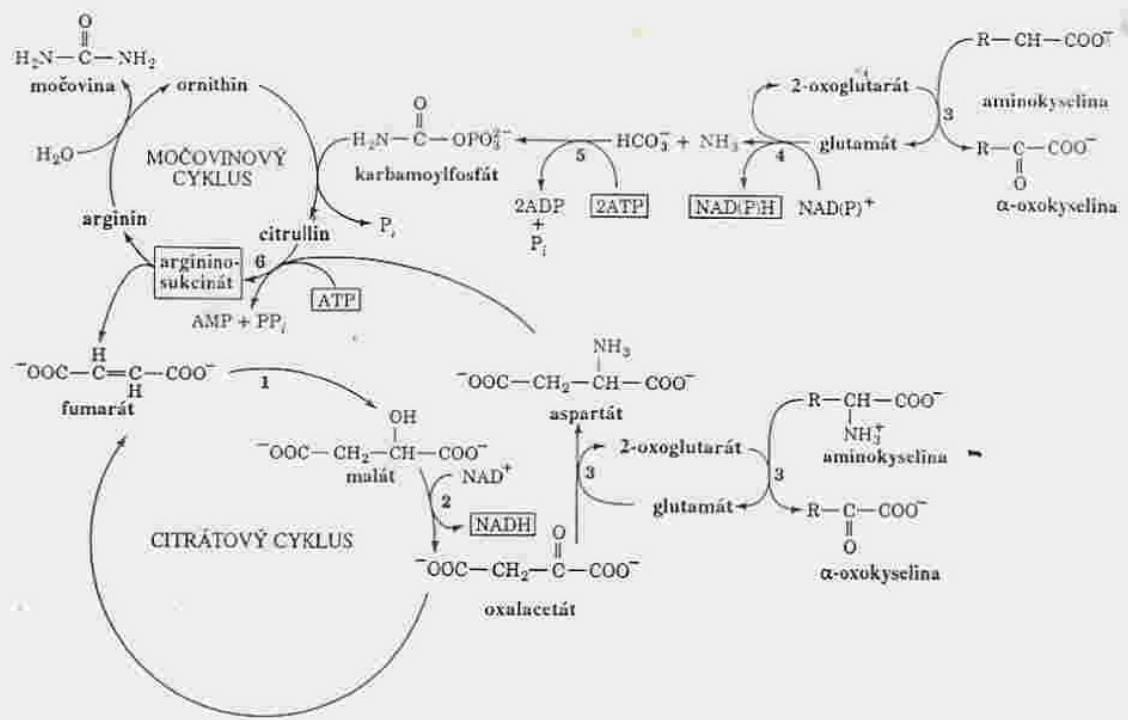
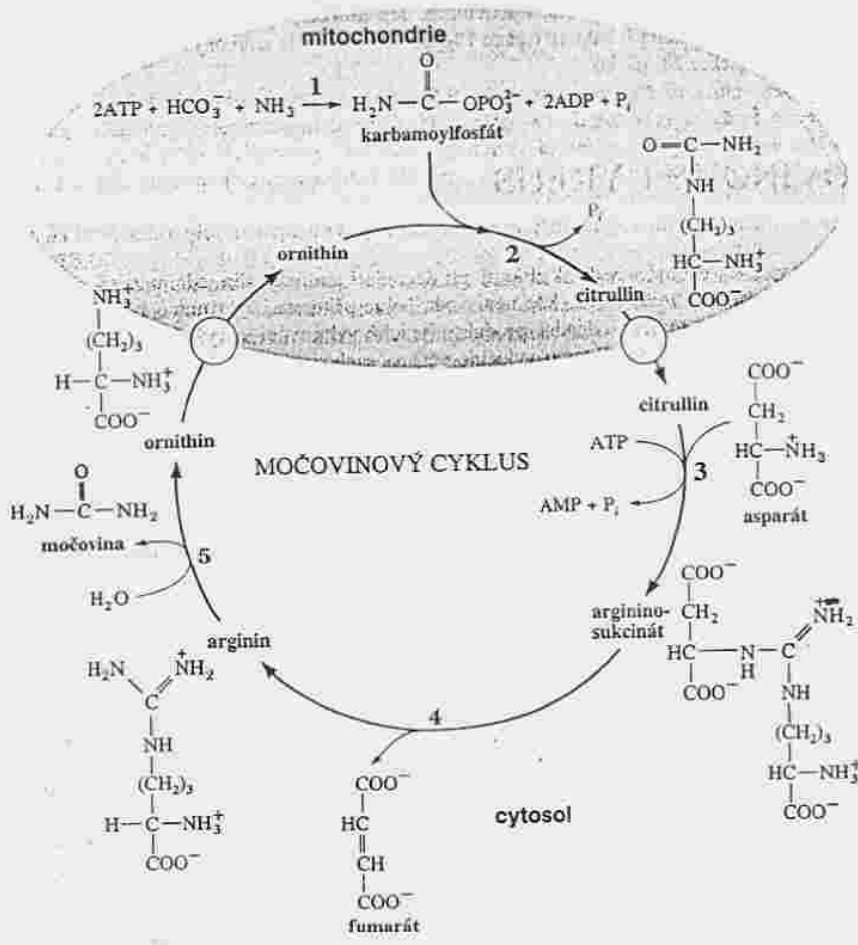
**- ureotelní - močovina - placentálové**

**Rostliny - nevylučují  $\text{NH}_3$**

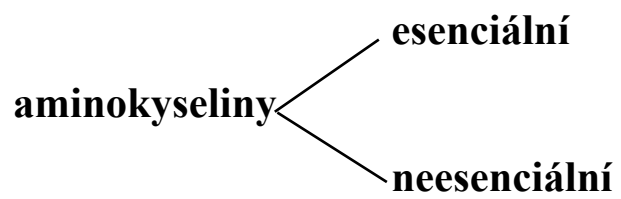
## Tvorba močoviny - ornitinový cyklus

H. KREBS, K. HENSELEIT - 1932

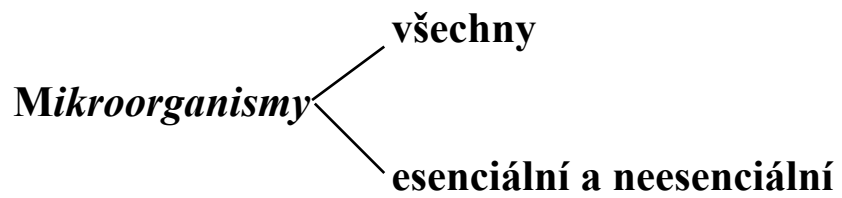




## Biosyntéza aminokyselin



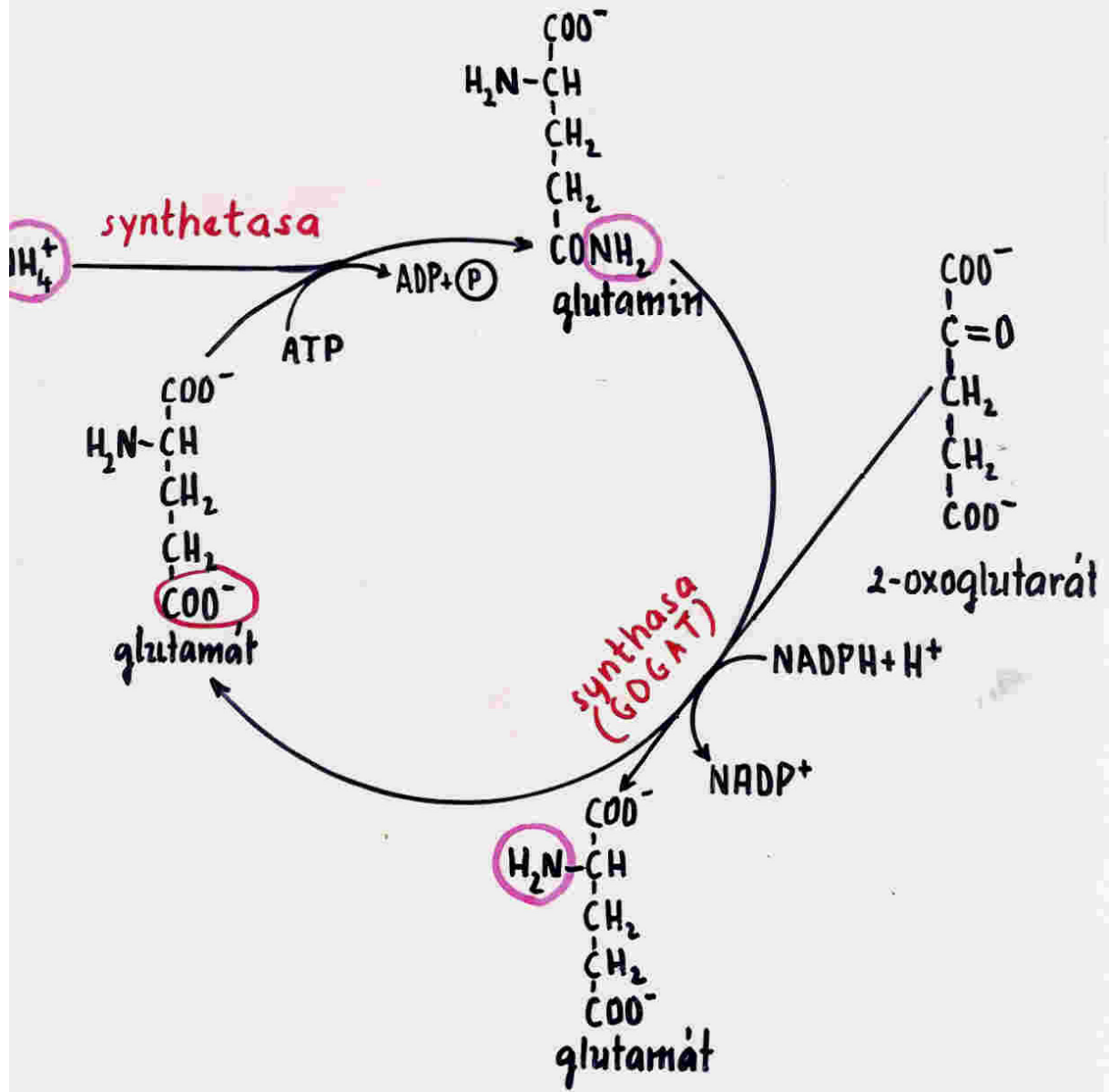
*Rostliny* - všechny



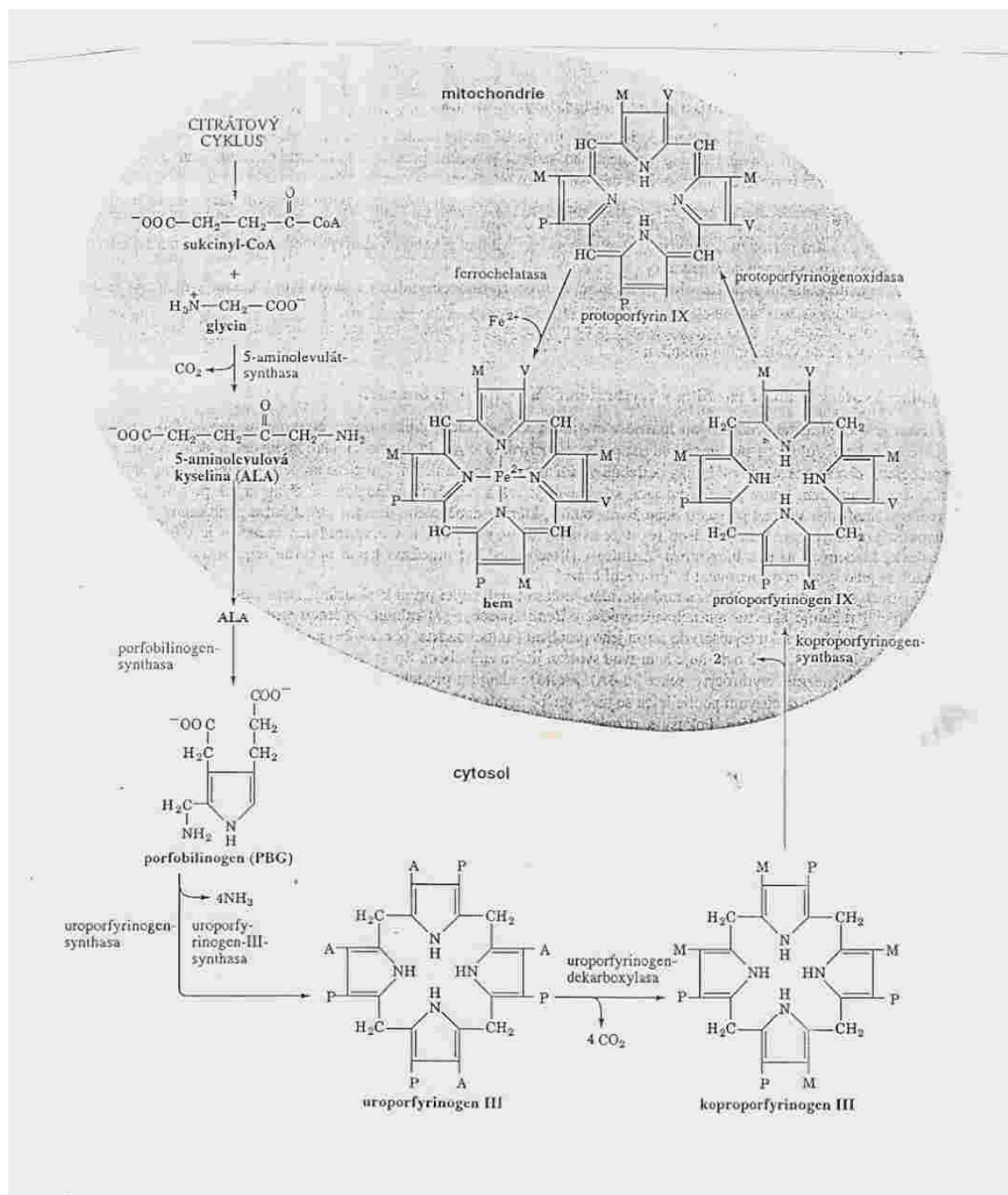
*Živočichové* - esenciální a neesenciální



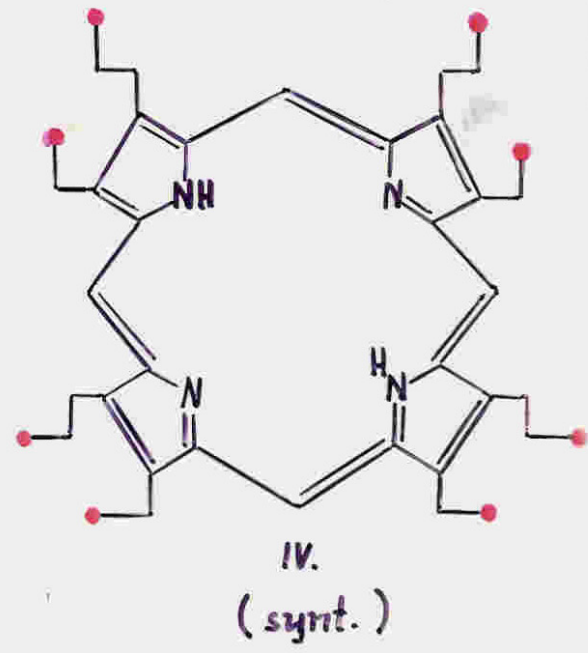
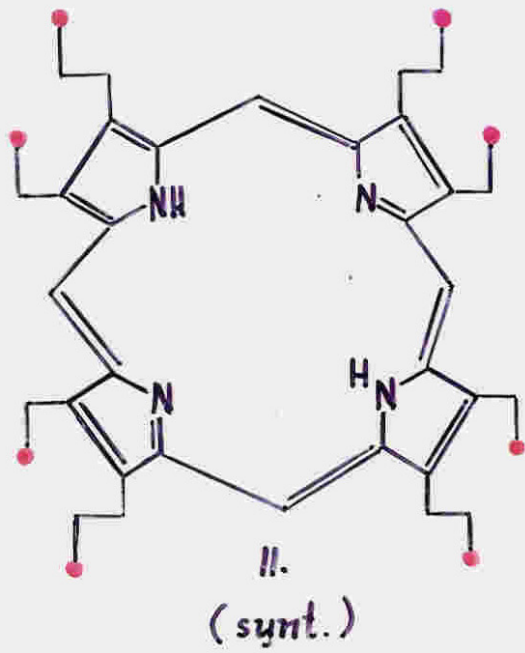
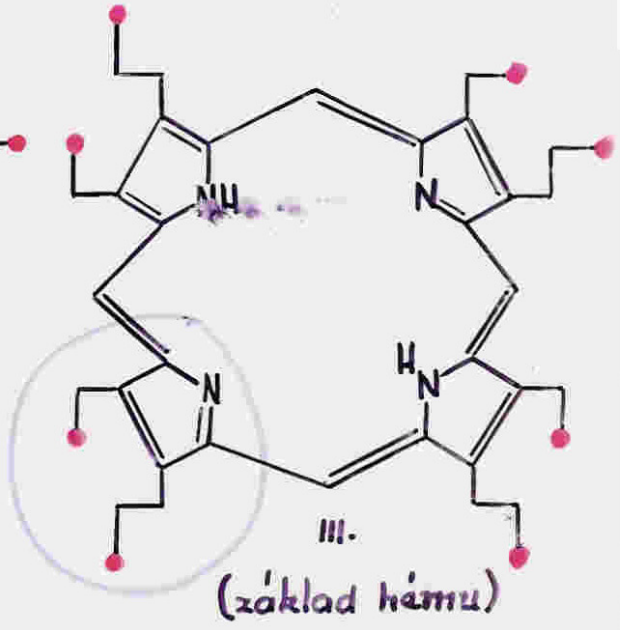
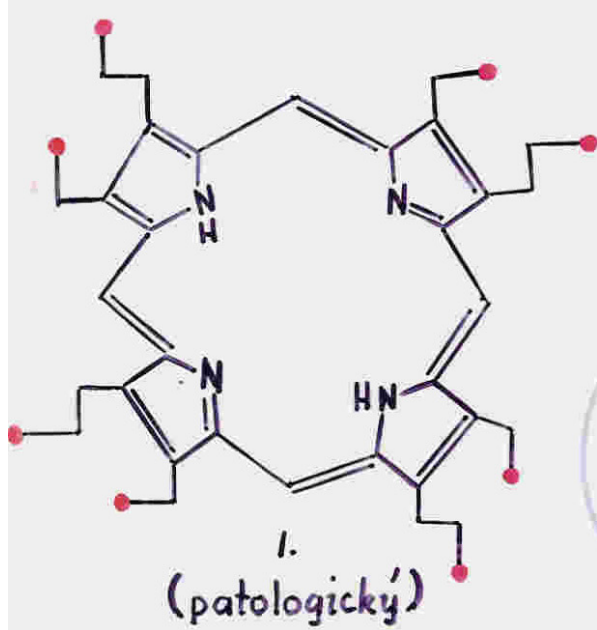
# INKORPORACE NH<sub>3</sub> U PROKARYOT



# Biosyntéza hemu

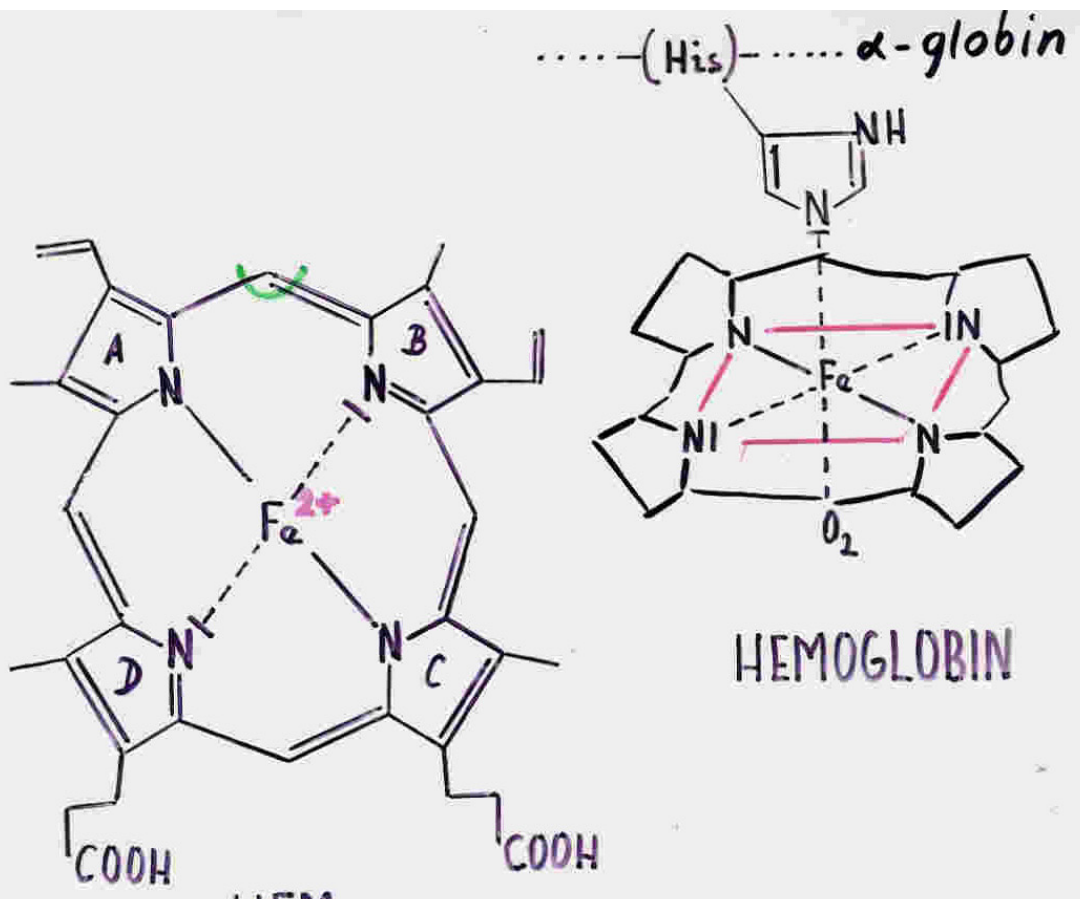


UROPORFYRINY :     ● — = —COOH

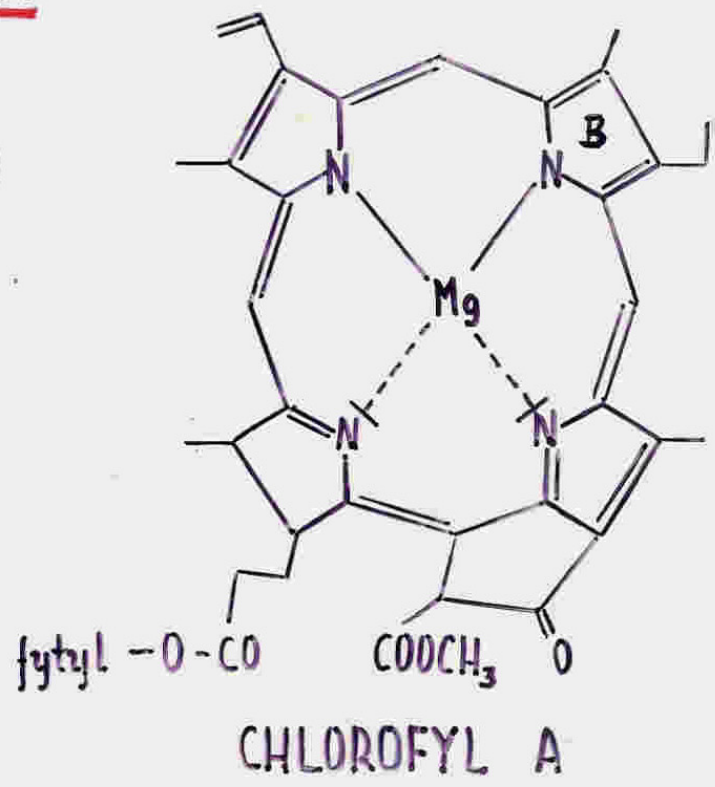
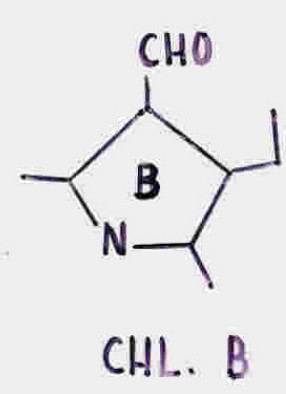


● = —COOH

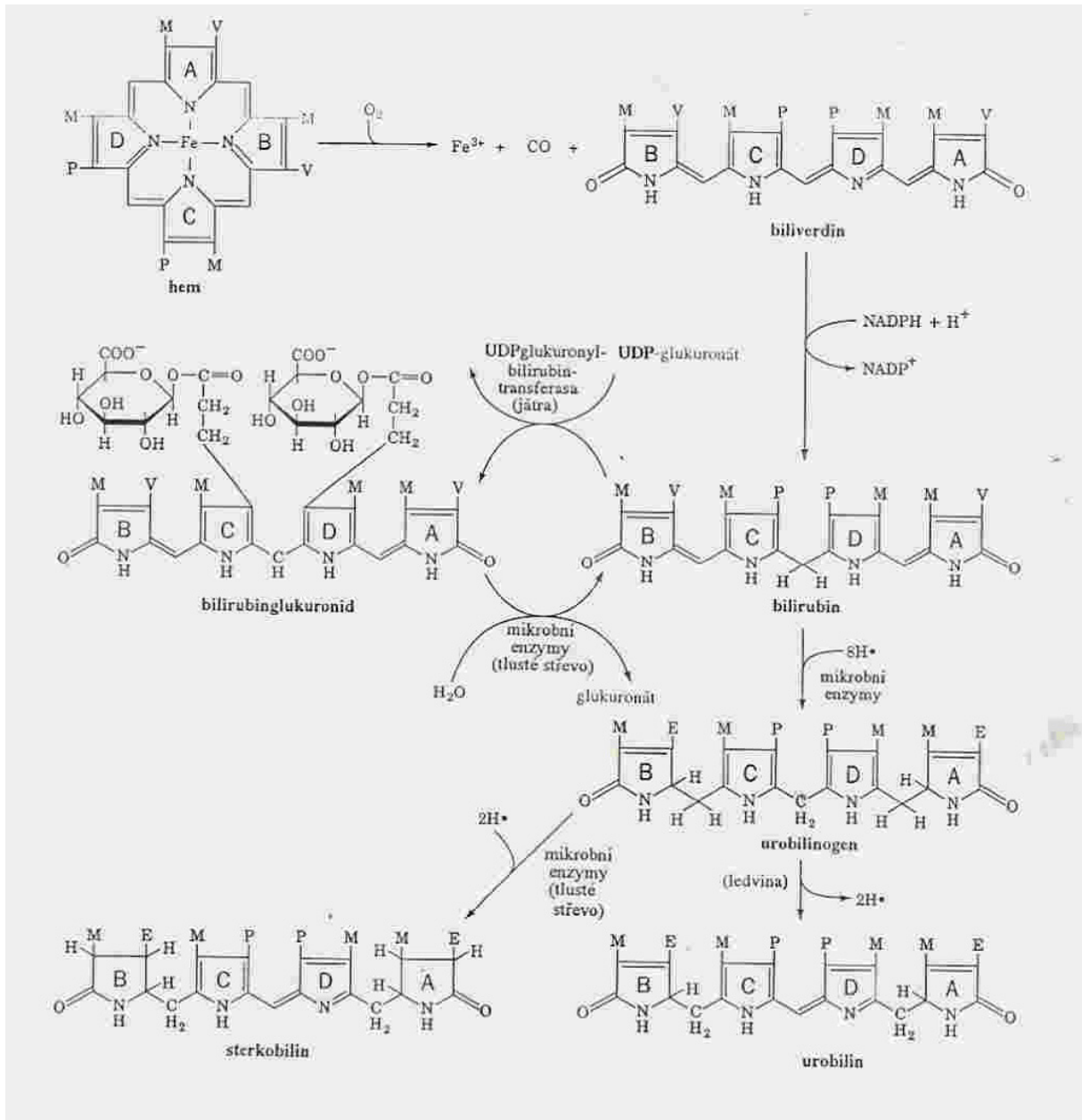


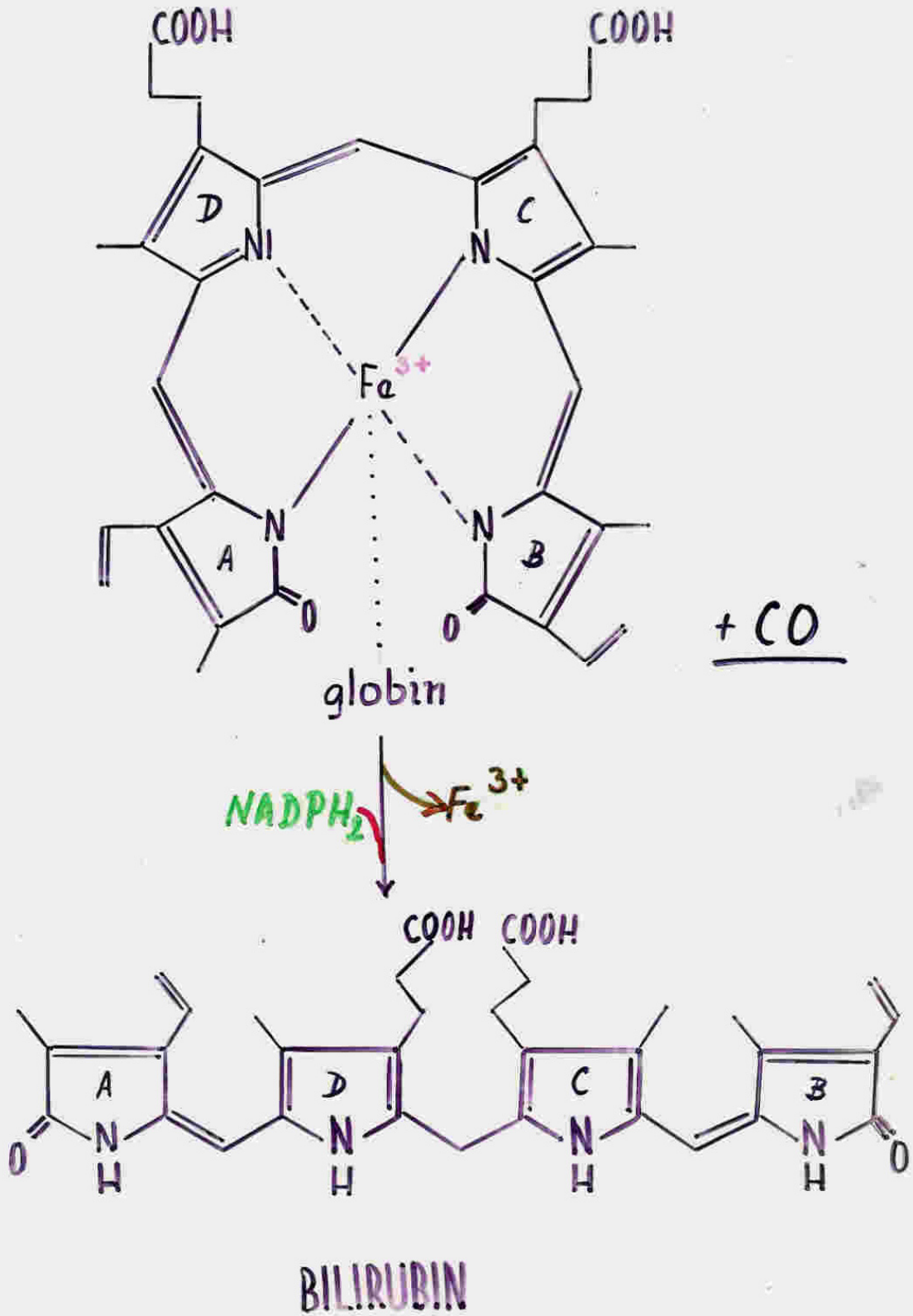


HEM



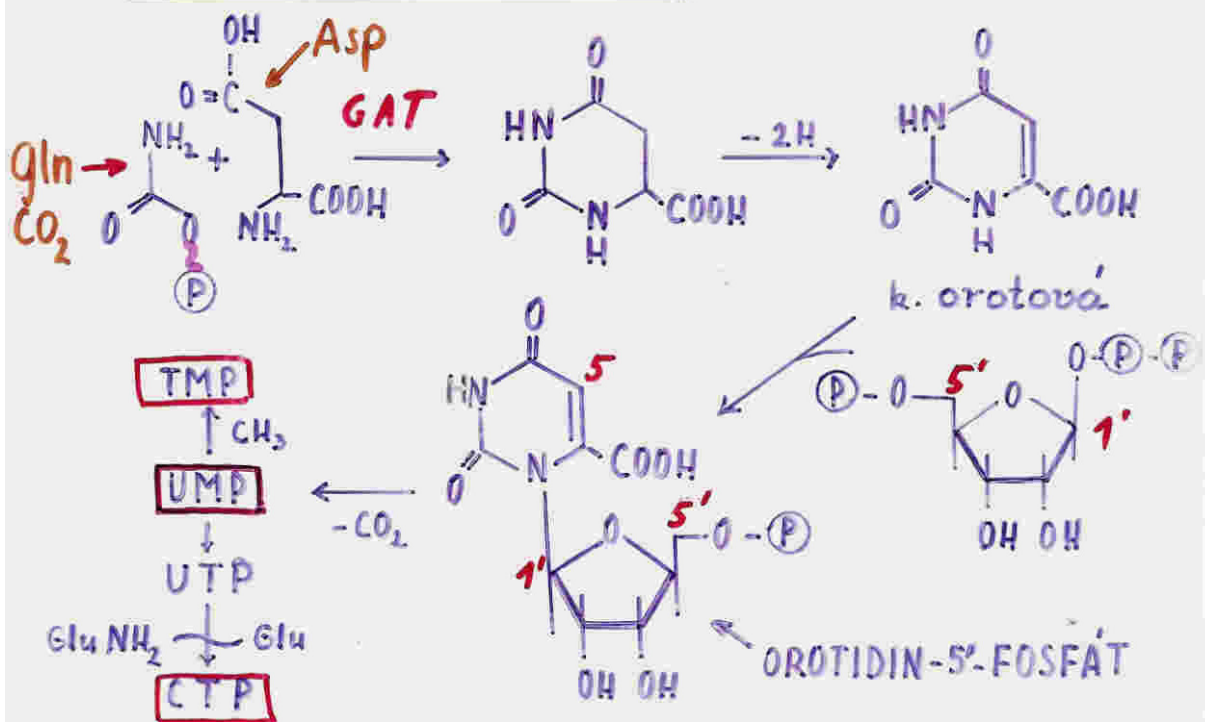
# Odbourávání hemu



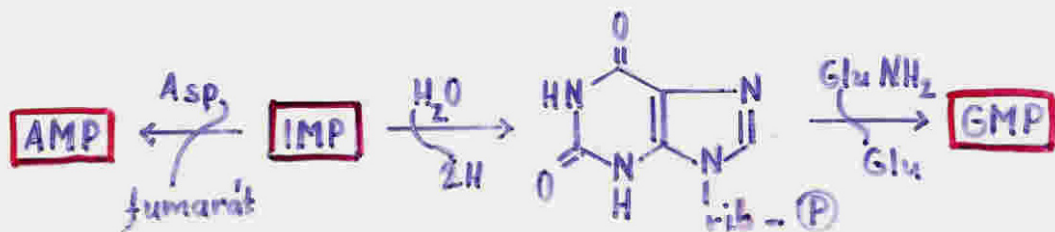
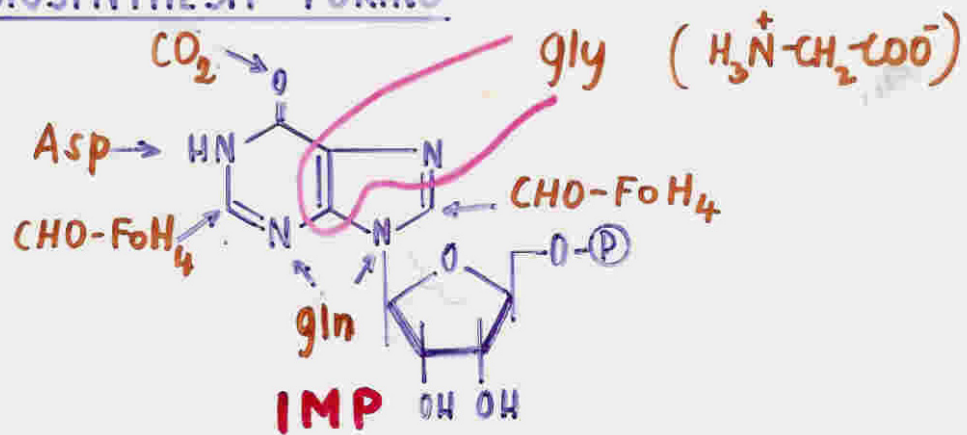




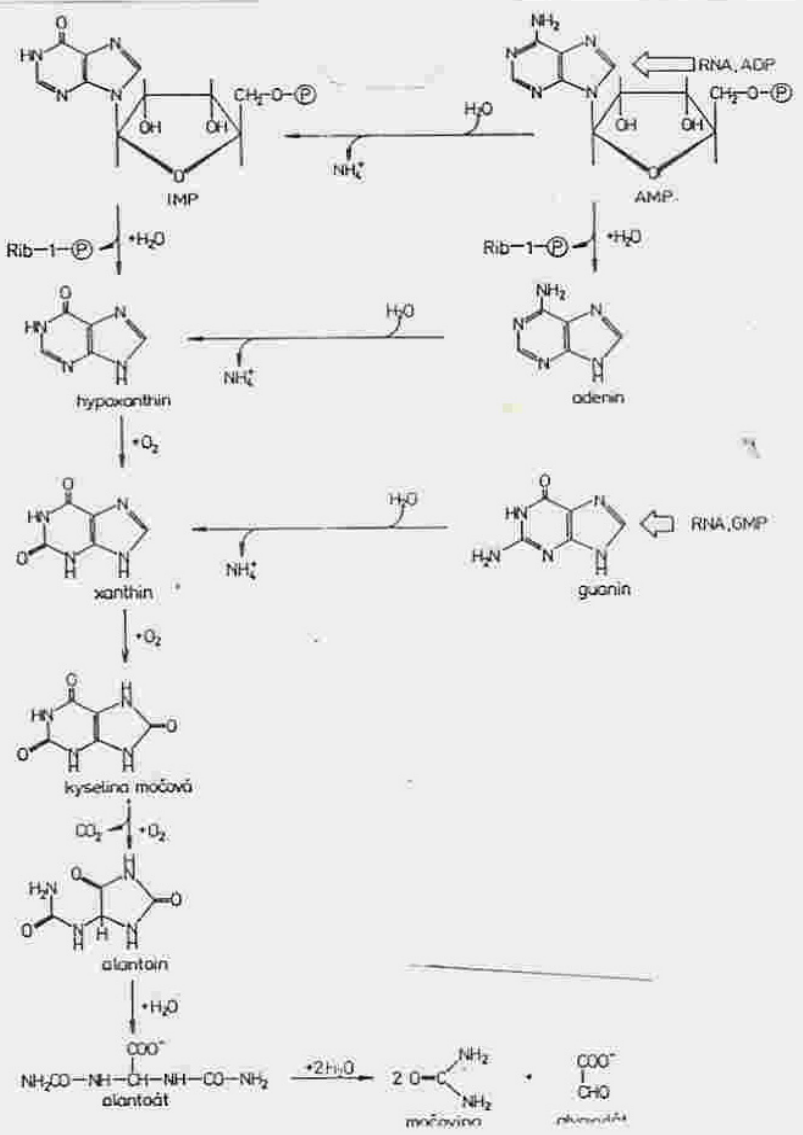
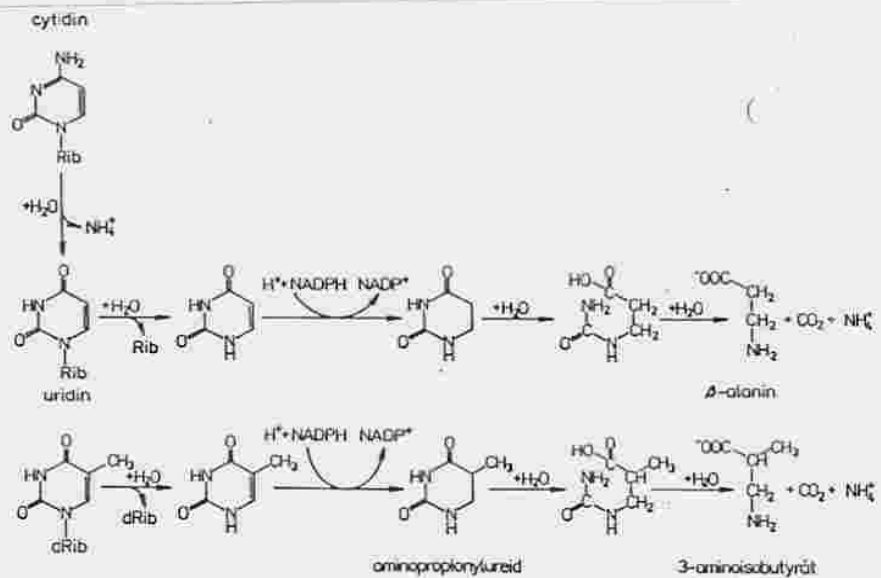
## BIOSYNTHEZA PYRIMIDINŮ:

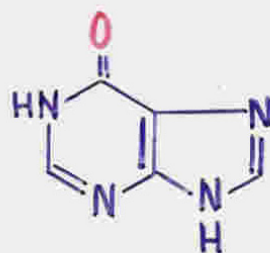
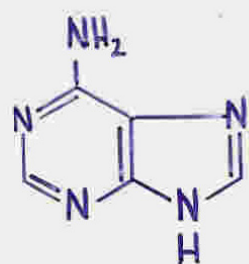


## BIOSYNTHEZA PURINŮ:

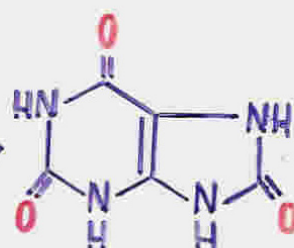
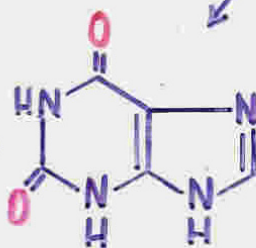
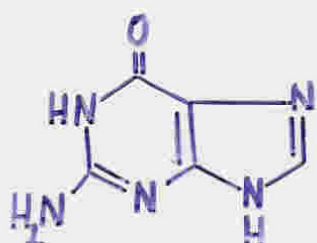


## **Odbourávání pyrimidinových a purinových basí**



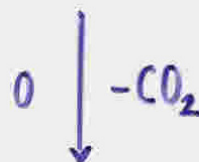


HYPOXANTHIN

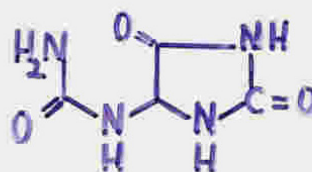


XANTHIN

KYS. MOČOVÁ



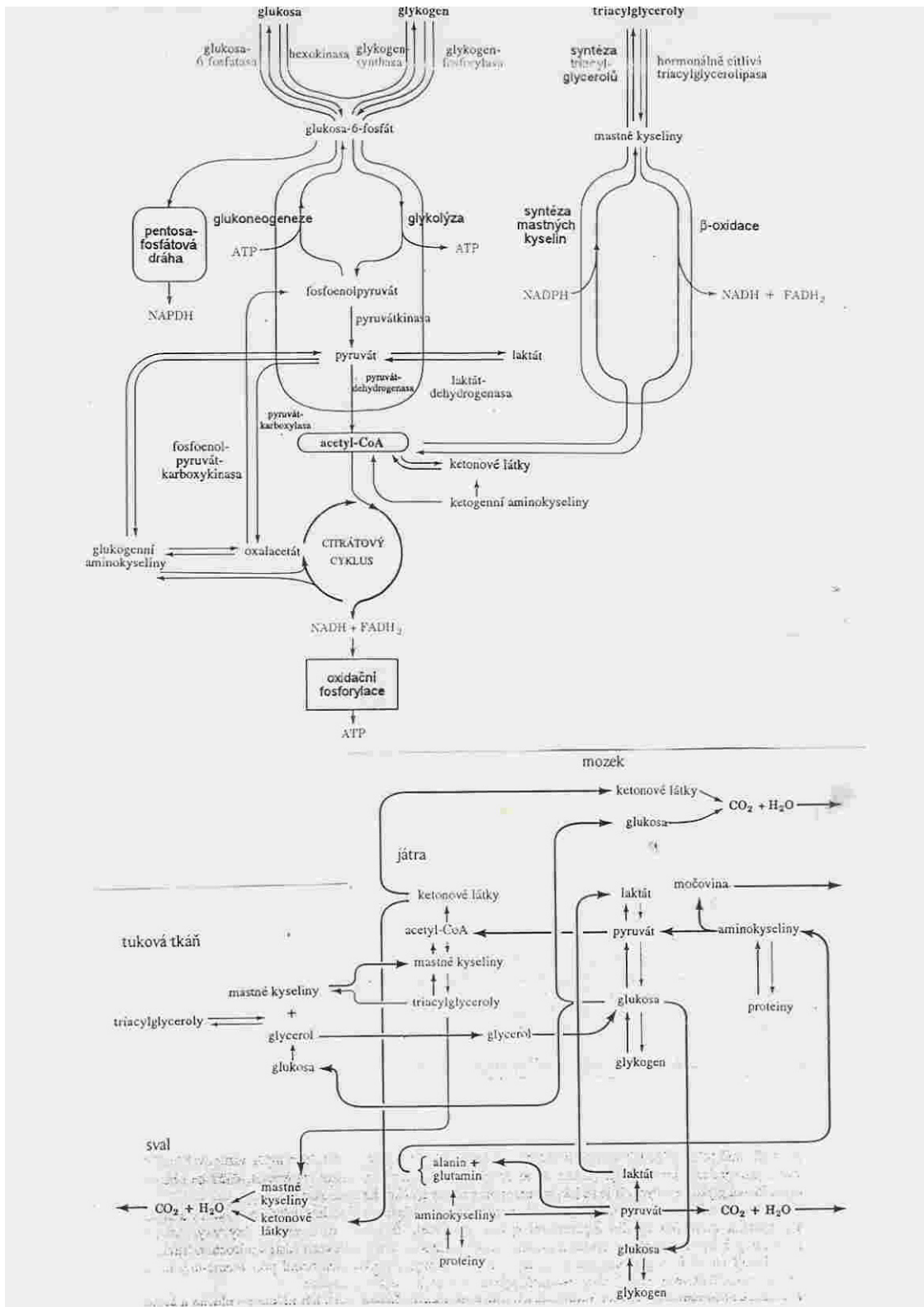
KOFEIN



ALLANTOIN



# ORGÁNOVÁ SPECIALIZACE

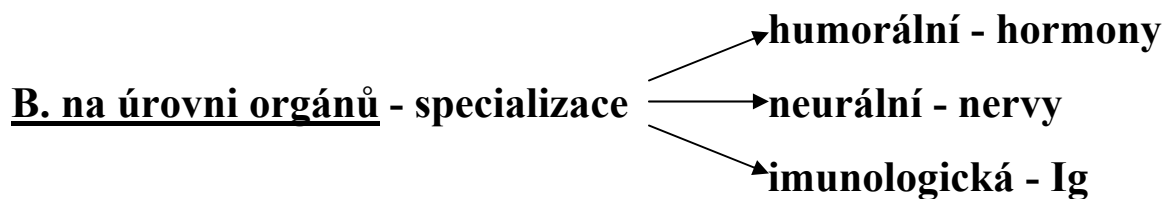
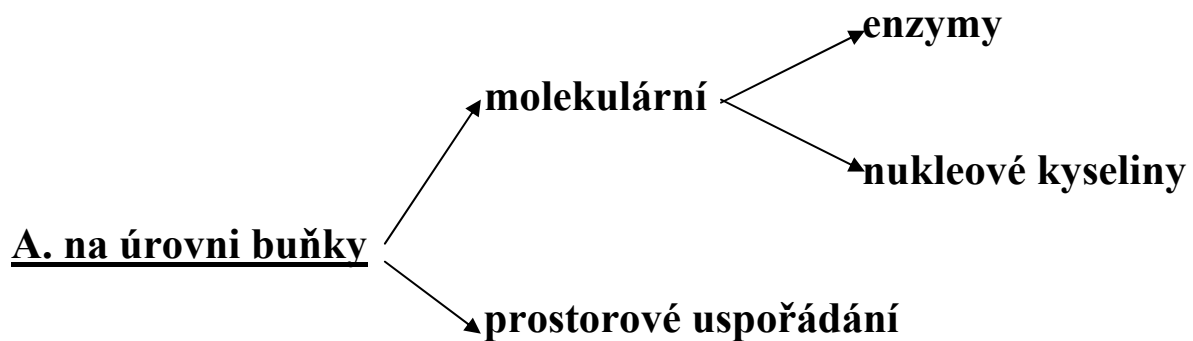


# BIOCHEMIE REGULACE

WIENER – kybernetika



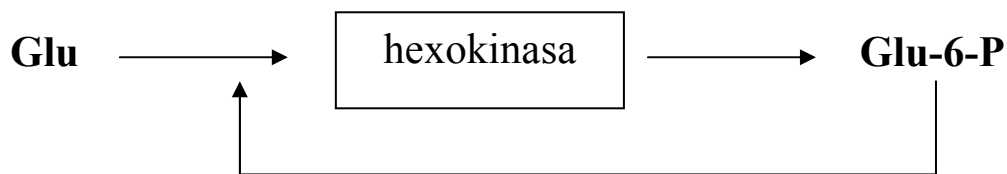
## Regulační mechanismy



Regulace na enzymové úrovni – rychlá odezva

- Michaelisovskou kinetikou – hexokinasa  $K_m 10^{-4} M$   
– glukokinasa  $K_m 10 mM$

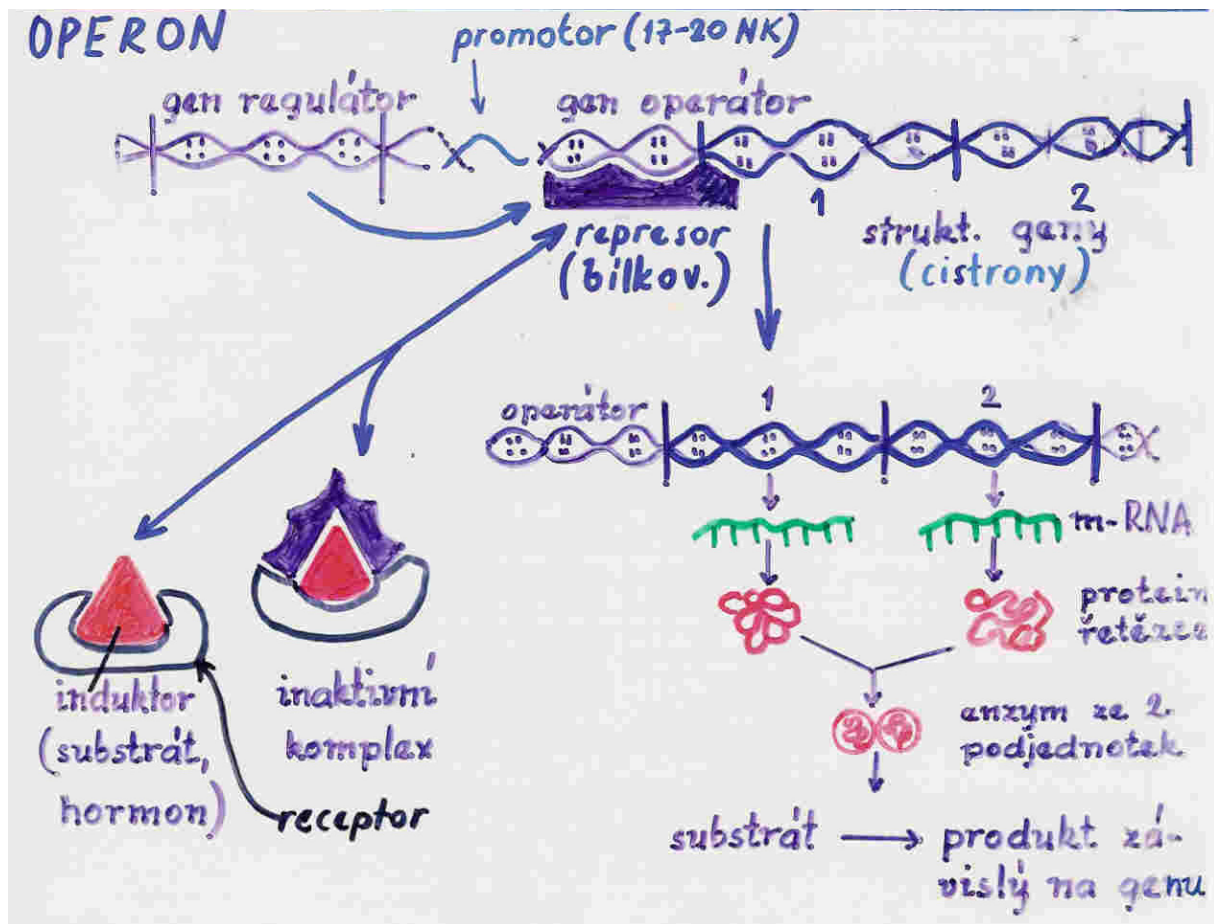
- Inhibicí produktem



- Zpětnou vazbou – allosterie negativní x pozitivní
- Řídícími enzymy v cyklech – citrátový cyklus - ICDH  
– glykolysa PFK
- Kovalentí modifikací – proteasy  
– fosforylasa A B  
– trombin

## Regulace na úrovni NK – indukce a represe – pomalá odezva

### JACOB MONOD (1961) operonový model



## Prostorové uspořádání

- Kompartmentace - mitochondrie –  $\beta$ oxidace, citrátový cyklus, respirace
  - cytoplasma – glykolýsa, syntéza mastných kyselin
- Transportní systémy - ATPasa
  - karnitinový cyklus

## Humorální regulace

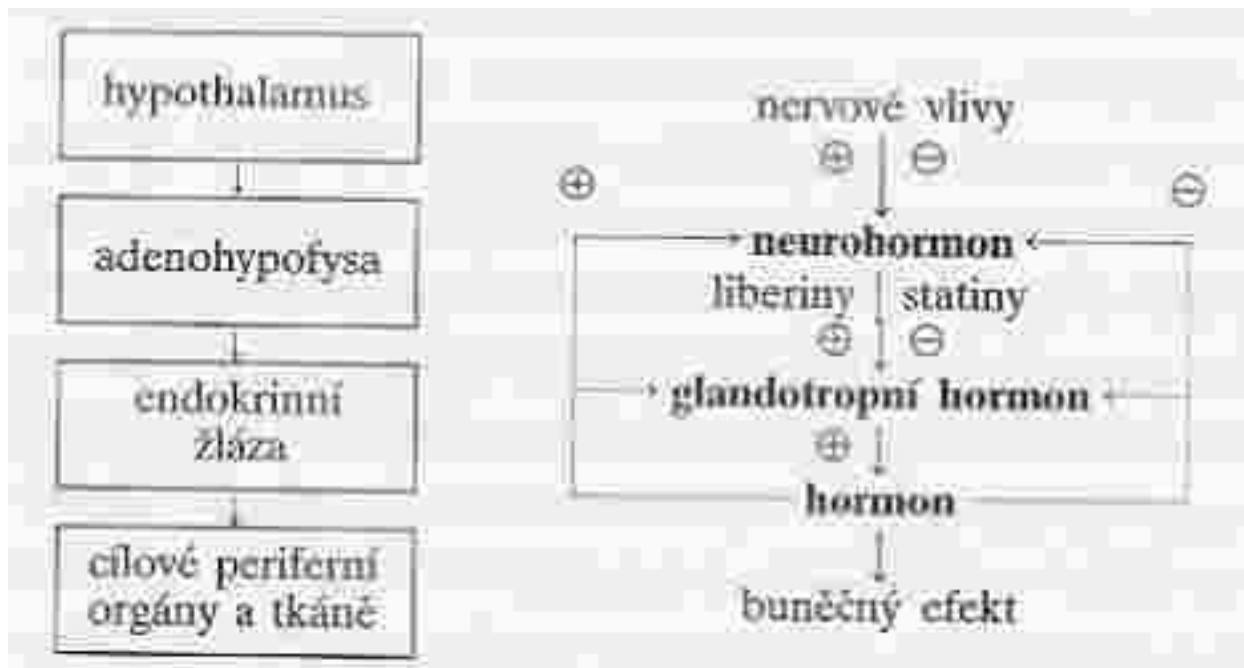
Endokrinní systém – žlázy s vnitřní sekrecí → hormony

BAYLISS, STARLING (1904) - hormony

Chemické složení – NO, AMK, peptidy, bílkoviny, steroidy,  
k.arachidonová

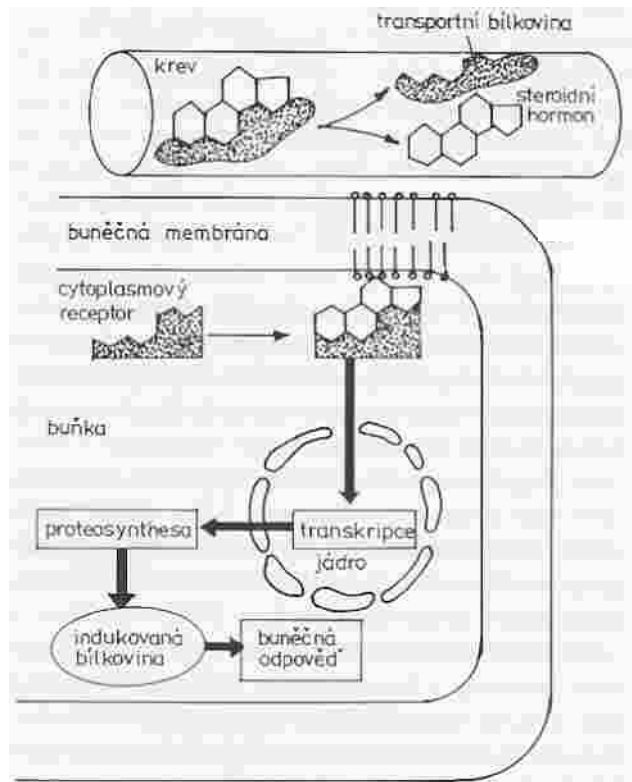
Řízení

CNS

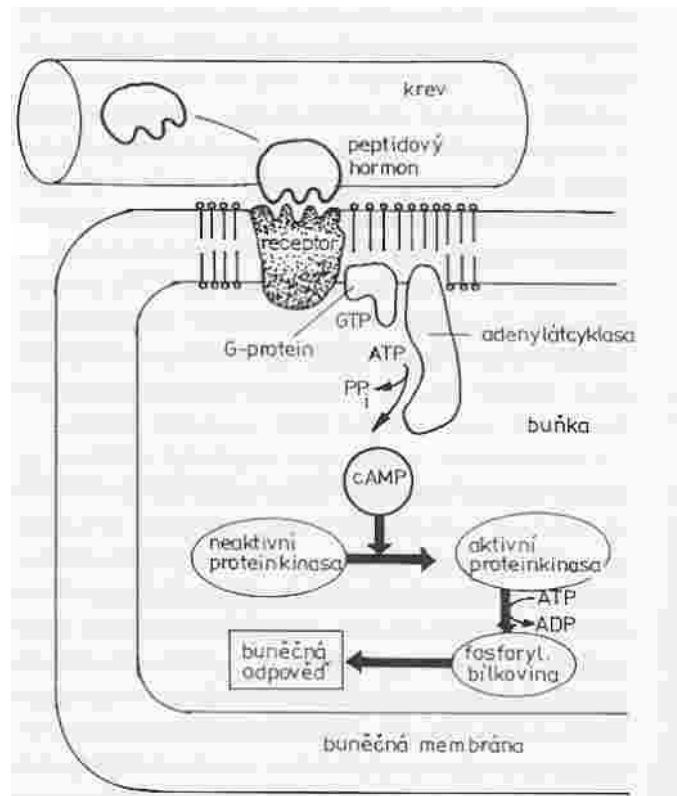


# Receptory pro hormony

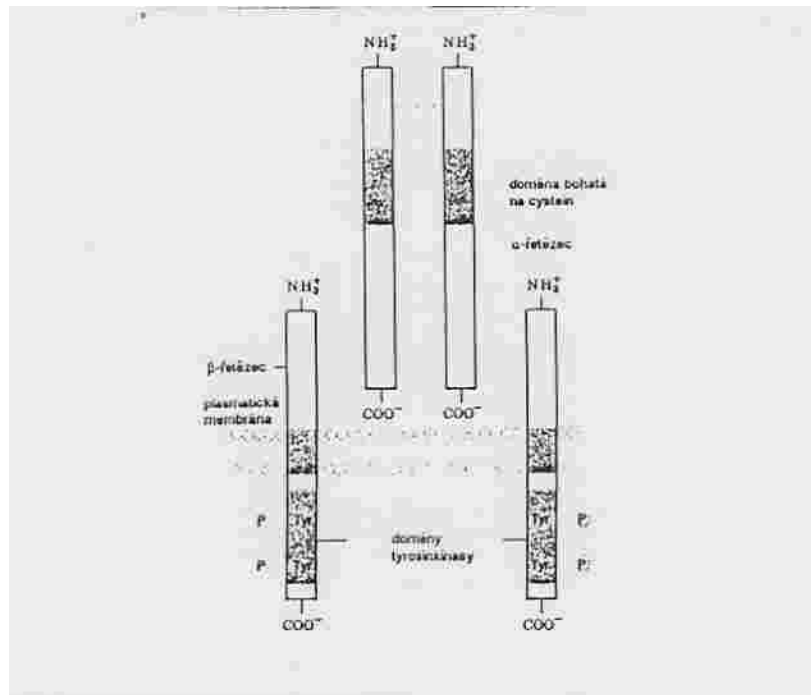
## Steroidy-tyroidní hormony



## Peptidy

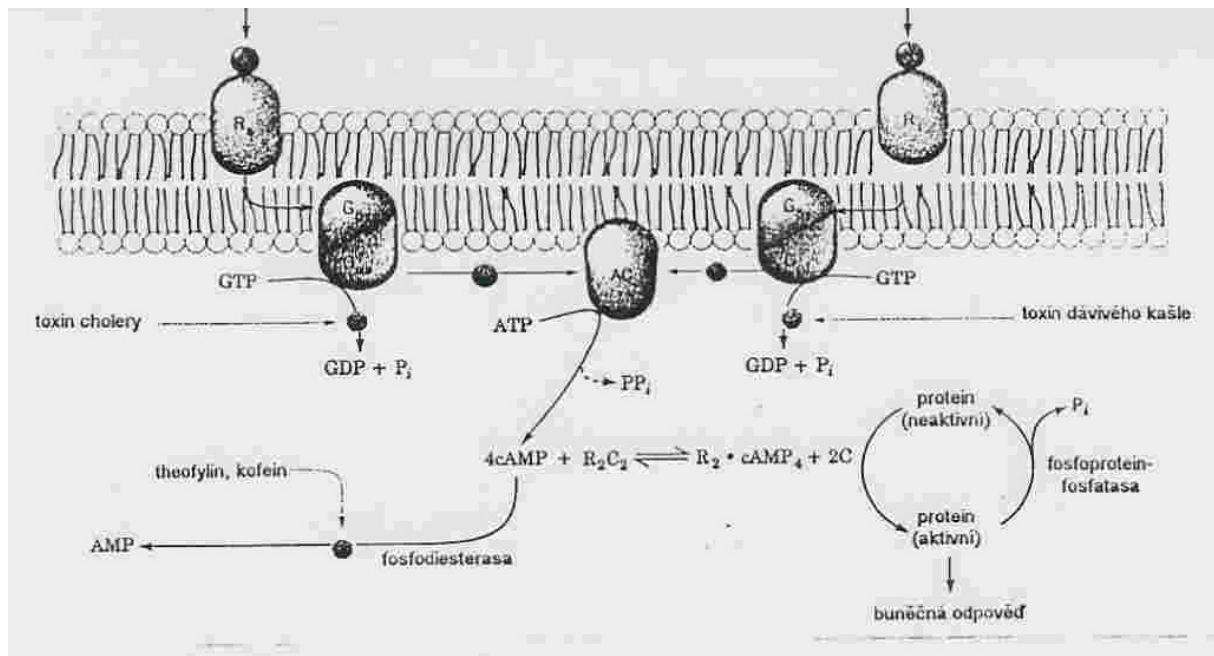


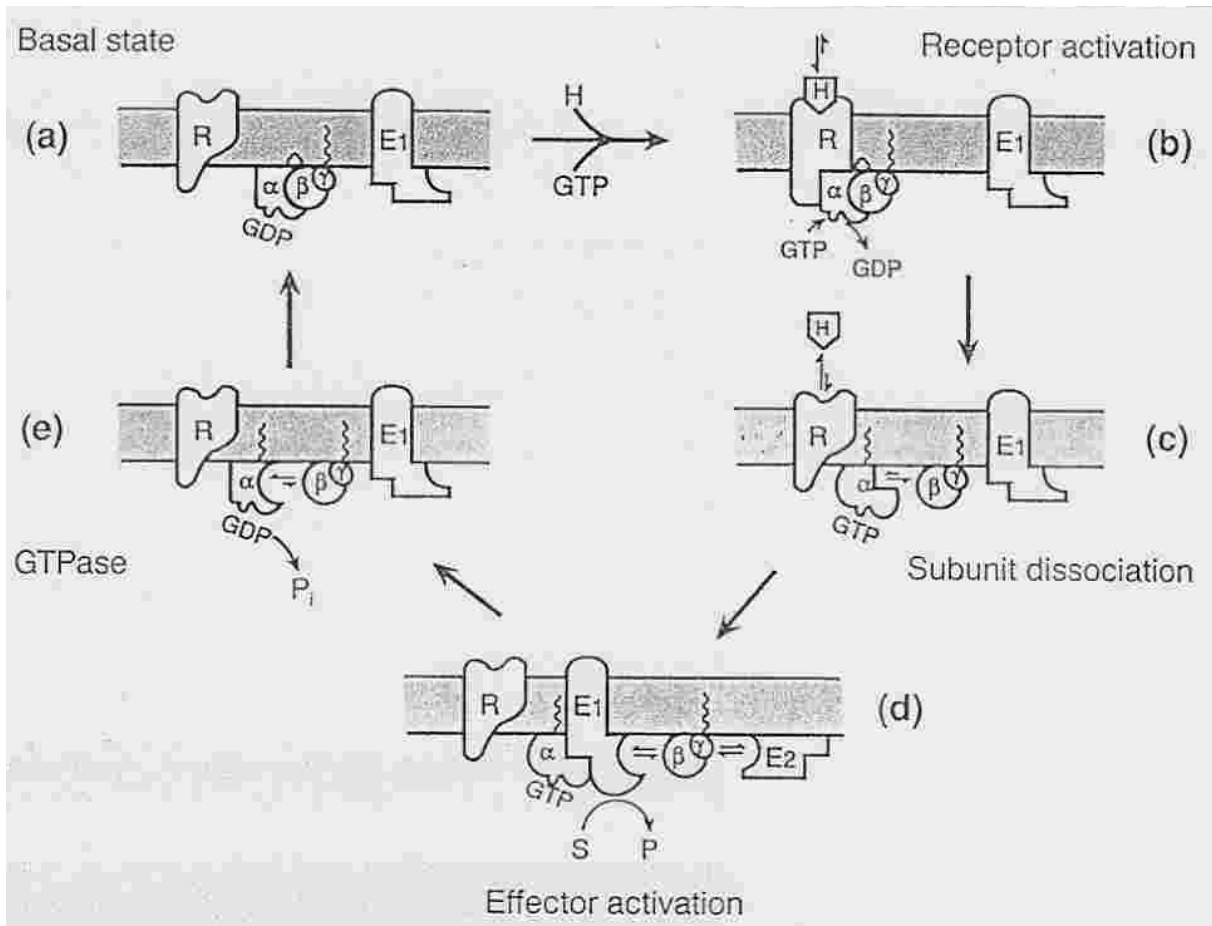
# Inzulín



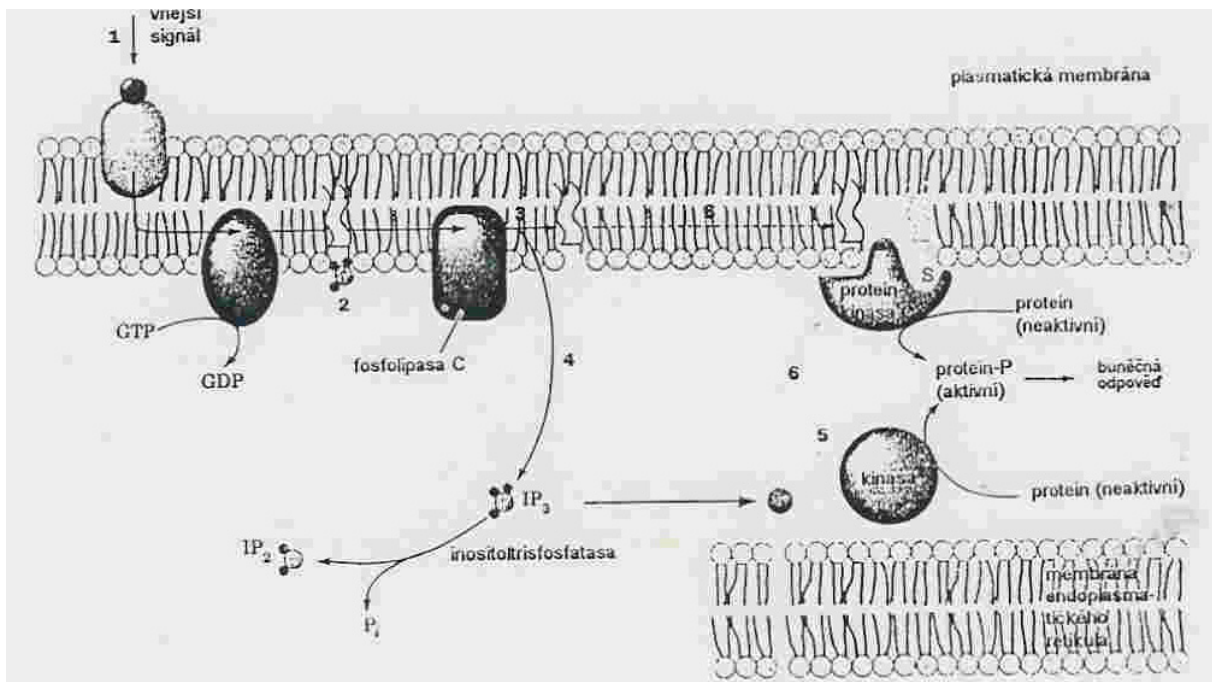
## Druží poslové

### cAMP





## Fosfatidylinositol-4,5-bisfosfát





# Viagra



WWW.OHMYGOODNESS.COM

1-[-ethoxy-3-(6,7-dihydro-1-methyl-7-oxo-3-propyl-1H-pyrazolo[4,3-d]pyrimidin-5-yl)phenylsulphonyl]-4-methylpiperazin citrate

