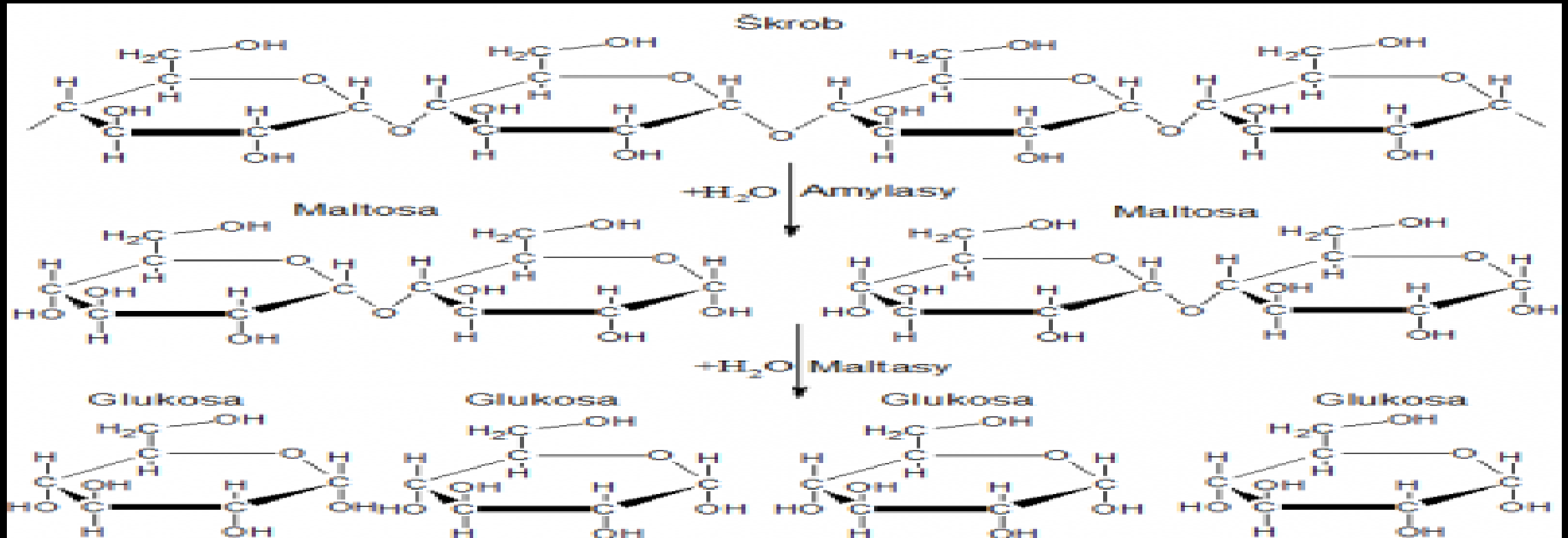
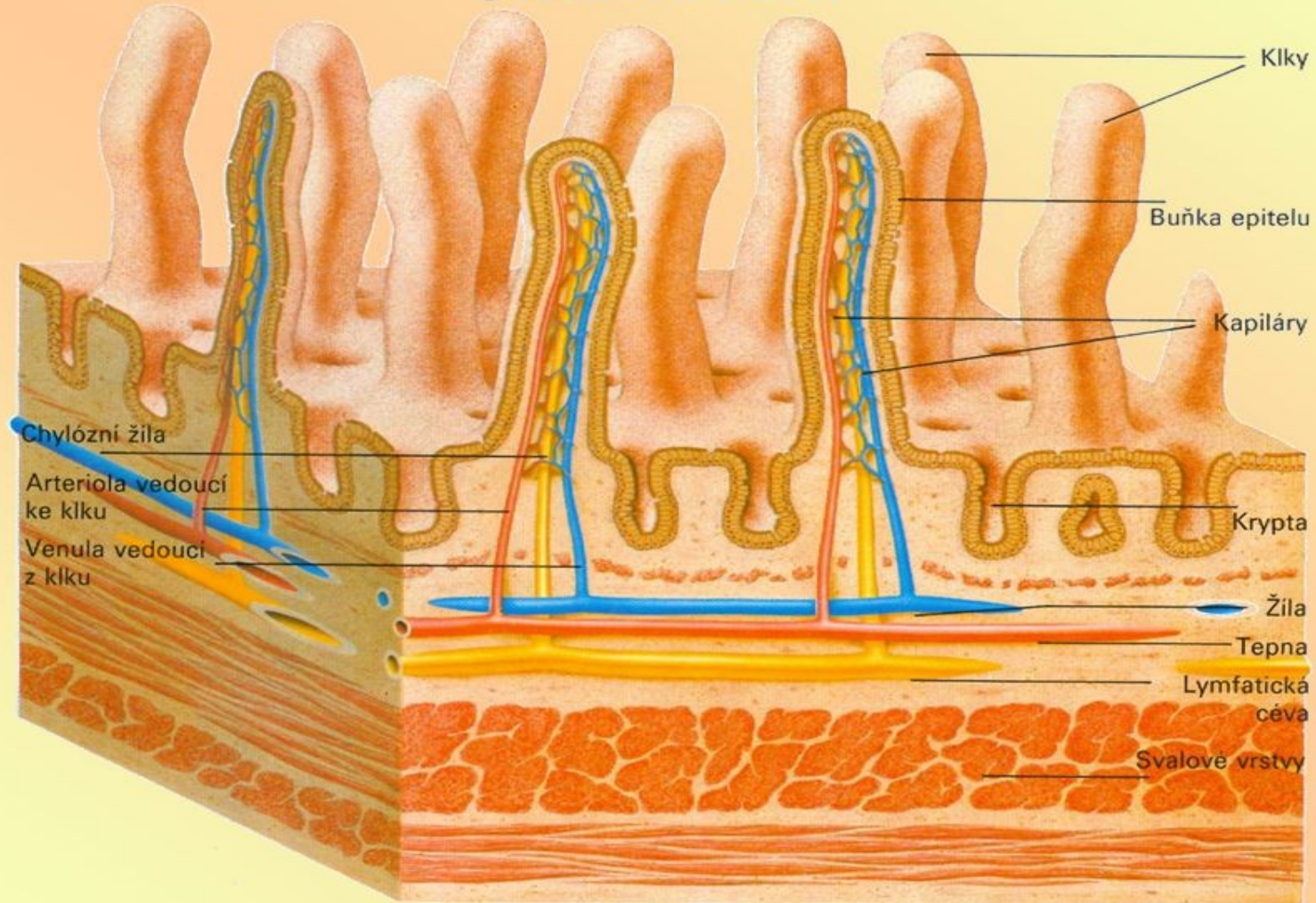


# **Katabolizmus sacharidů a GLYKOLÝZA**

- ❖ **Sacharidy** - pro heterotrofy **nejpohotovější zdroj energie** ze všech tří typů živin.
- ❖ Potrava - zdroj mono-, oligo-, i polysacharidů.
- ❖ V první fázi katabolismu (trávicí trakt) **hydrolytické štěpení** glykosidové vazby až na **monosacharidy** ( **$\alpha$ -amyláza, maltáza**).



# STŘEVNÍ KLKY



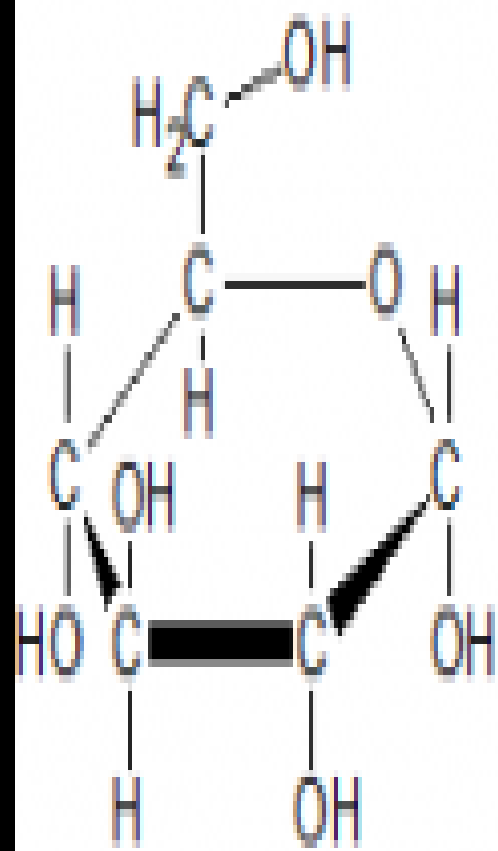
- ❖ Monosacharidy se vstřebávají stěnou tenkého střeva do krve.
- ❖ Krev je přenáší do jater, kde jsou **izomerizačními reakcemi** přeměněny na **glukózu**.
- ❖ Krev roznáší glukózu do všech buněk těla **zdroj energie**.
- ❖ Pro některé tkáně (mozek, sítnice, kůra nadledvin...) je **glukosa jediným zdrojem energie**.

# GLYKOLÝZA

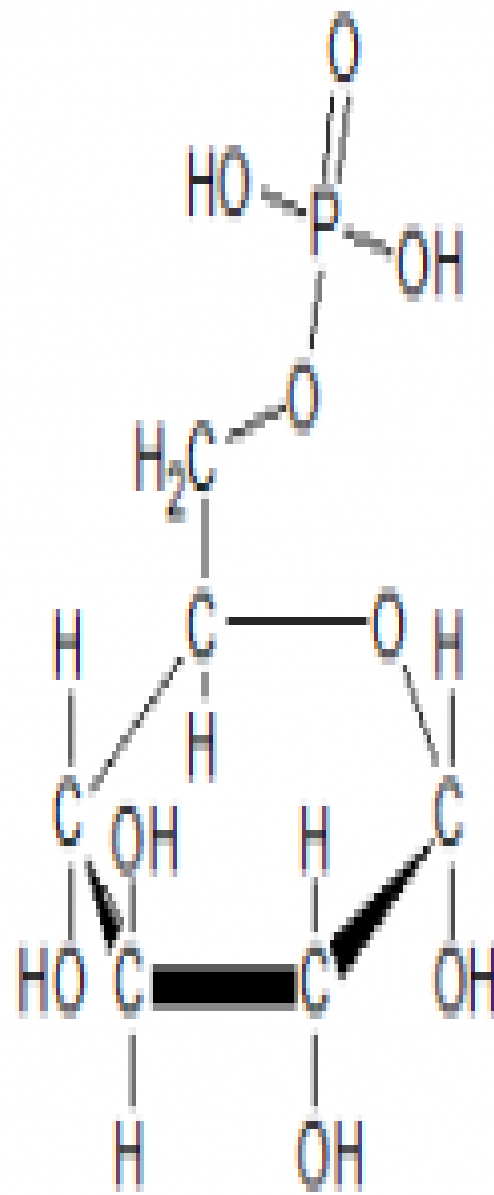
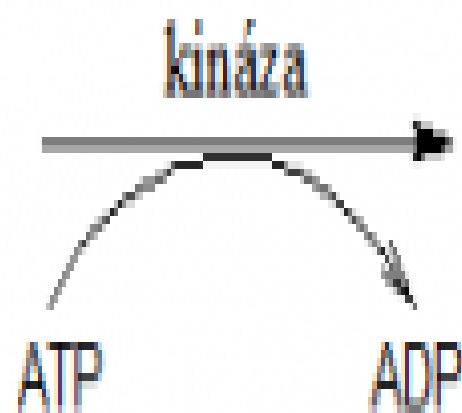
- ❖ Odbourávání glukózy.
- ❖ Probíhá v cytoplazmě buněk.
- ❖ Výchozí látka:  **$\alpha,\beta$ -D-glukóza**.
- ❖ Produkt: **kyselina pyrohroznová (pyruvát)**.
- ❖ Energetický zisk: (+) 2 ATP / 1 molekulu glukózy **■**ž je pouze 5 % energie molekuly glukózy (95 % celkové energie zůstává uloženo v molekule pyruvátu).

# Mechanismus glykolýzy

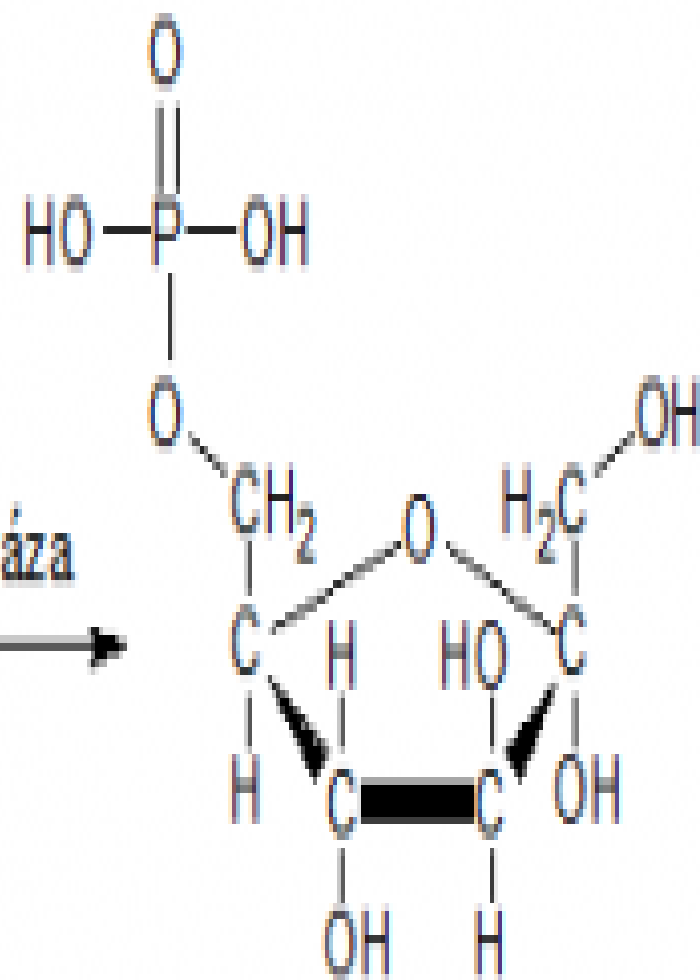
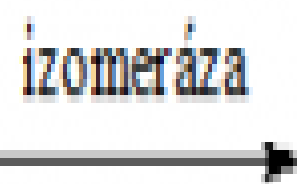
- ❖ **1. První fosforylace** vznik D-glukóza-6-fosfátu (tzv. Robinsonův ester) účinkem ATP za katalýzy hexokinázou.
- ❖ Je-li výchozím substrátem rezervní polysacharid (glykogen), vzniká z něj fosforolýzou bez spotřeby ATP D-glukóza-1-fosfát, který je izomerázou (fosfoglukomutáza) přeměněn na D-glukóza-6-fosfát.
- ❖ D-glukóza-6-fosfát i D-glukóza-1-fosfát existují ve formě  $\alpha$  a  $\beta$  izomerů, stejně jako volná glukóza.
- ❖ Do dalších reakcí glykolýzy postupuje  $\beta$  anomer ( $\beta$ -D-glukóza-6-fosfát)
- ❖ **IZOMERIZACE** D-glukóza-6-fosfát na fruktóza-6-fosfát (Neubergův ester).
- ❖ Umožňuje vytvoření další primární alkoholové skupiny vhodné pro další fosforylaci.



$\beta$ -D-glukóza



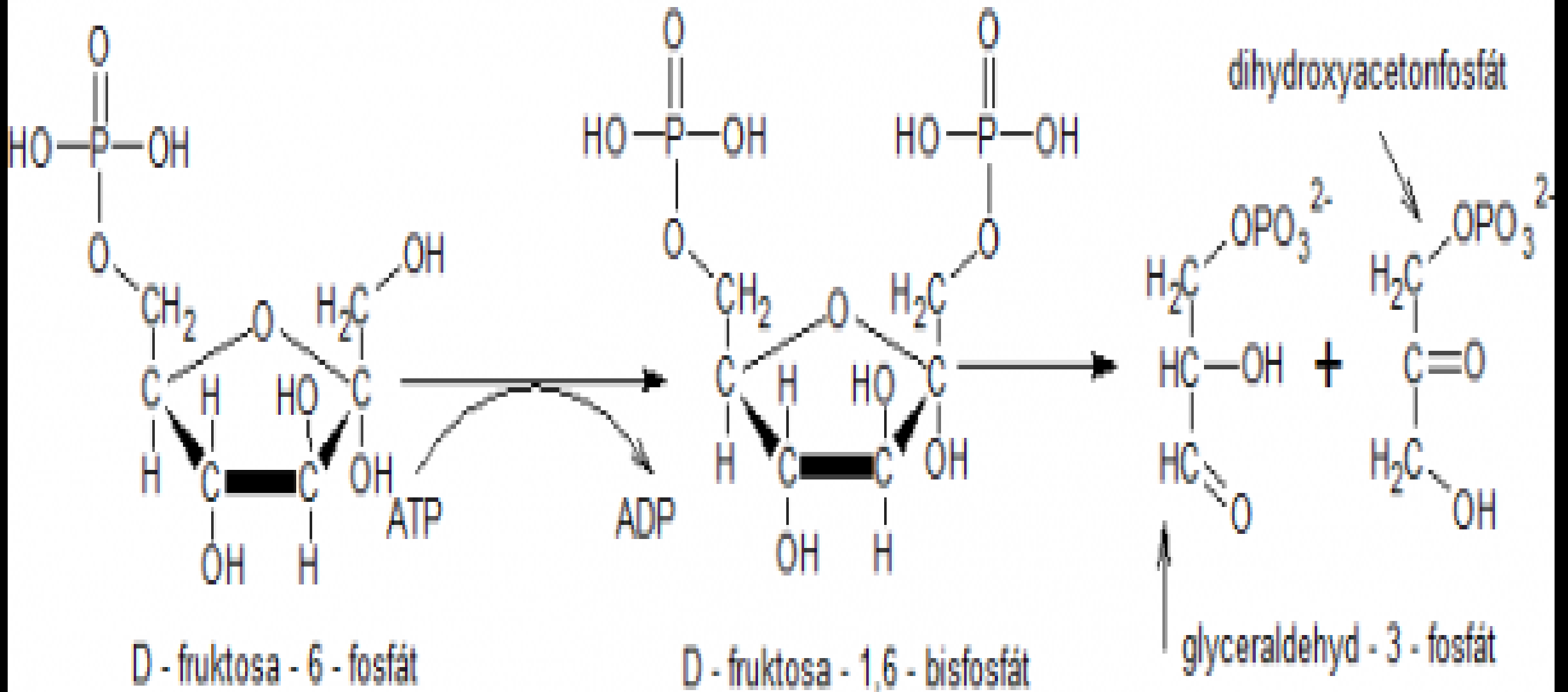
$\beta$ -D-glukóza -6-fosfát



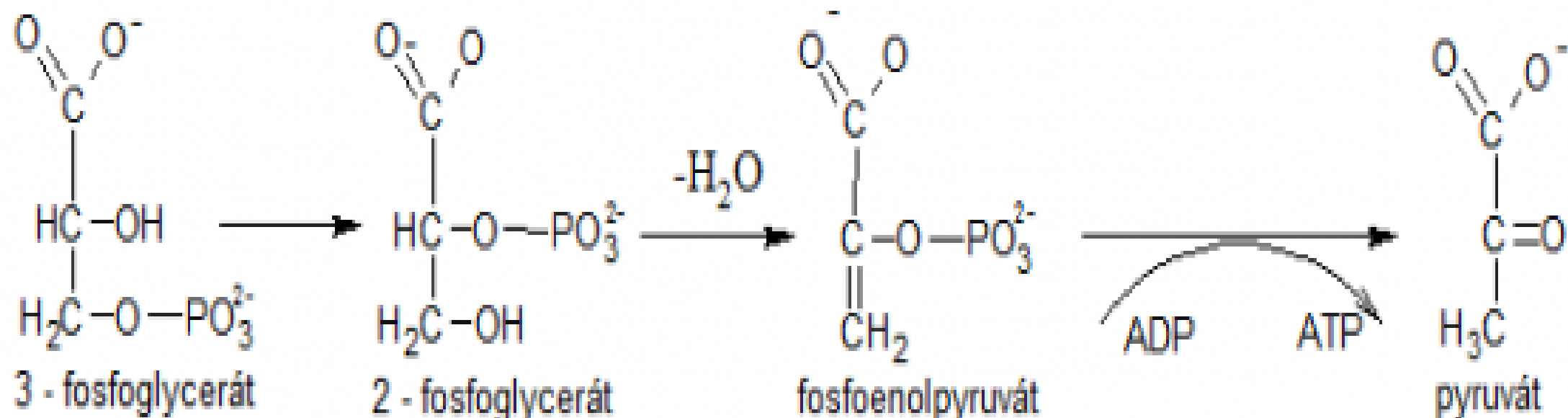
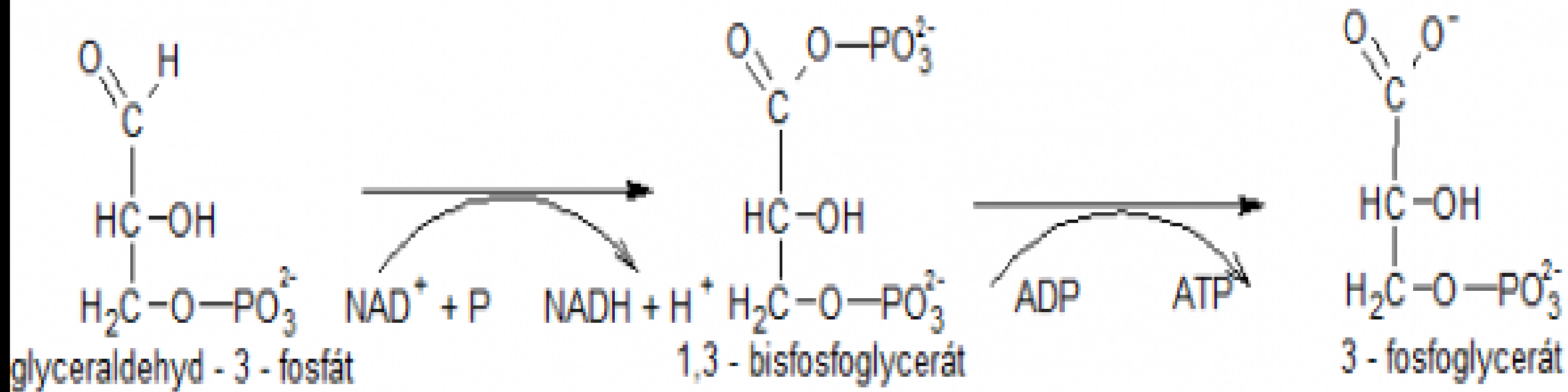
$\beta$ -D-fruktóza -6-fosfát

- ❖ **2. Druhá fosforylace** fruktóza-6-fosfátu vzniká **fruktóza-1,6-bisfosfát** (Harden Yangův ester).
- ❖ Význam aktivace molekuly hexózy pro vstup do dalších reakcí.
- ❖ Je to nejpomalejší reakce celé glykolýzy použít k její regulaci.
- ❖ Reakci katalyzuje specifický alosterický enzym **fosfofruktokináza**, jehož **aktivátory jsou ADP a AMP** a **inhibitory ATP, fosfoenolpyruvát a citrát**.
- ❖ **Štěpení fruktóza-1,6-bisfosfátu** na **dva triózafosfáty** (glyceraldehyd-3-fosfát a dihydroxyacetonfosfát).
- ❖ Reakce probíhá jako obrácená aldolová kondenzace a katalyzuje ji **lyáza aldoláza**.
- ❖ Vzniklé triózafosfáty jsou udržovány v poměru 4 % glyceraldehyd-3-fosfát : 96 % dihydroxyacetonfosfát enzymem **triózafosfátizomerázou**.





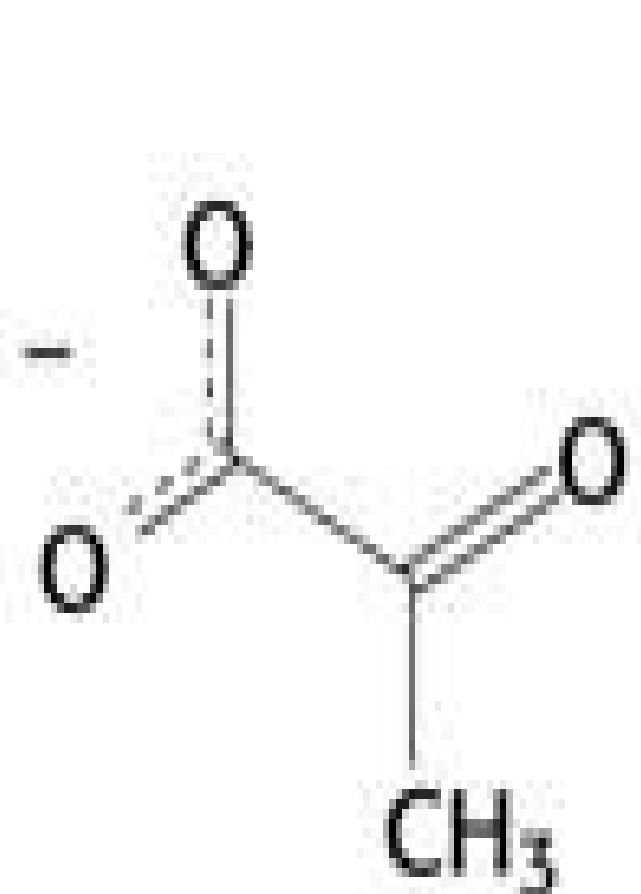
- ❖ **Dehydrogenace glycerinaldehyd-3-fosfátu** ████████ buží ke tvorbě vysoceenergetického redukčního činidla **NADH + H<sup>+</sup> z NAD<sup>+</sup>**
- ❖ Do této reakce vstupuje pouze glycerinaldehyd-3-fosfát a proběhne jeho **oxidace** a to formou **DEHYDROGENACE** (probíhá anaerobně).
- ❖ Aldehydová skupina glycerinaldehyd-3-fosfátu je zde donorem atomů vodíku.
- ❖ Reakci katalyzuje enzym **glycerinaldehyd-3-fosfátdehydrogenáza**.
- ❖ Dehydrogenací glycerinaldehyd-3-fosfátu, **za současného připojení fosfátu** vzniká **1,3-bisfosfoglycerát**, který se **hydrolyticky defosforyluje** na **3-fosfoglycerát (první substrátová fosforylace)**, který izomeruje na **2-fosfoglycerát**.
- ❖ **Dehydratací** 2-fosfoglycerátu vzniká **2-fosfoenolpyruvát**, jehož **hydrolytickou defosforylací** vzniká **enolpyruvát**, který spontánně izomeruje na **pyruvát**.



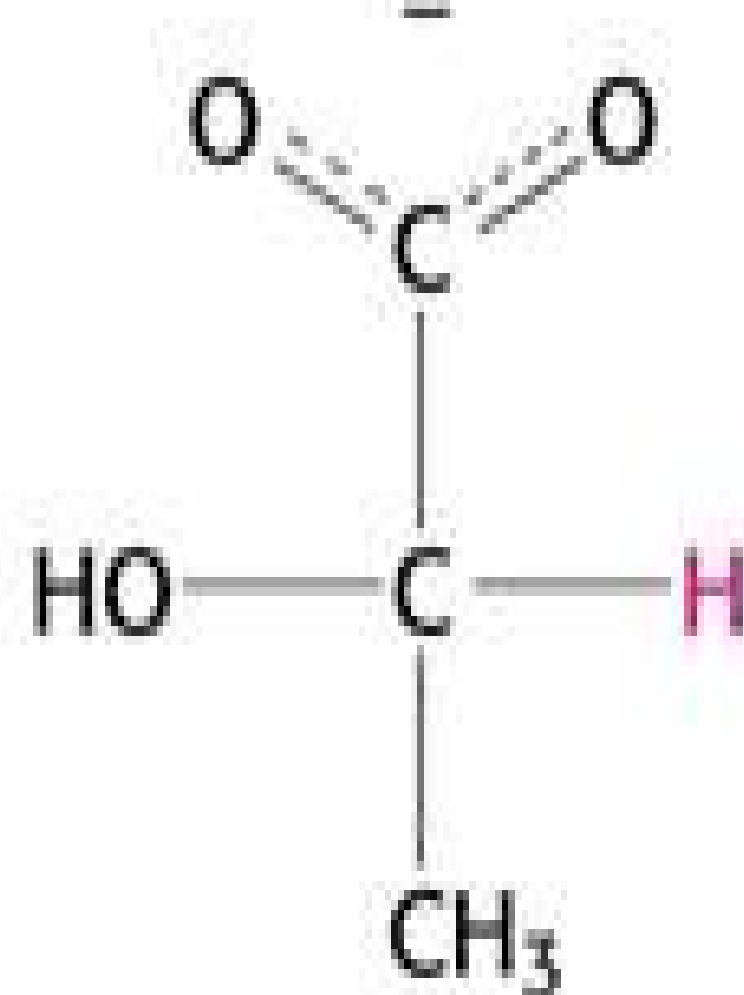
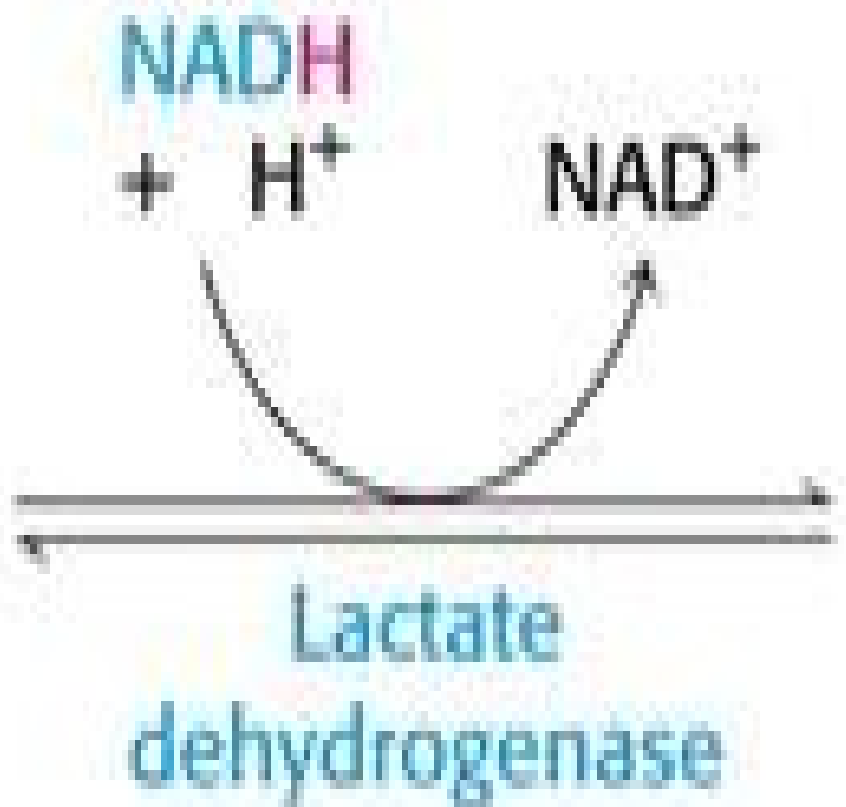
- ❖ Pyruvát vzniká v živočišných buňkách nejen odbouráváním glukózy, **ale i z glykogenu**, který se tvoří **ve svalech a játrech** z přebytečné glukózy.
- ❖ Odbourávání glykogenu = **glykogenolýza** poskytuje 3 ATP na jednu vzniklou molekulu glukóza-1-fosfátu (vzniká fosforolýzou glykogenu).

# PŘEMĚNA PYRUVÁTU NA LAKTÁT – mléčné kvašení

- ❖ Probíhá v buňkách živočišných svalů a kvasných bakterií **za anaerobních podmínek.**
- ❖ **NADH + H<sup>+</sup>** se nemůže oxidovat v dýchacím řetězci – chybí konečný akceptor elektronů – kyslík (platí i pro buňky, které nemají dýchací řetězec – bakterie).
- ❖ Při anaerobním odbourávání pyruvátu již nevznikají žádné molekuly ATP, dochází jen k oxidaci redukovaných koenzymů, aby mohly být opětovně použity.
- ❖ Celkově se tedy při anaerobní glykolýze získává pouze 2 ATP.
- ❖ Vzniklá kyselina mléčná může být v případě svalových buněk využita ke glukoneogenezi nebo po přívodu kyslíku se z ní znovu získává energie.



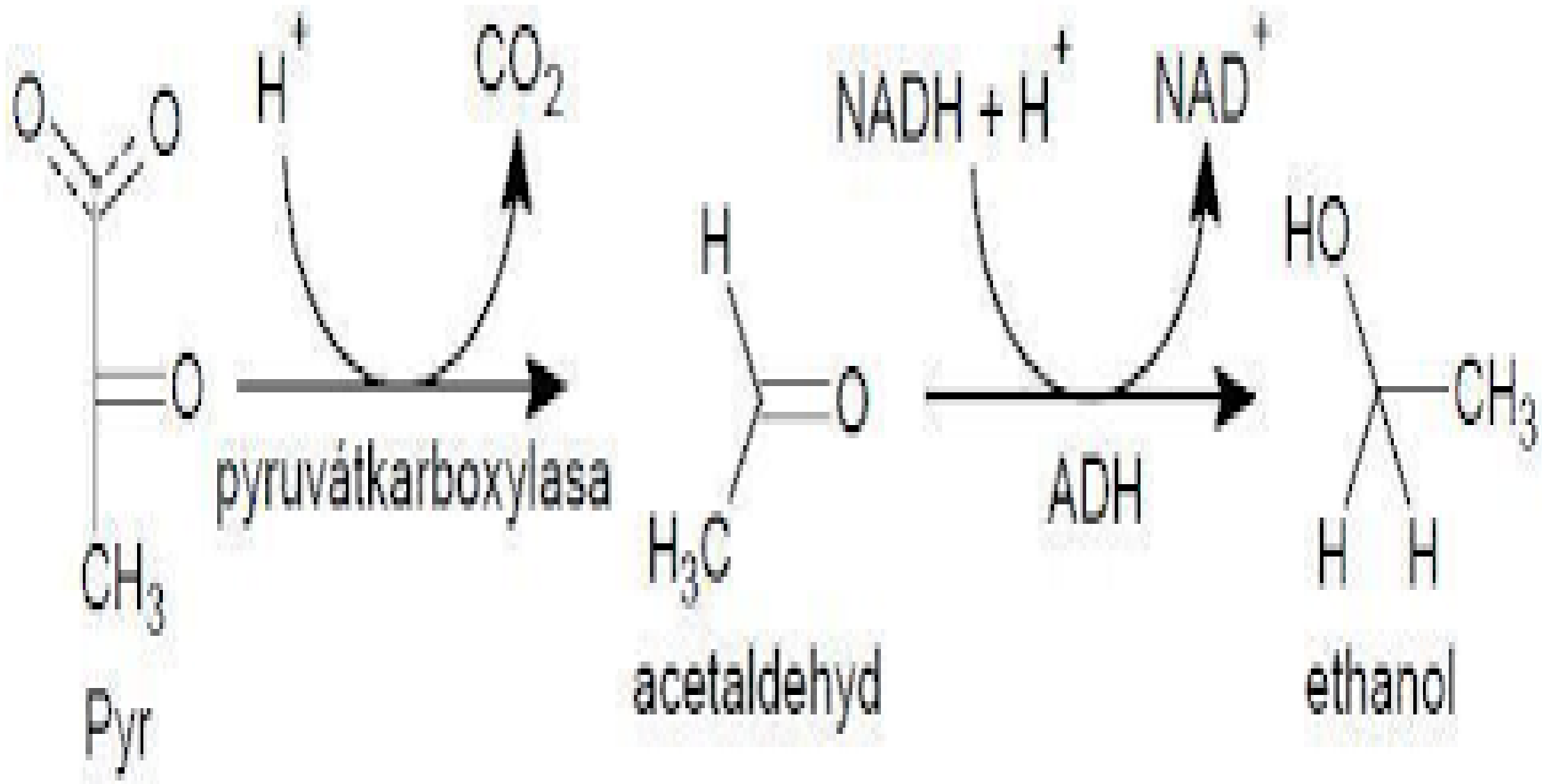
**Pyruvate**



**Lactate**

# PŘEMĚNA PYRUVÁTU NA ETHANOL – alkoholové kvašení

- ❖ Tímto způsobem metabolizují glukózu **kvasinky**.
- ❖ **Dekarboxylací pyruvátu (enzymem pyruvátdekarboxylázou)** vzniká vhodný akceptor vodíkových atomů **acetaldehyd**, jehož redukcí vzniká **ethanol**.
- ❖ Získá 2 ATP / 1 molekulu pyruvátu (substrátovou fosforylací).
- ❖ U živočichů se nevyskytuje **ethanol** je toxický.
- ❖ Kvasinky zastavují kvašení při 16 % obj. (toxicita), ušlechtilé kvasinky až 30 % obj. alkoholu.





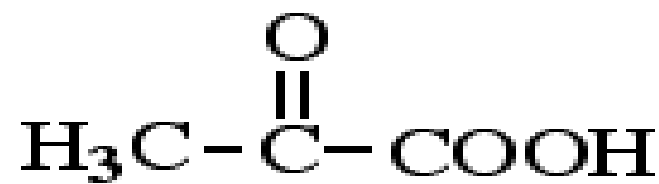
# PŘEMĚNA PYRUVÁTU NA Acetylkoenzym

## A

- ❖ Tzv. **oxidační dekarboxylace pyruvátu** – nejdůležitější pro aeroby.
- ❖ Probíhá za aerobních podmínek **v matrix mitochondrií**.
- ❖ Oxidační dekarboxylaci katalyzuje **pyruvátdehydrogenázový enzymatický komplex**.
- ❖ **Produktem je Acetylkoenzym A (makroergická sloučenina)**.
- ❖ Acetylkoenzym A (acetylCoA) je **klíčová látka metabolismu**, nejčastěji se odbourává v citrátovém cyklu.
- ❖ Z acetyl-CoA si buňky syntetizují různé ketolátky, izoprenoidy, vyšší mastné kyseliny...

Glucose

Glycolysis



Pyruvic acid

Coenzyme A

$\text{CO}_2$

$\text{NAD}^+$

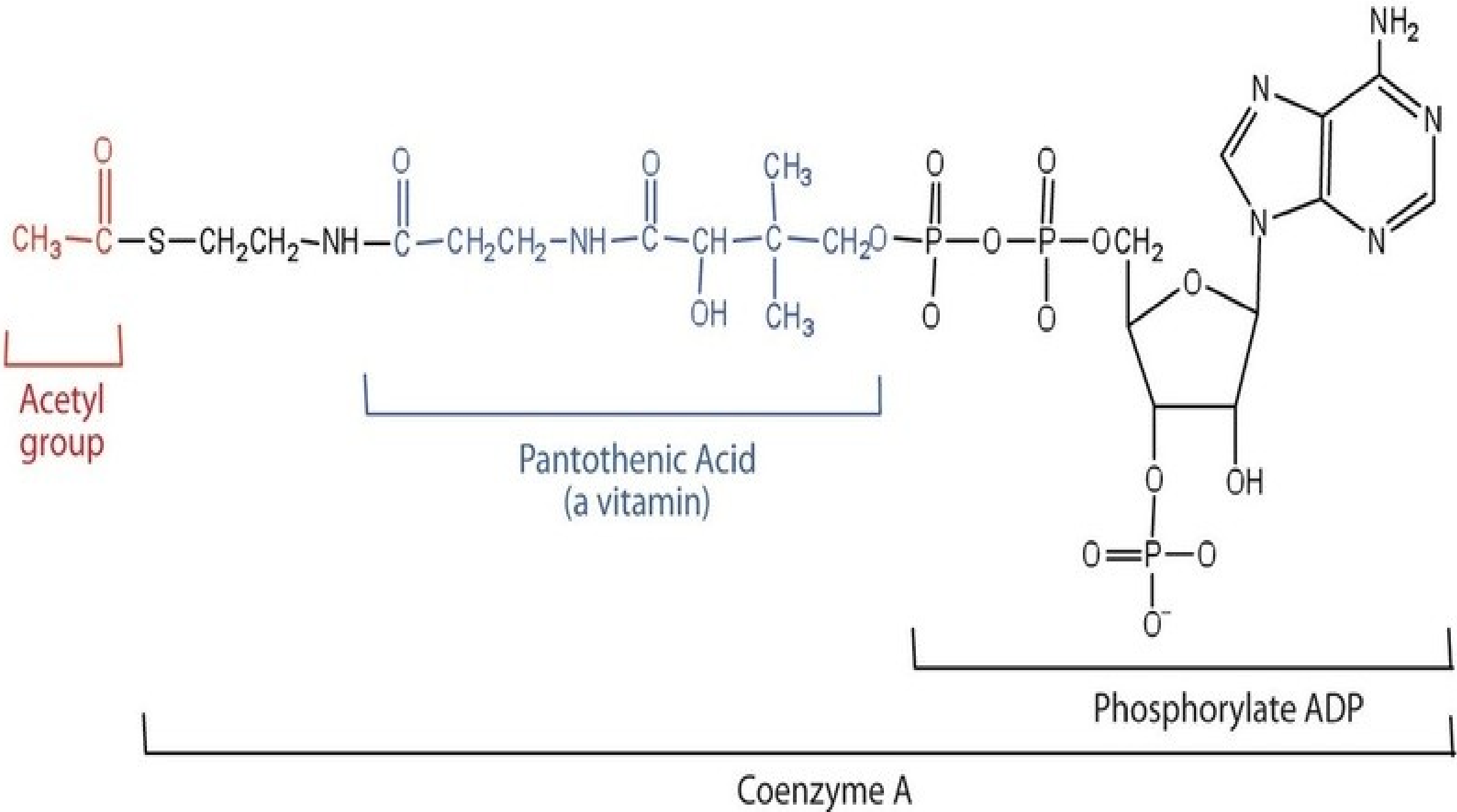
$\text{NADH}$



Acetyl-CoA

Pyruvate dehydrogenase

Krebs Cycle

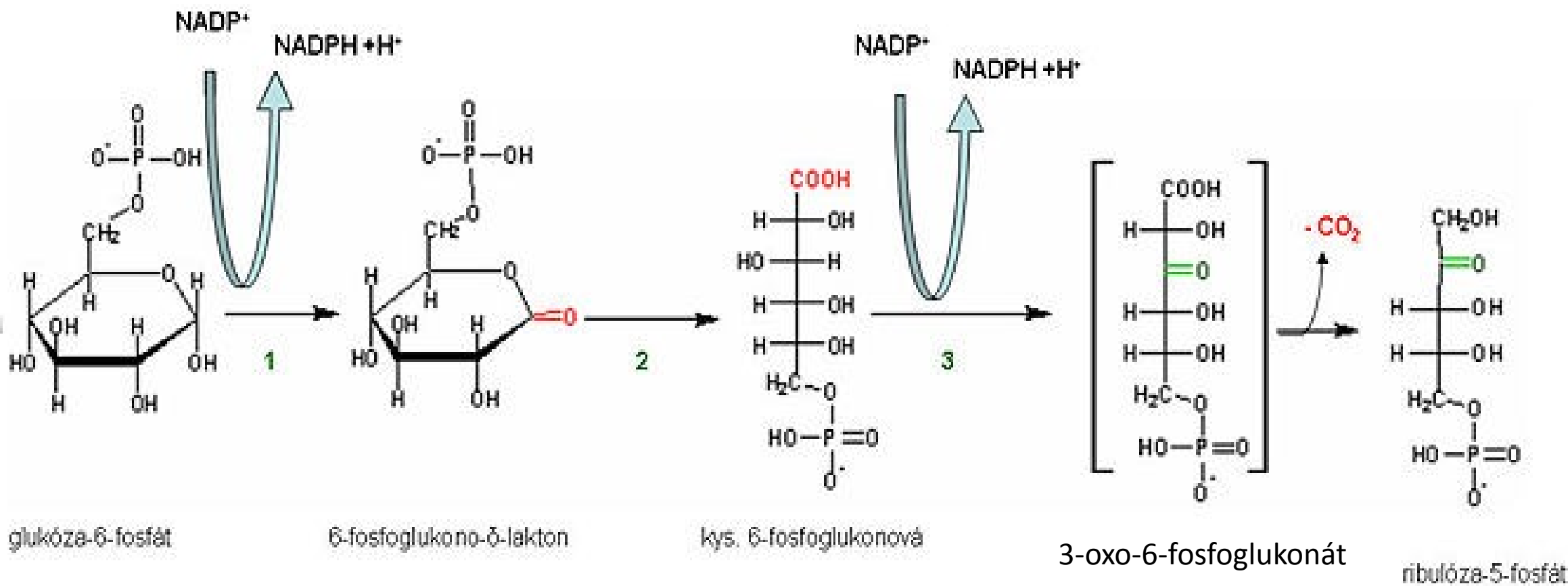


# Pentózový cyklus (pentózafosfátová cesta, hexózamonofosfátový zkrat)

- ❖ Pentózový cyklus je katabolický děj, který poskytuje redukované kofaktory (hlavní producent **NADPH + H<sup>+</sup>** v buňce) a pětiuhlíkaté sacharidy (**pentózy**).
- ❖ Jedná se o metabolickou přeměnu glukózy, jejíž cílem **není tvorba ATP**.
- ❖ Díky meziproductům umožňuje **vzájemné přeměny monosacharidů**, užité např. při syntéze glykoproteinů.
- ❖ Umožňuje přímou oxidaci glukózy na CO<sub>2</sub> bez zahrnutí Krebsova cyklu a dýchacího řetězce.
- ❖ Pentózový cyklus je **lokalizován v cytoplasmě** (zejména buněk jater, tukové tkáně, varlat, kůry nadledvin, dále pak v erytrocytech či v laktující mléčné žláze, enzymy se ale vyskytují ve všech tkáních).
- ❖ Cyklus zahrnuje 2 fáze: **oxidační fázi a regenerační fázi**.

## OXIDAČNÍ FÁZE P.C.

- ❖ Zahrnuje **dvě postupné dehydrogenace (zisk 2 NADPH + H<sup>+</sup>) a následnou dekarboxylaci (odštěpení CO<sub>2</sub>)** molekuly hexózy, za vzniku **pentózy**.
- ❖ Vzniklá ribóza-5-fosfát se využije např. na syntézu **nukleotidů**.



glukóza-6-fosfát

6-fosfoglukono-δ-lakton


kys. 6-fosfoglukonová

3-oxo-6-fosfoglukonát

ribulóza-5-fosfát

- 1 - glukóza-6-fosfát-dehydrogenáza
- 2 - 6-fosfo-glukonolaktonáza
- 3 - fosfoglukonátdehydrogenáza

## REGENERAČNÍ FÁZE

- ❖ Fosforečné estery pentóz, které nebyly využity pro biosyntézu nukleotidů, **jsou převáděny zpět na hexózy** (glukóza-6-fosfát).
- ❖ C<sub>2</sub> a C<sub>3</sub>-zbytky (glykolaldehyd a glyceraldehyd) jsou enzymaticky přenášeny **z ketóz (xylulóza a sedoheptulóza) na aldózy (ribózu a erythrózu)**, za vzniku hexózy (fruktóza-6-fosfátu omerací vzniká **glukóza-6-fosfát**).