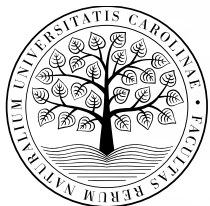


Pokroky v biologii 2022

Metabolické rovnováhy



Ladislav Merta



PŘÍRODOVĚDECKÁ
FAKULTA
Univerzita Karlova

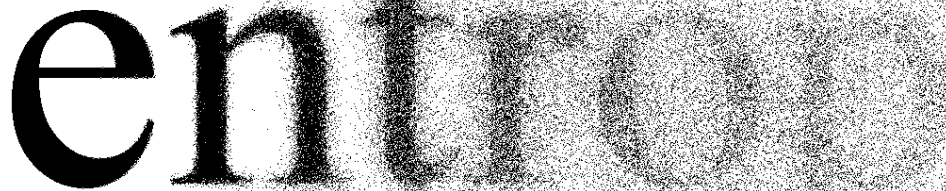
...aneb vyladěno miliony let praxe

Rovnováha



2. termodynamický zákon

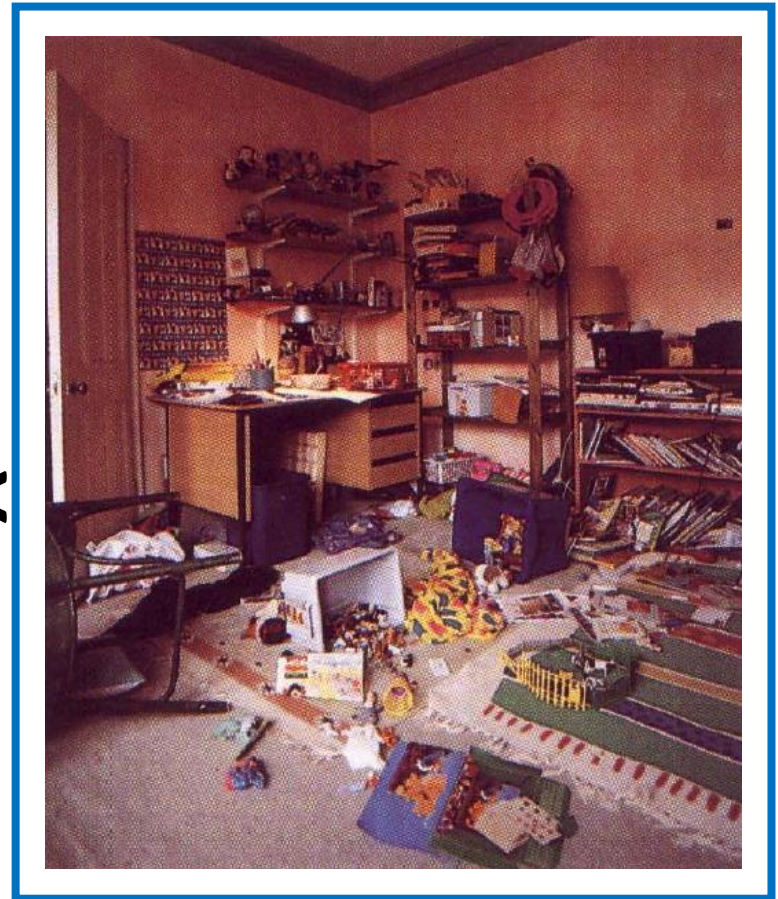
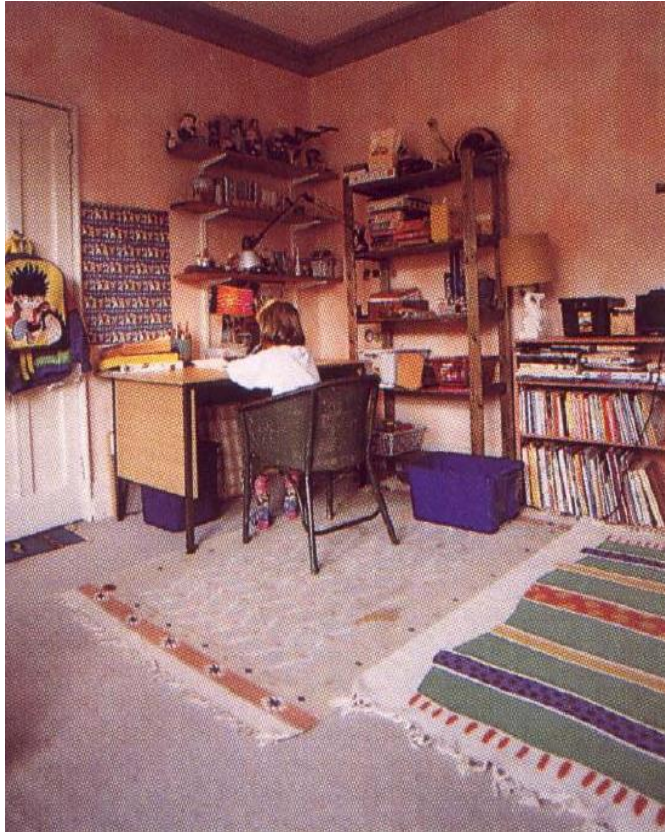
„Spontánní (samovolné) procesy vždy směřují ve směru
vzrůstající **ENTROPIE**.“



entropy

ENTROPIE = míra neuspořádanosti systému
nízká entropie systému = vysoká energie systému
vysoká entropie = nízká až minimální energie systému

2. termodynamický zákon



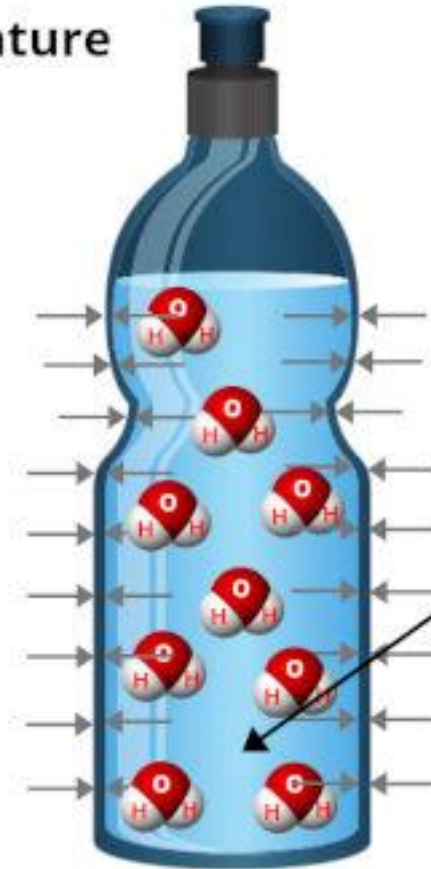
KTERÁ SOUSTAVA MÁ VYŠŠÍ ENTROPII?

2. termodynamický zákon



Termodynamická rovnováha

Surrounding temperature
(25 °C)



Water temperature
(25 °C)

Entropie a živé systémy



bazální metabolismus muže ve věku
30 let (80 kg, 180 cm) je cca 2000
kalorií/den (jen k zachování vitálních
funkcí!!!)



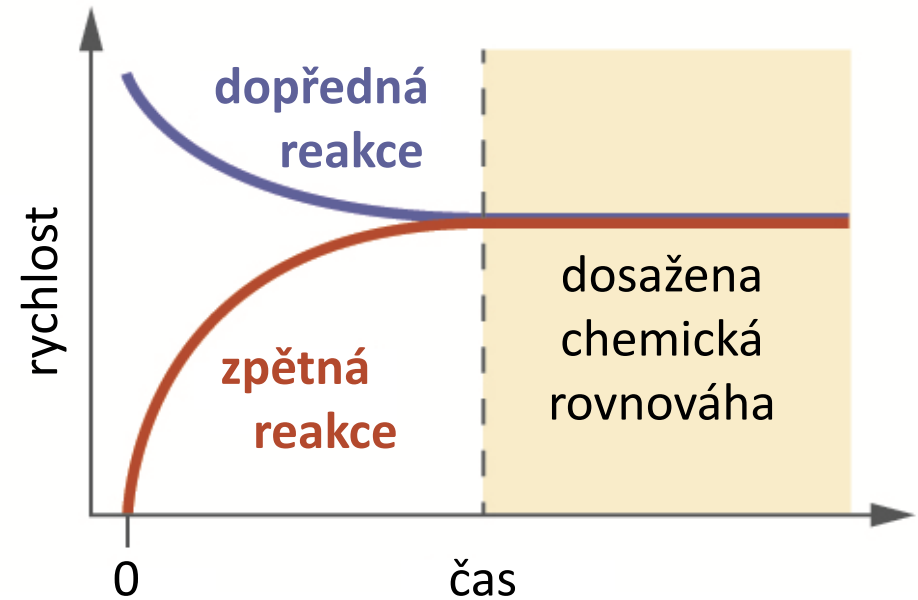
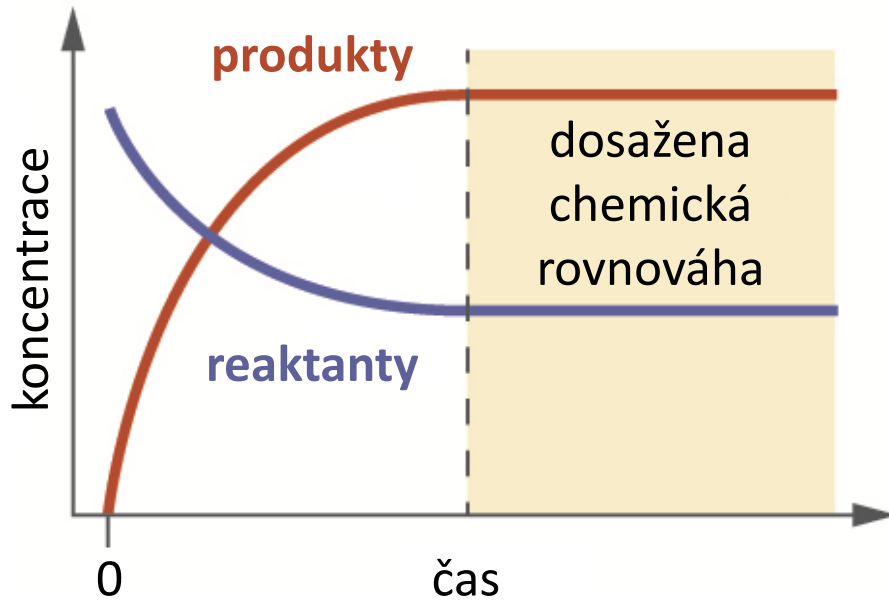
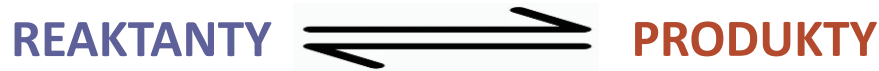
**CO SE STANE, KDYŽ ORGANISMUS NEPŘIJÍMÁ ŽÁDNOU VYUŽITELNOU ENERGII?
MAJÍ ŽIVÉ ORGANISMY VELKOU NEBO MALOU ENTROPII?**

Entropie a živé systémy



živé systémy neustále bojují s entropií a aktivně se snaží být co nejvzdálenější termodynamické rovnováze

Chemická rovnováha



chemická rovnováha = stav, kdy je koncentrace reaktantů a produktů chemické reakce konstantní v čase („reakce skončila“)

Chemická rovnováha



Chemická rovnováha

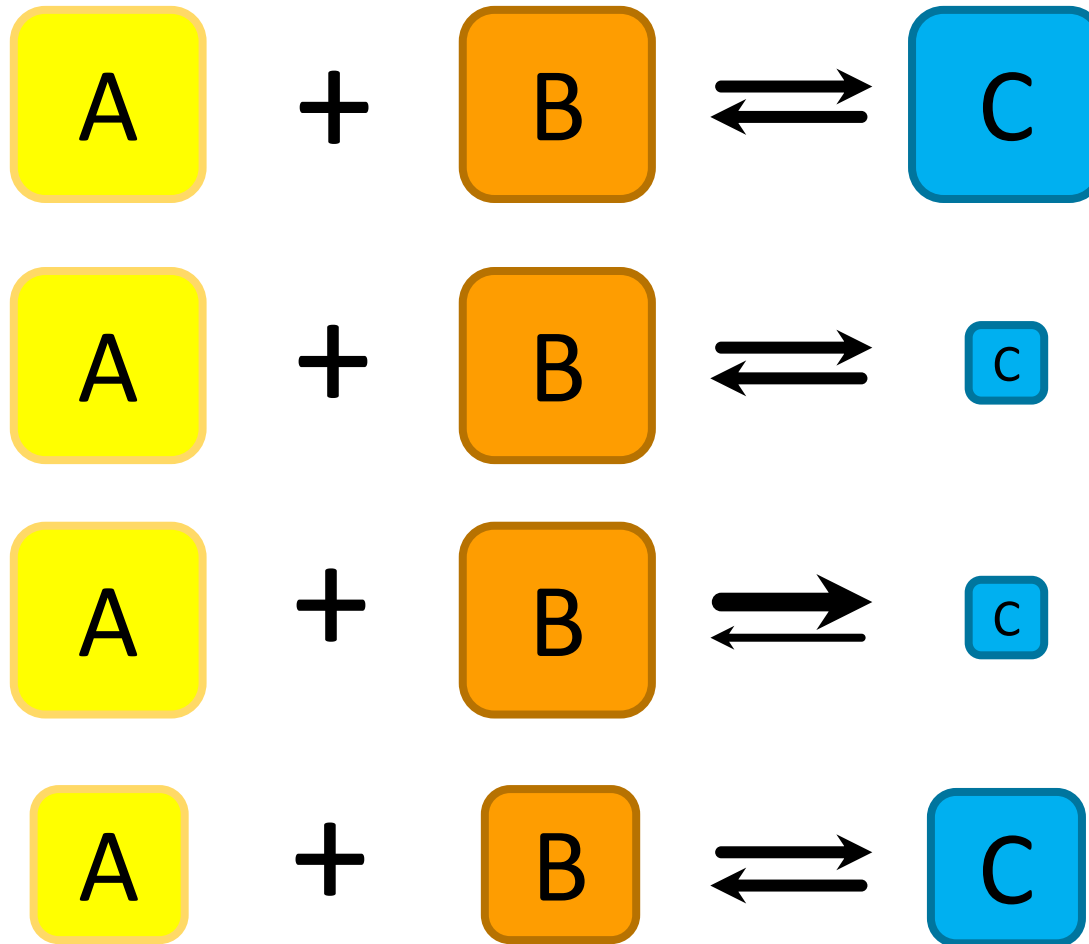
Možnost narušení chemické rovnováhy

- změnou koncentrace produktů či reaktantů
- změnou teploty
- změnou tlaku

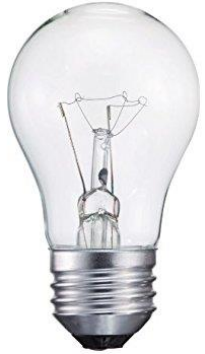
→ **System, který je v rovnováze, reaguje na každou změnu (teploty, tlaku, koncentrace, atd.) tak, aby tuto změnu potlačil =**

Le Chatelierův princip

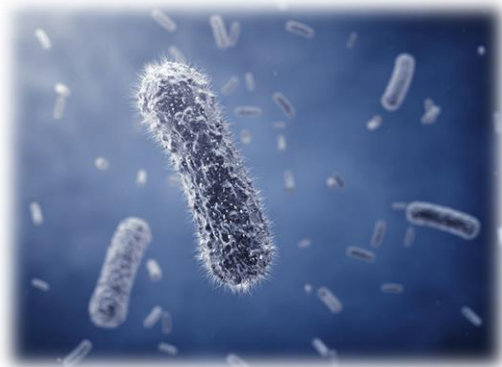
Chemická rovnováha



Metabolismus



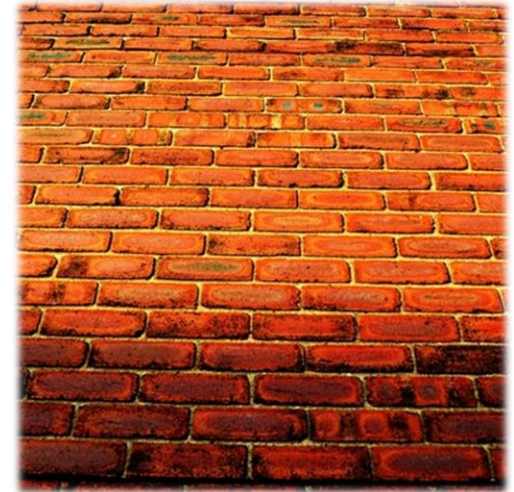
**CO MAJÍ
SPOLEČNÉHO ?**



Metabolismus



Metabolismus

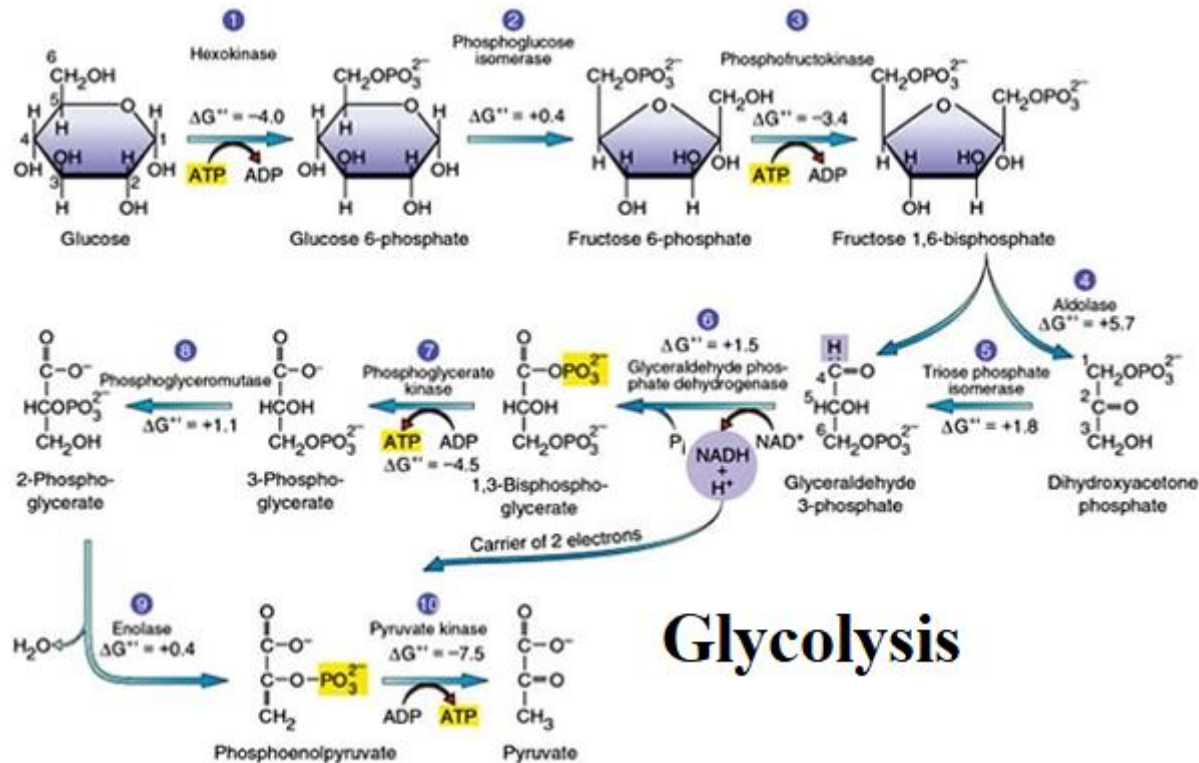
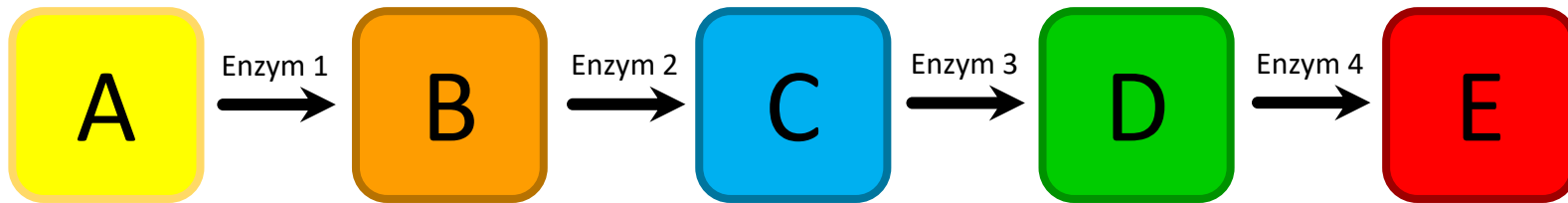


Metabolismus

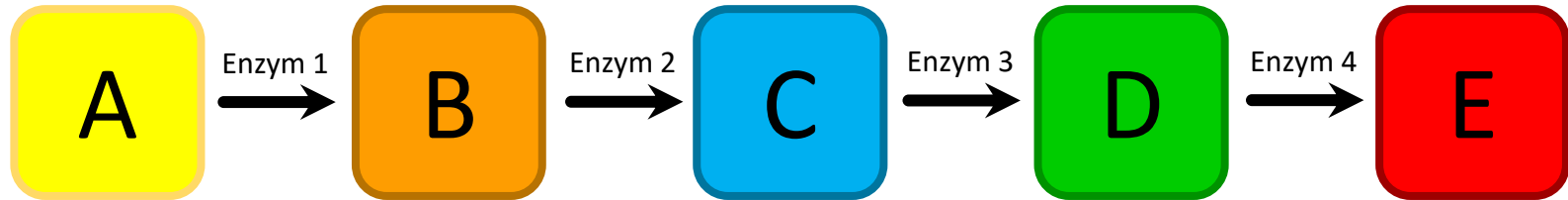
= přeměna **látek** a **energií** v živých soustavách

= soubor všech **enzymových reakcí**, při kterých dochází k přeměně látek a energií v živých organismech

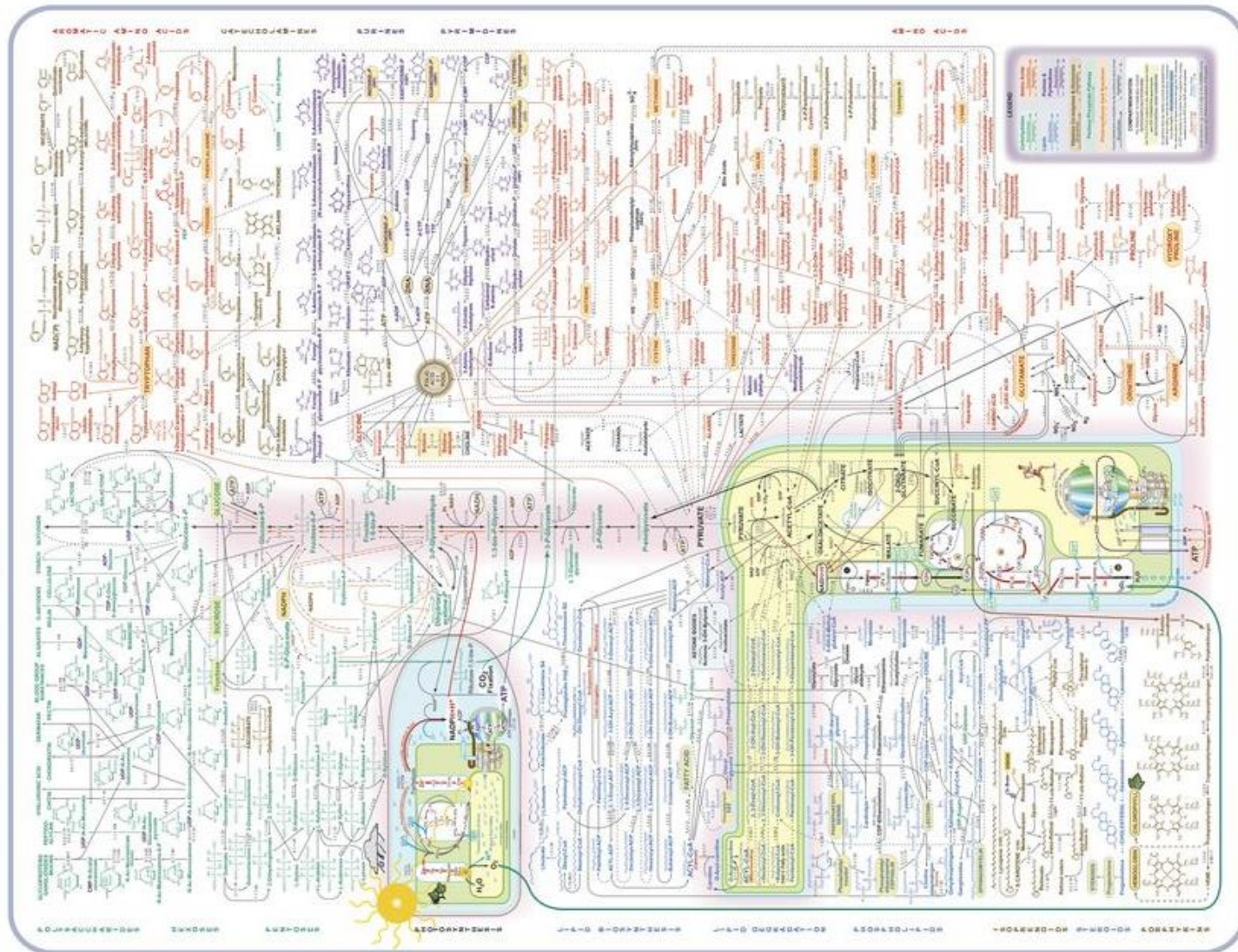
Metabolické dráhy



Metabolické dráhy



Metabolické dráhy



Metabolické dráhy



Katabolické („rozkladné“)

- složitější látky jsou štěpeny (oxidovány) na látky jednodušší
- energie se uvolňuje (děj **exergonický**)

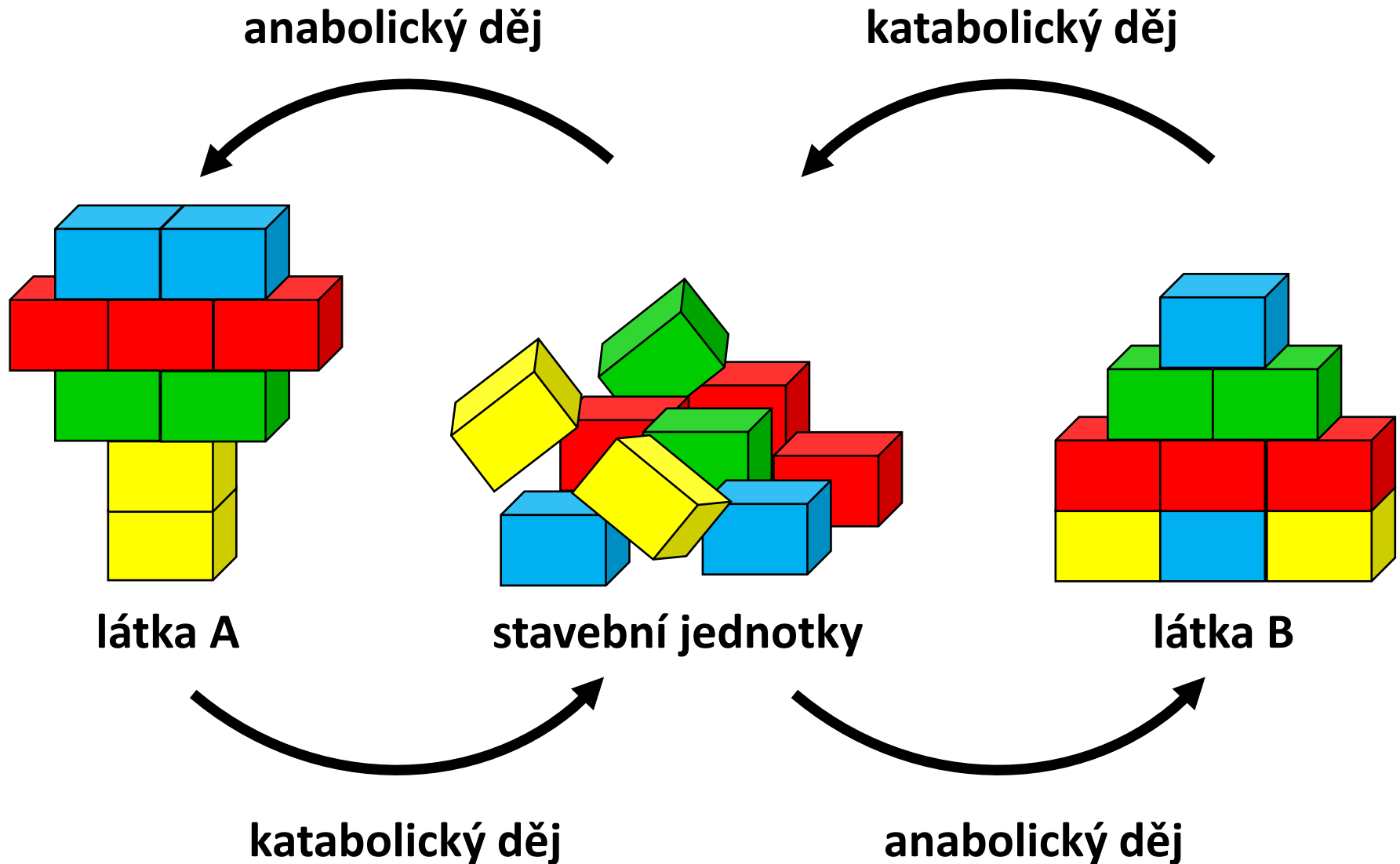


Anabolické („skladné, syntetické“)

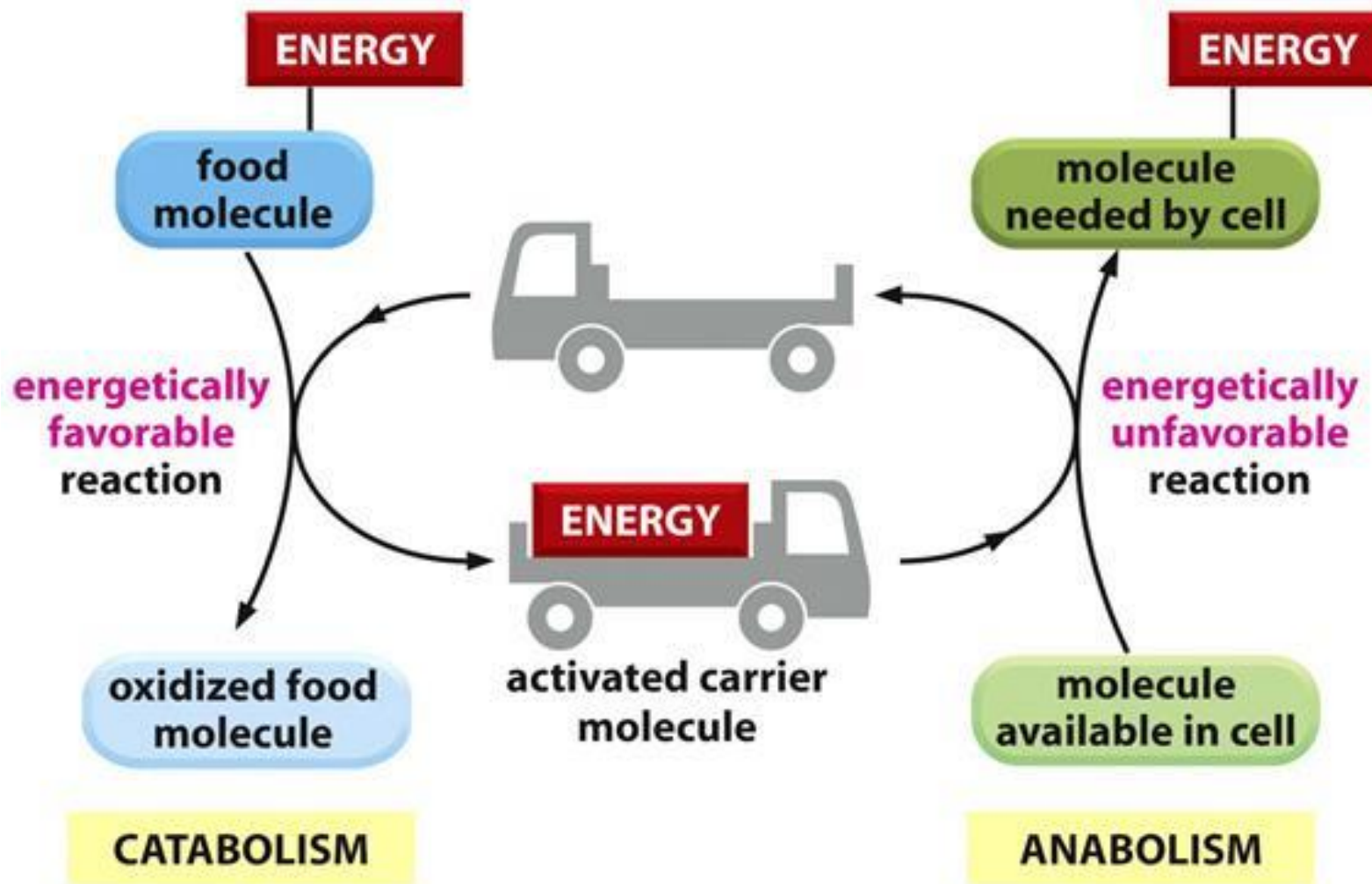
- jednodušší látky jsou přeměňovány (spojovány) v látky složitější
- energie se spotřebovává (děj **endergonický**)



Metabolické dráhy



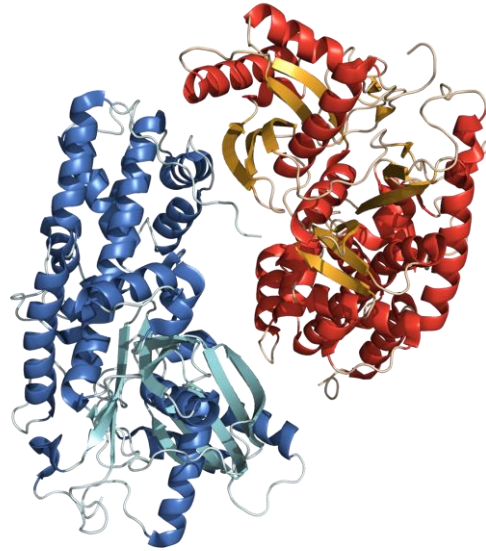
Metabolické dráhy



Enzymatické reakce

Enzymy

- = biokatalyzátory

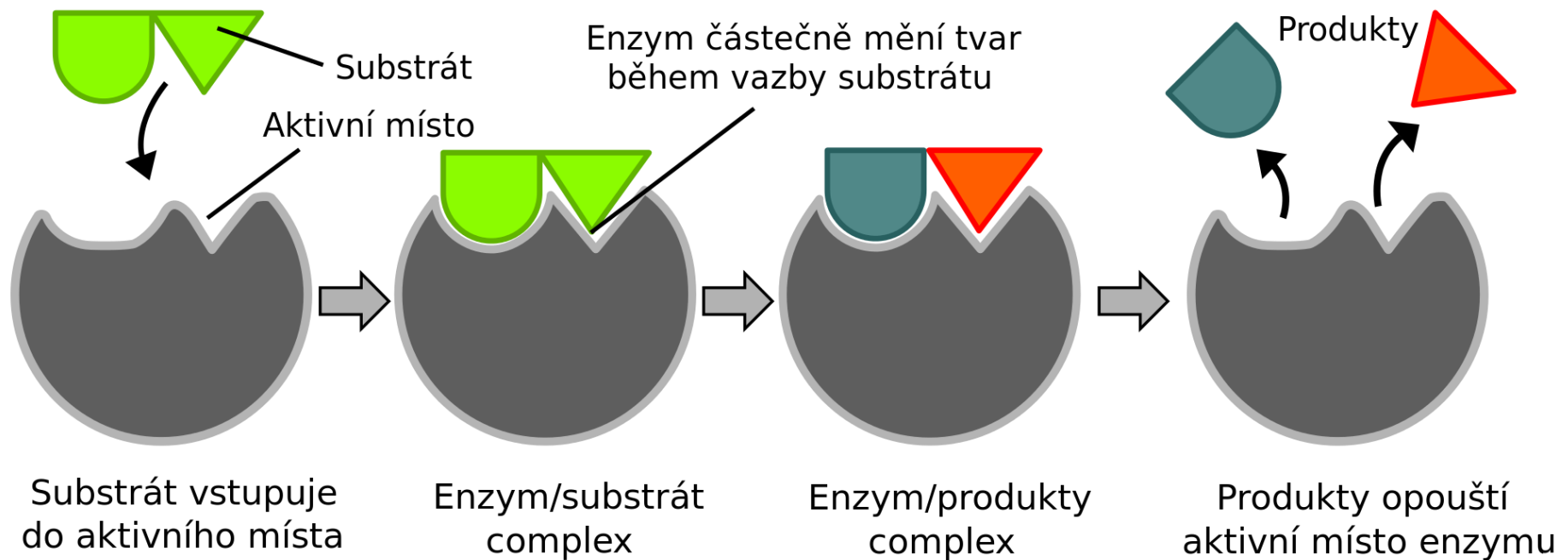


Katalyzátor

- látka vstupující do chemické reakce a vystupující z ní nezměněna
- urychluje dosažení chemické rovnováhy
- rovnováhu však nikam **neposouvá!**
- např. enzymy, platina, měď, jodid draselný, ...



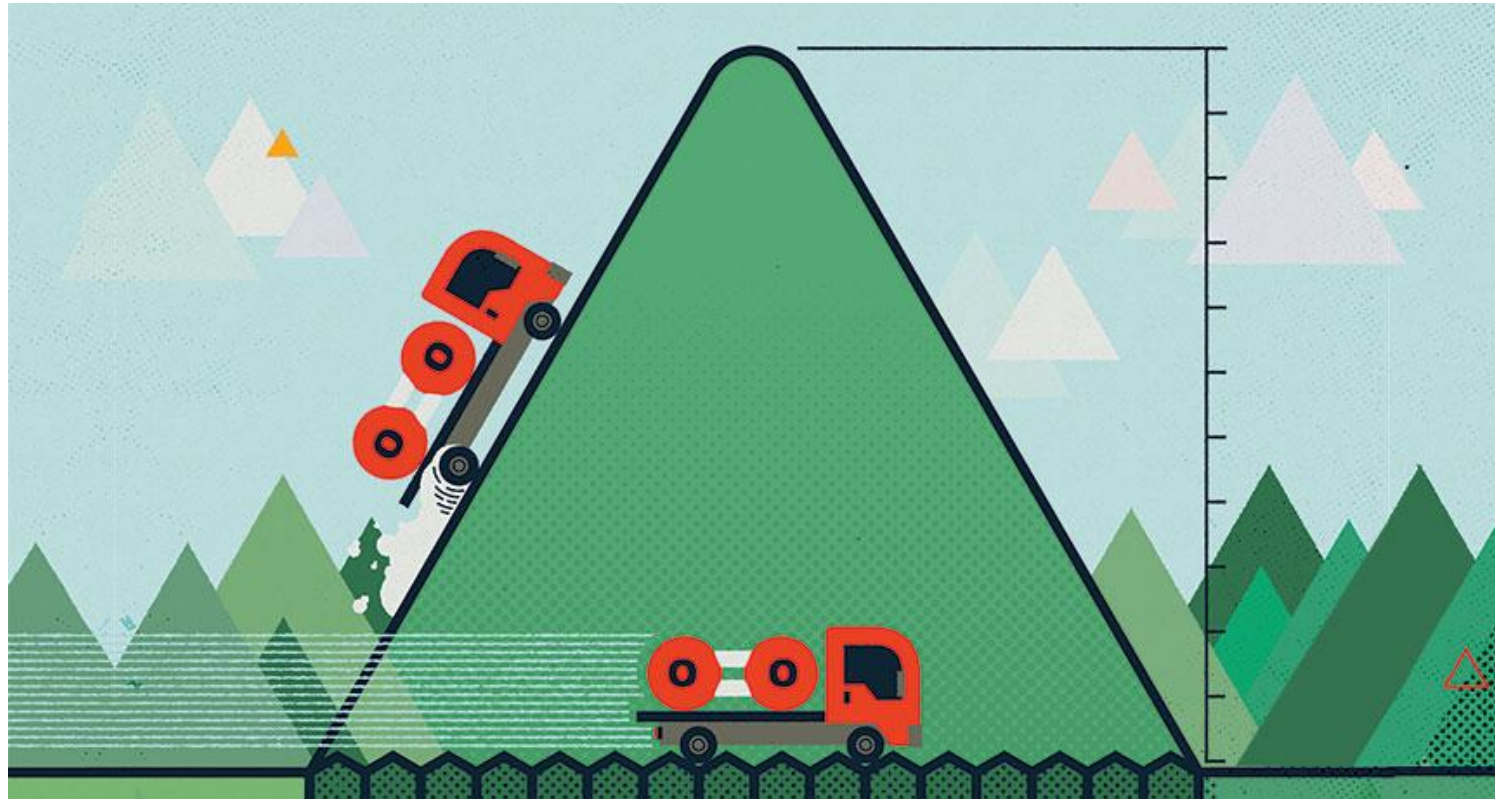
Enzymatické reakce



Enzymatické reakce

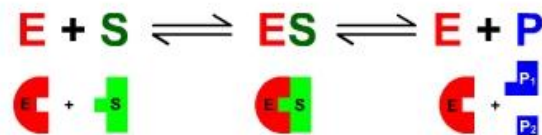
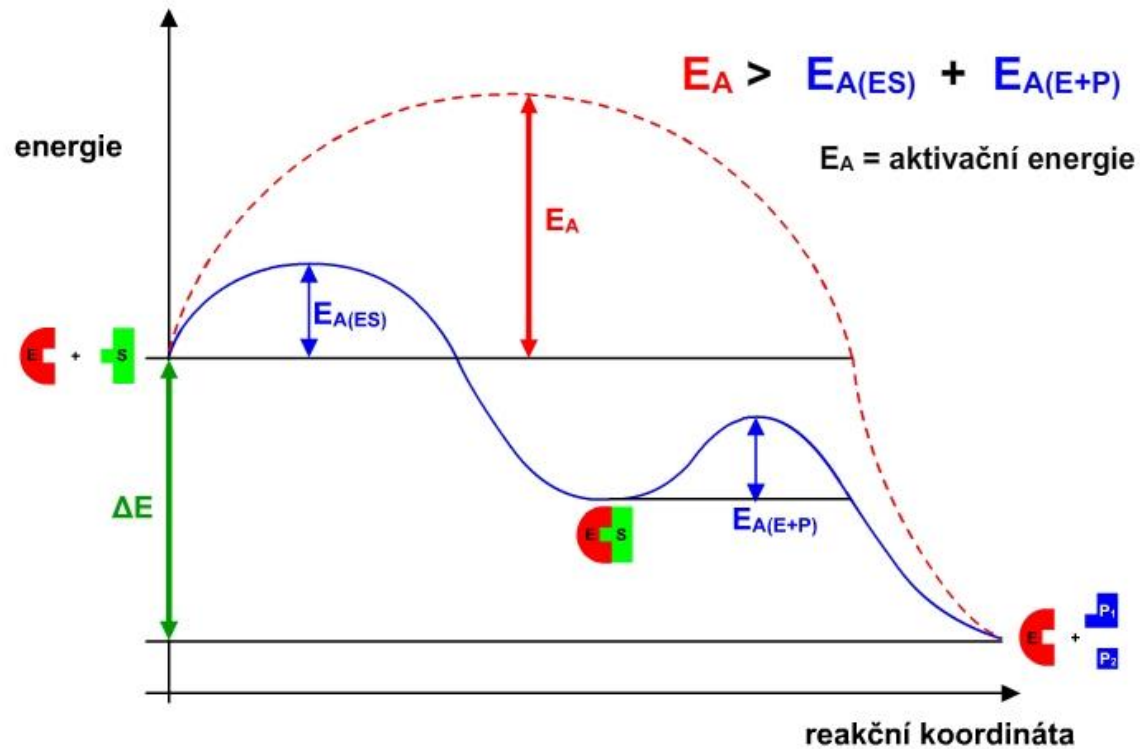
Katalytické působení

- snížení aktivační energie → zvýšení reakční rychlosti



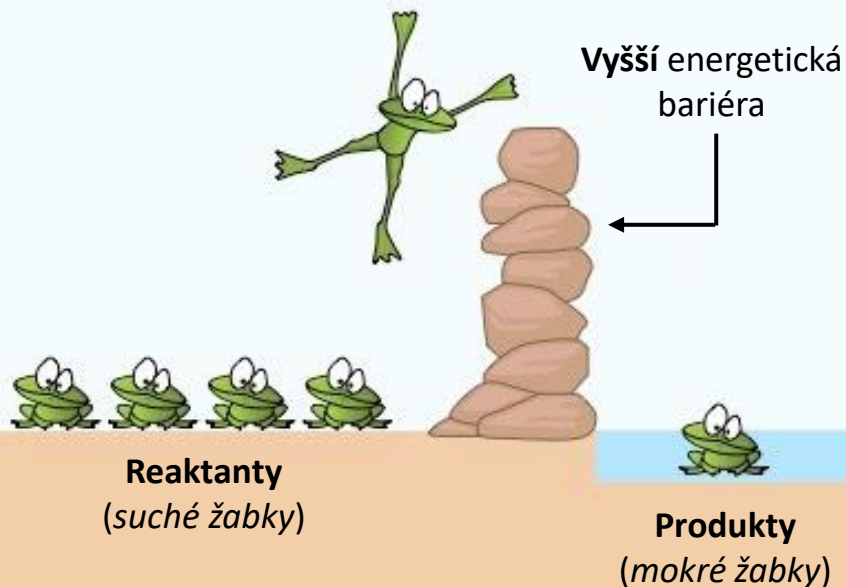
Enzymatické reakce

katalytické působení enzymu



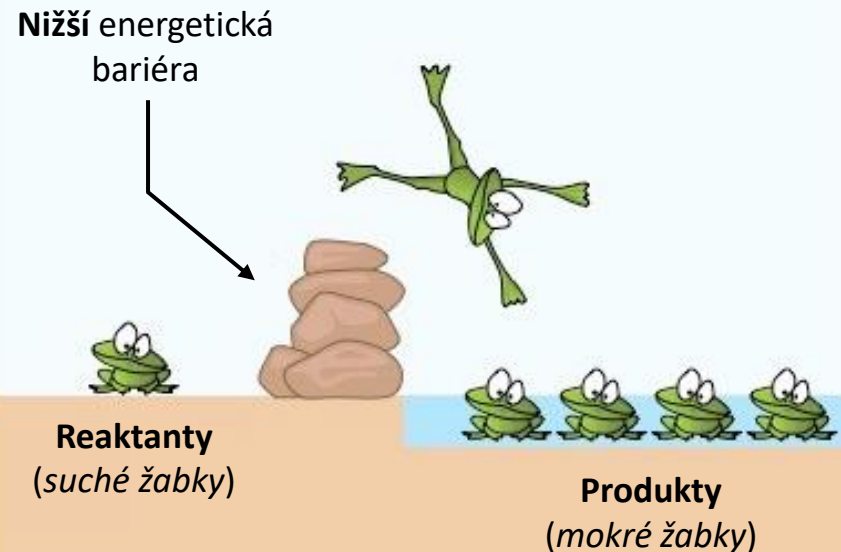
Enzymatické reakce

NEKATALYZOVANÁ REAKCE (BEZ ENZYMU)



Reakce probíhá **pomalou rychlostí** (pokud vůbec), protože aktivační energie je (velmi) vysoká.

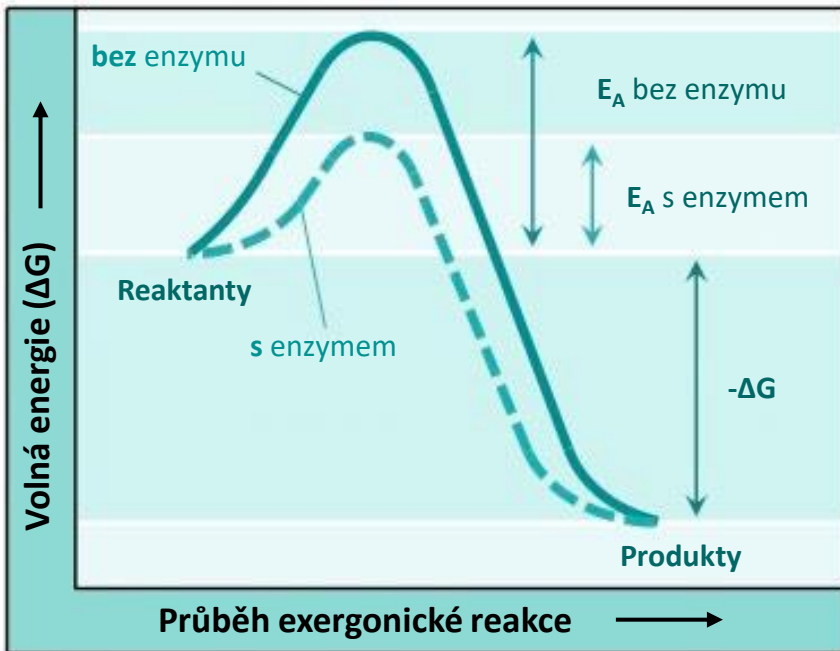
(ENZYMATICKY) KATALYZOVANÁ REAKCE



Reakce probíhá výrazně **vyšší rychlostí**, protože aktivační energie je snížena.

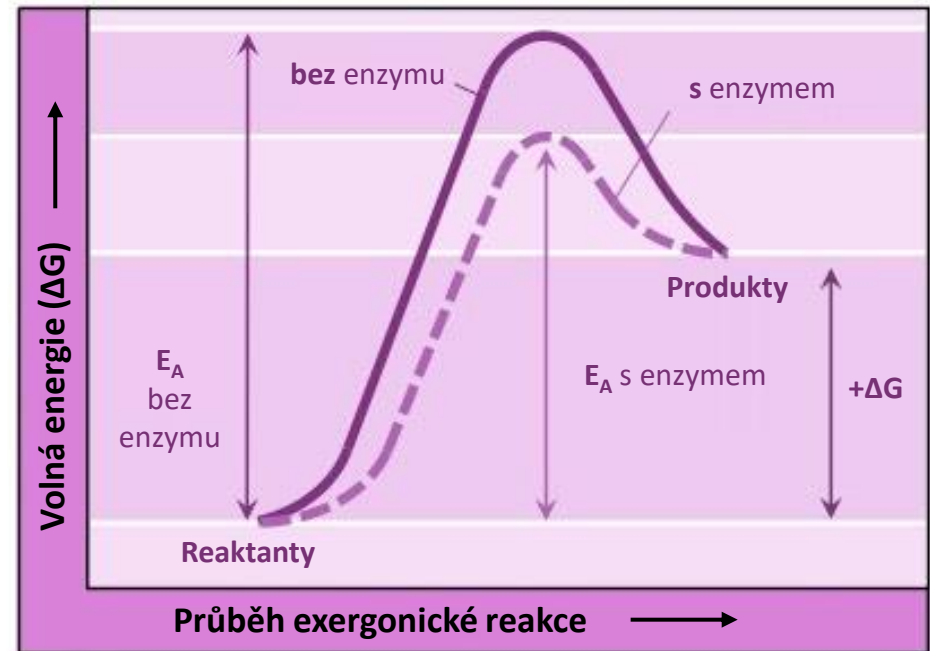
Enzymatické reakce

EXERGONICKÁ REAKCE



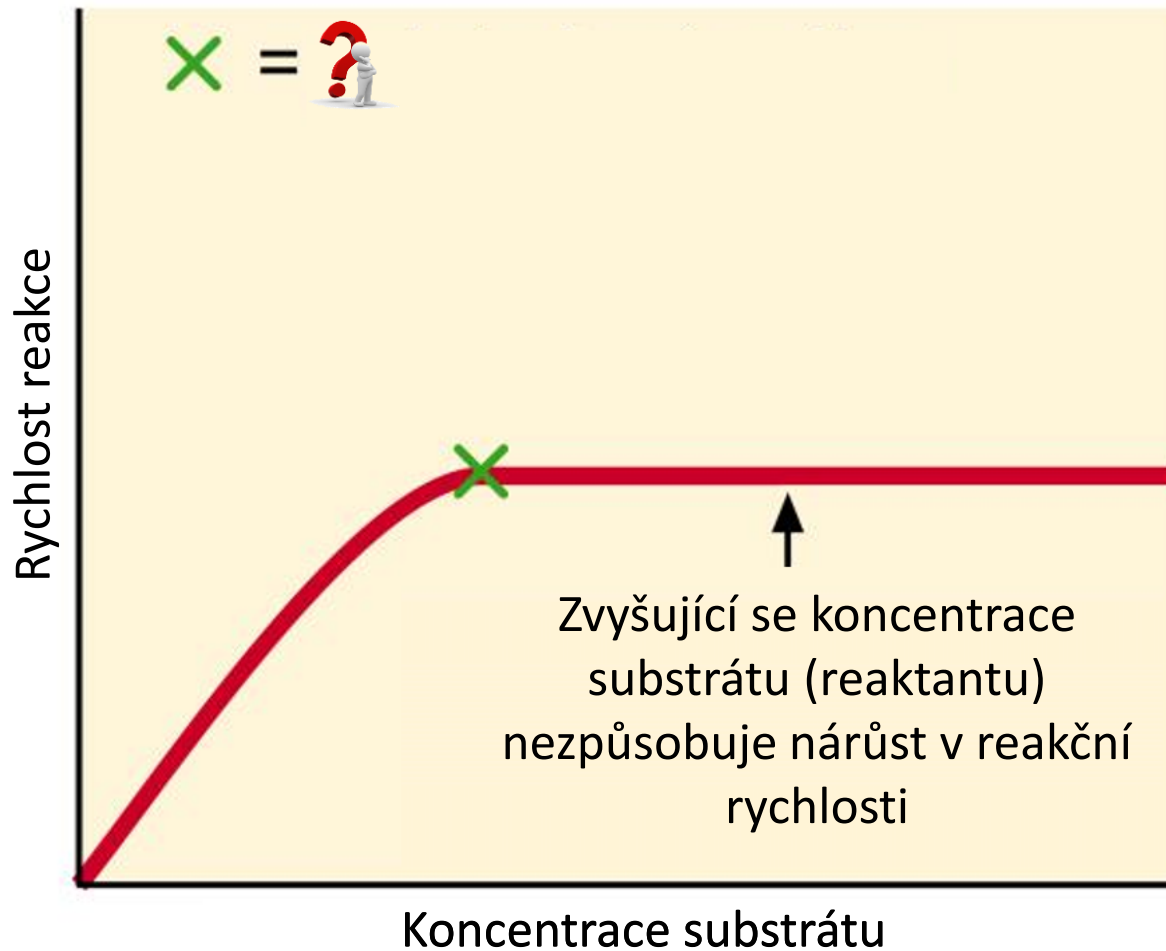
Obvykle katabolické dráhy

ENDERGONICKÁ REAKCE



Obvykle anabolické dráhy

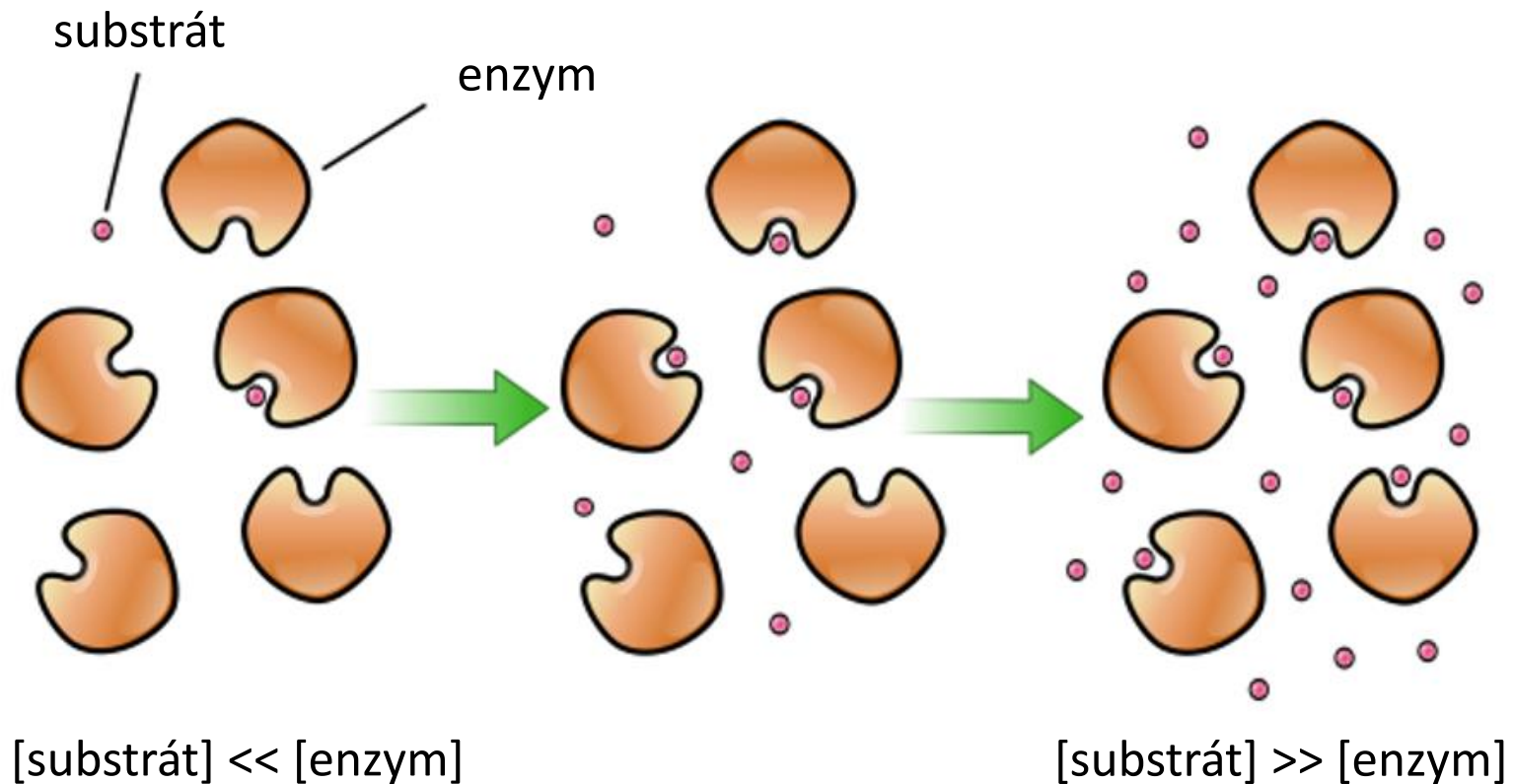
Enzymatické reakce



Enzymatické reakce

Regulace enzymatických reakcí

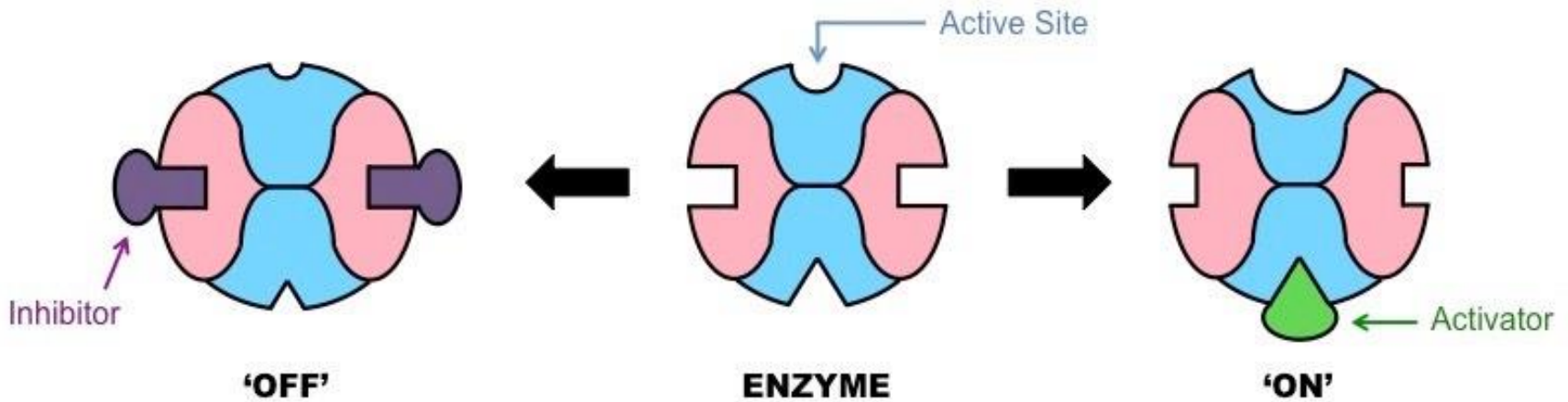
Dostupnost (množství) enzymů



Enzymatické reakce

Regulace enzymatických reakcí

Allosterická regulace

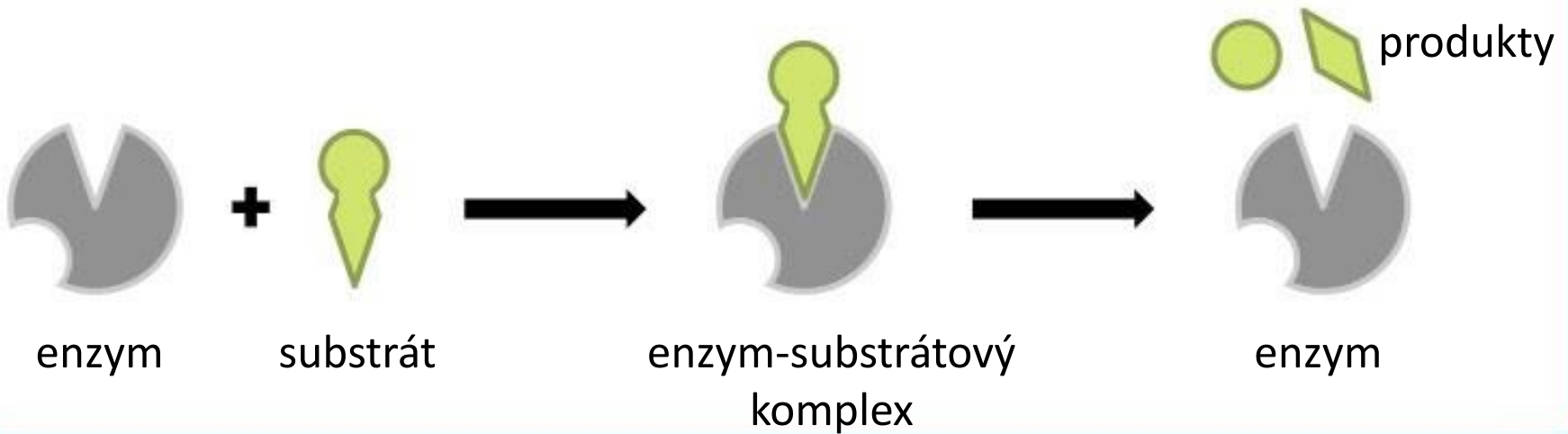


Enzymatické reakce

Regulace enzymatických reakcí

Inhibice enzymatické reakce

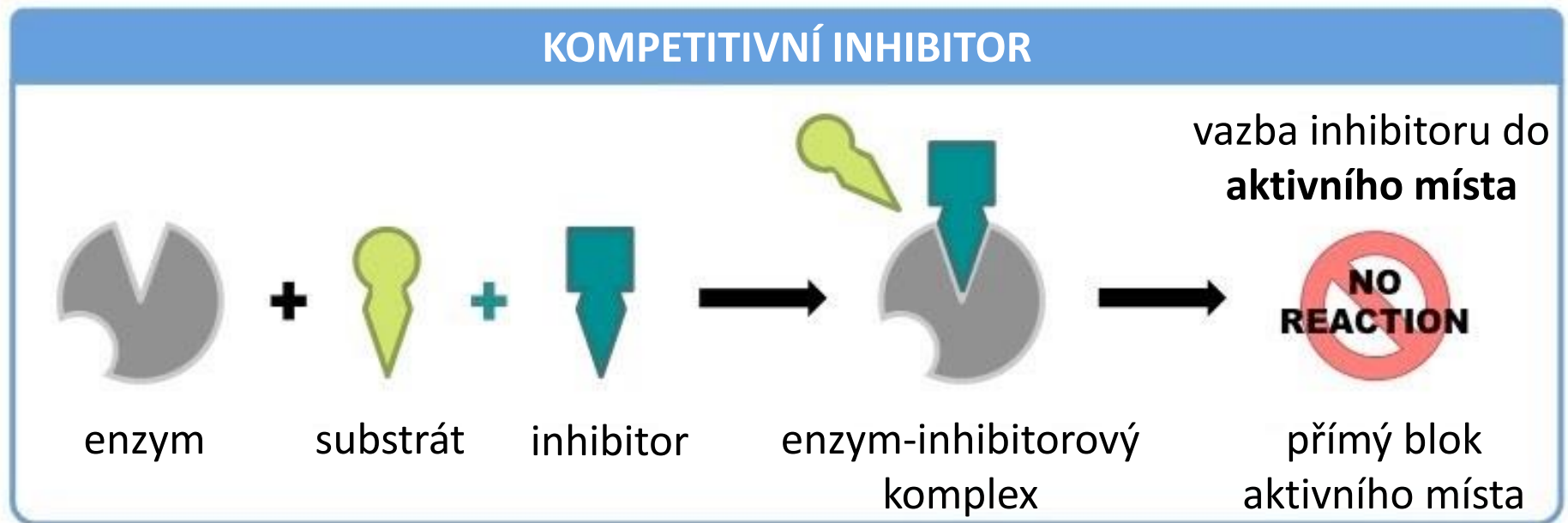
NORMÁLNÍ ENZYMATICKÁ REAKCE



Enzymatické reakce

Regulace enzymatických reakcí

Inhibice enzymatické reakce

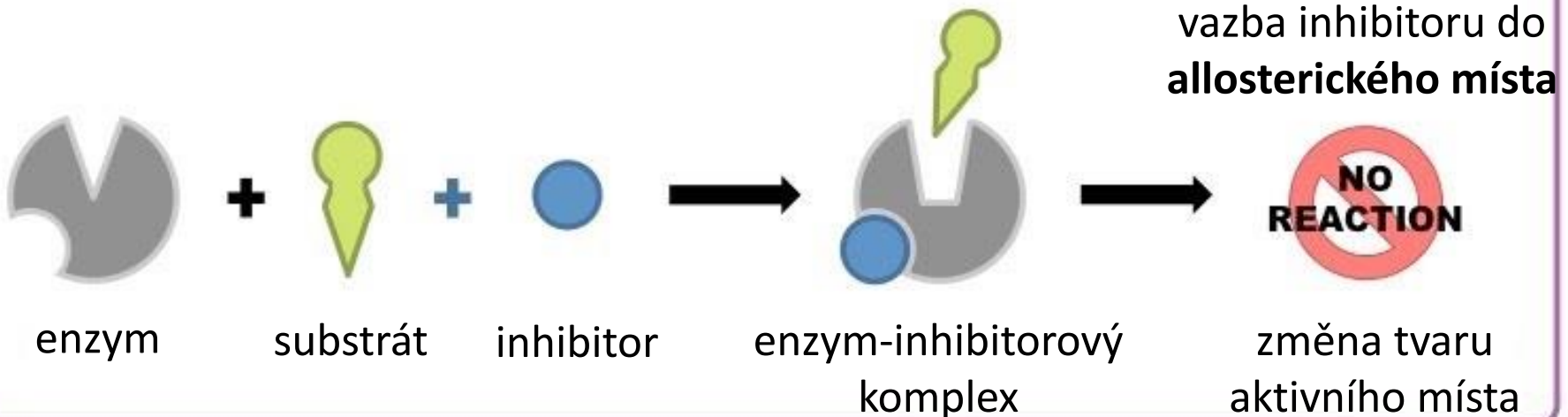


Enzymatické reakce

Regulace enzymatických reakcí

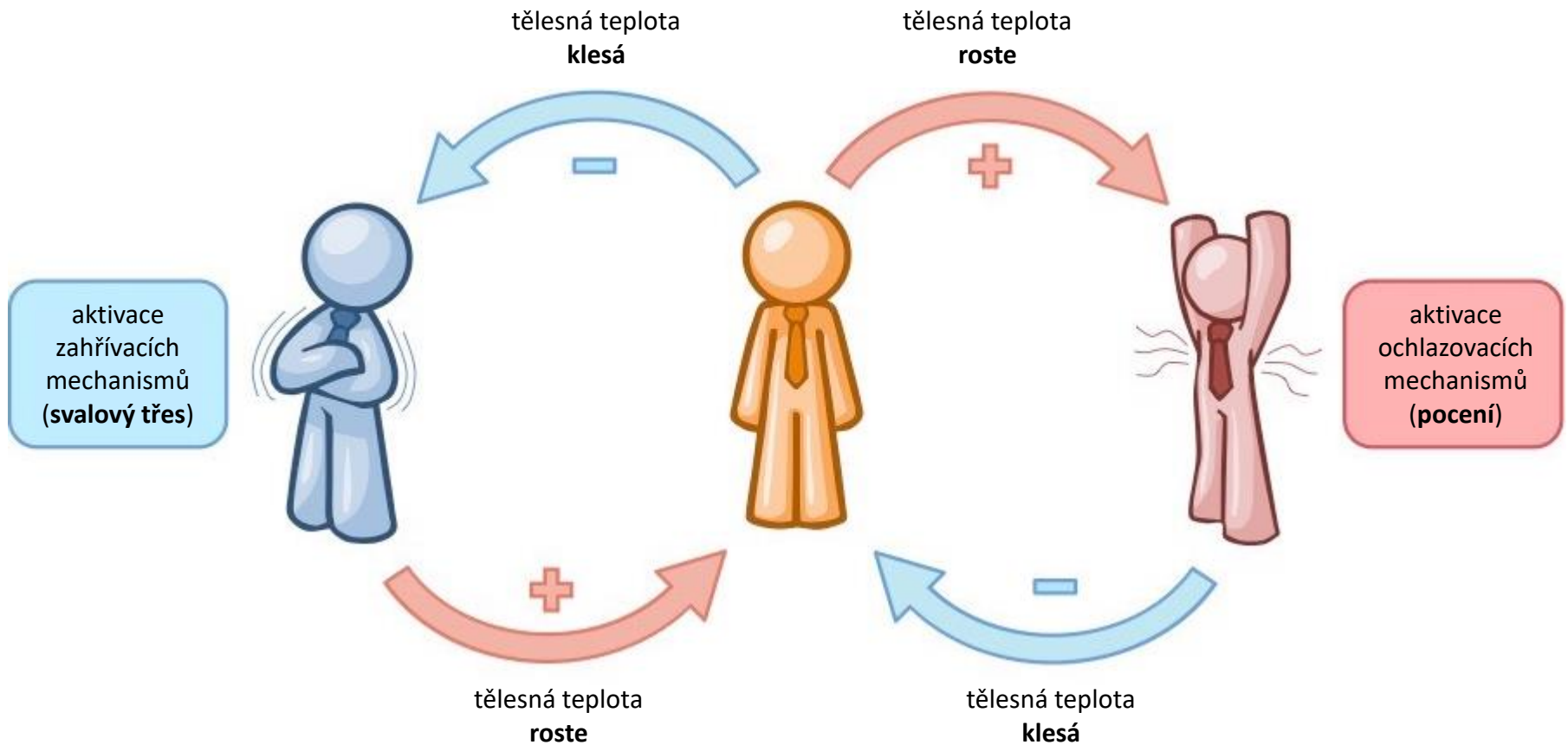
Inhibice enzymatické reakce

NEKOMPETITIVNÍ INHIBITOR



Enzymatické reakce

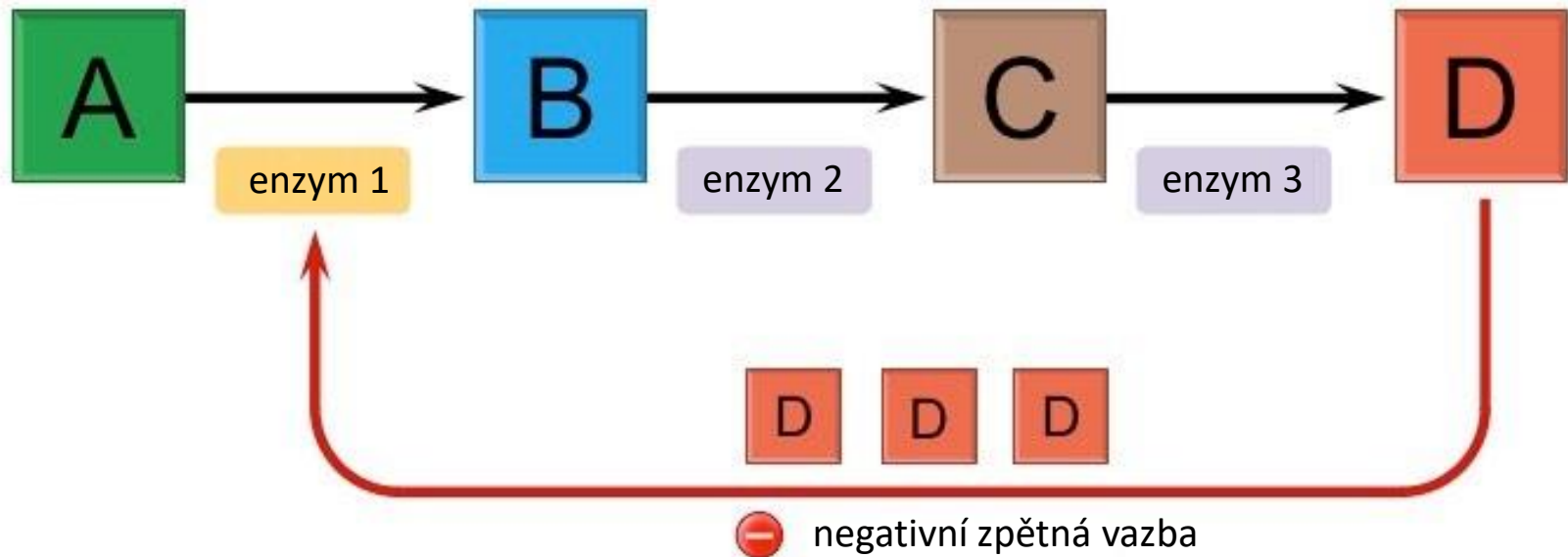
Princip negativní zpětné vazby



Enzymatické reakce

Regulace enzymatických reakcí

Princip inhibice konečným produktem

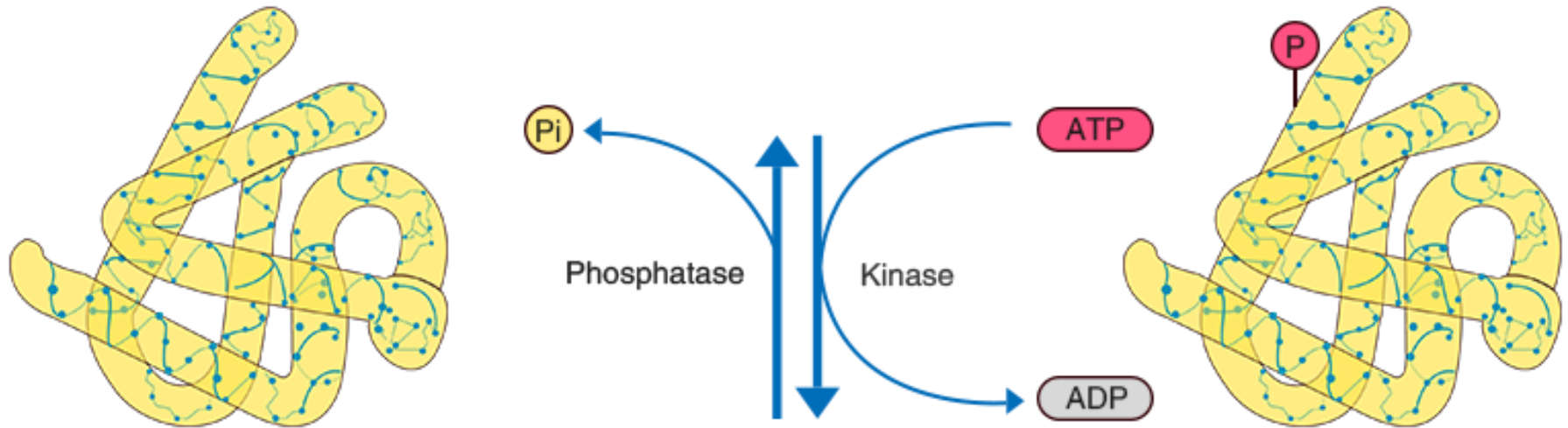


PROČ FINÁLNÍ PRODUKT INHIBUJE PRVNÍ ENZYM?

Enzymatické reakce

Regulace enzymatických reakcí

Kovalentní modifikace (fosforylace)

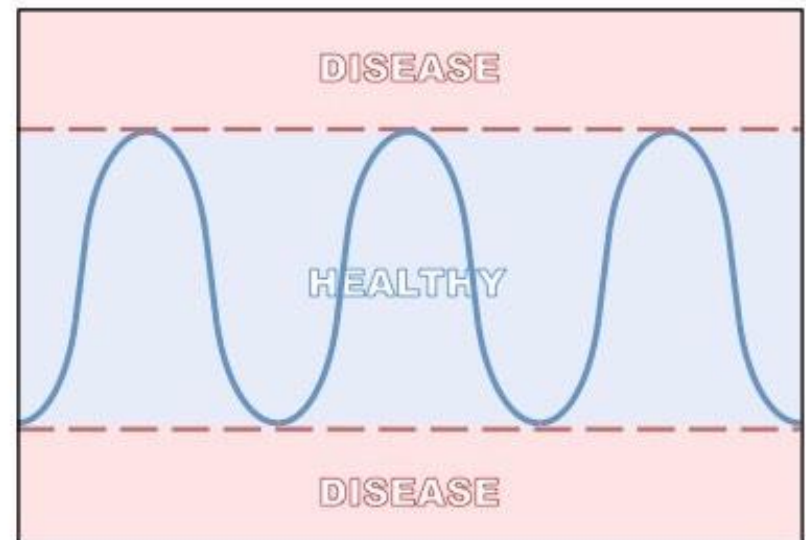
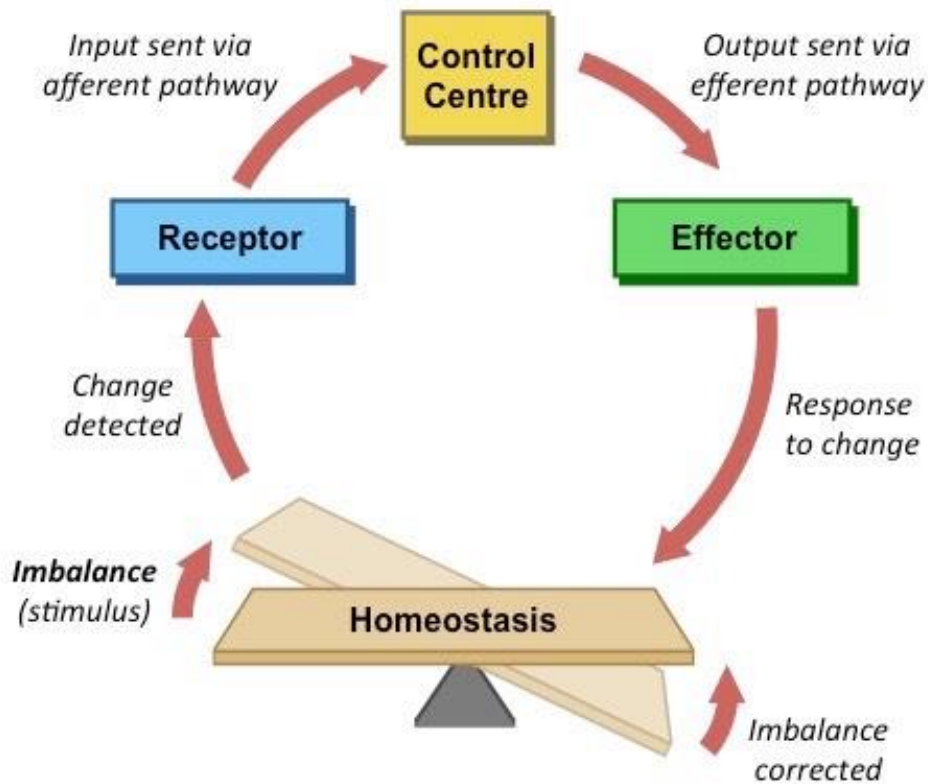


Homeostáza

HOMEOSTÁZA = schopnost udržovat stabilní vnitřní prostředí, i když se okolní podmínky mění

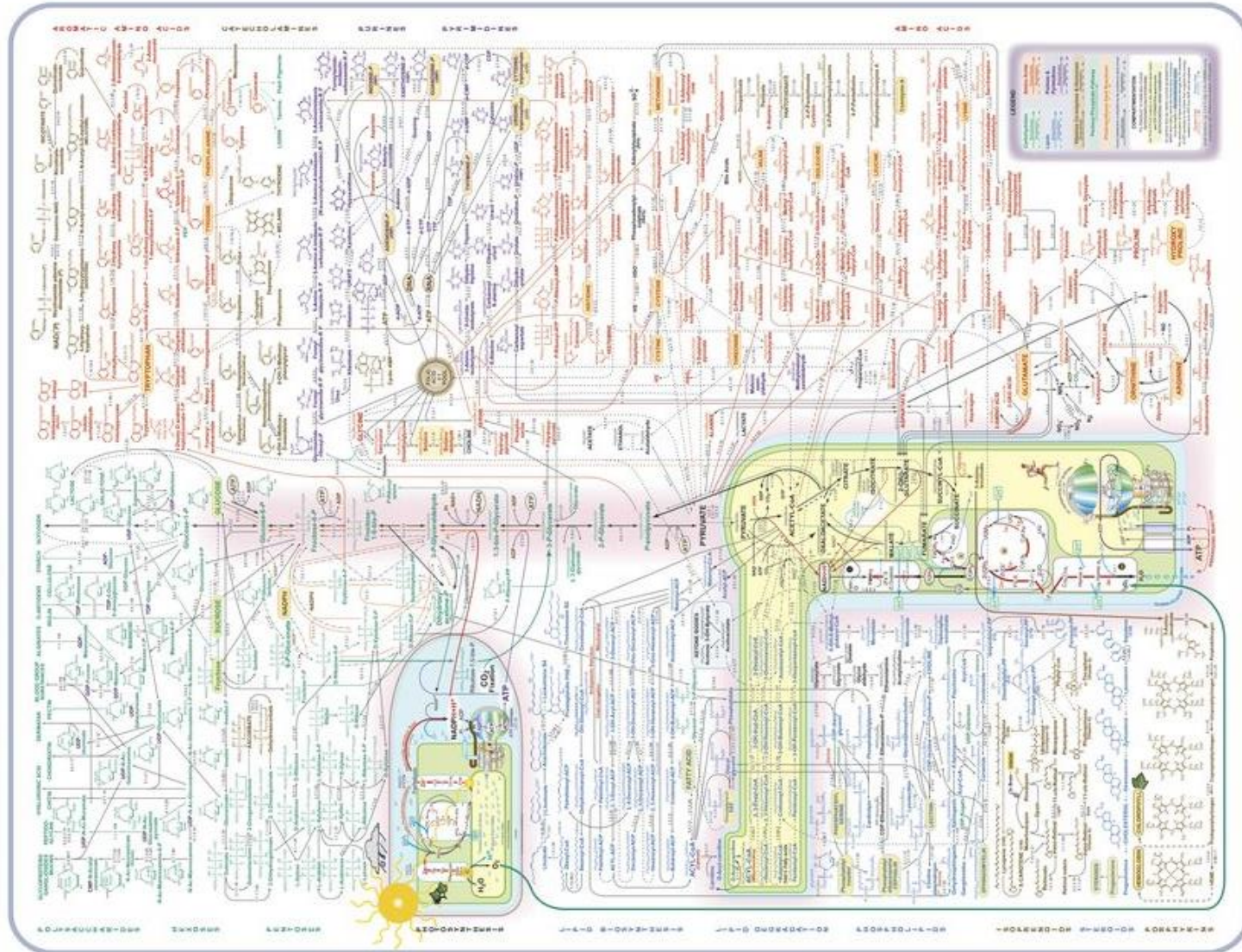


Homeostáza



Homeostasis does **not** involve keeping conditions static
It involves keeping conditions within tightly regulated
physiological tolerance limits

Metabolismus



Pokroky v biologii 2022

Od glukózy k energii

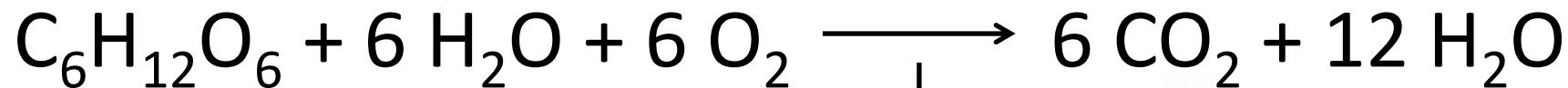


Stejný cukr, ale jiný ...

Zapálím cukr vs. zmetabolizuji cukr



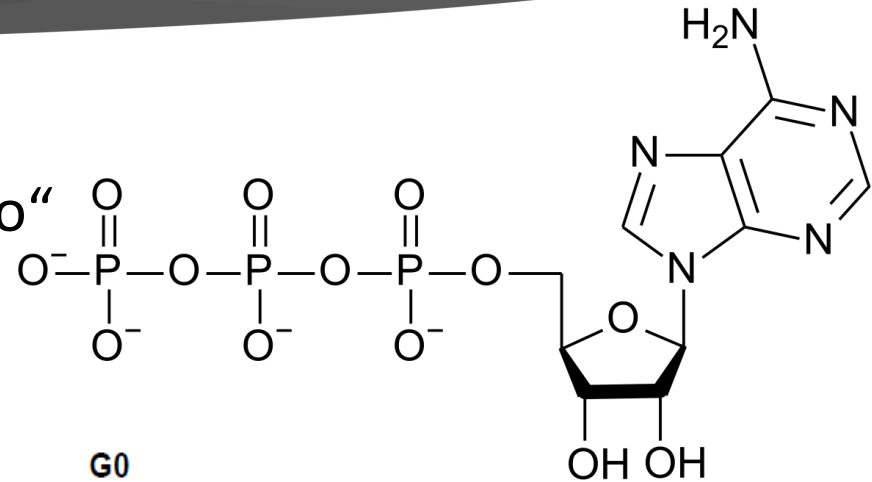
Souhrnná rovnice



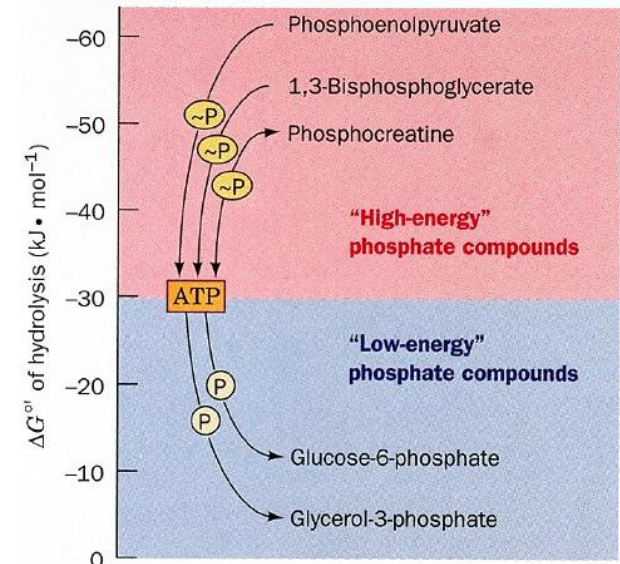
Kam uložit energii?

ATP (adenosintrifosfát)

- „univerzální energetické platidlo“



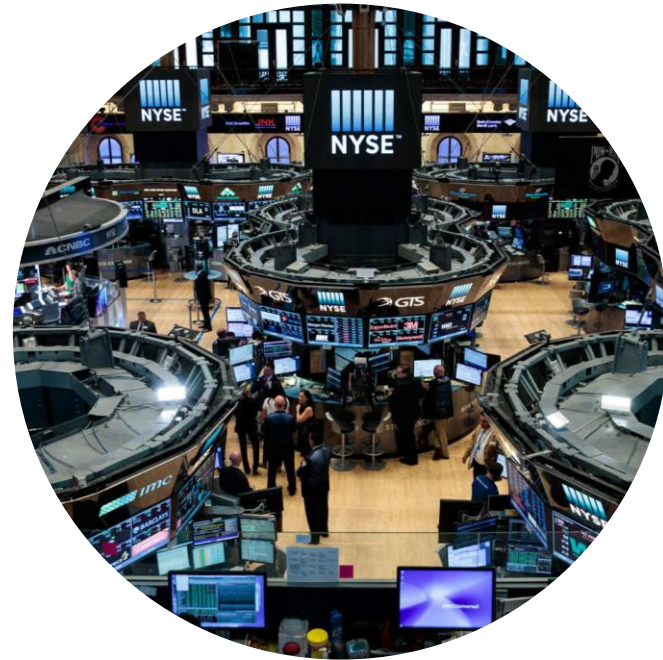
Sloučenina	G_0 kJ/mol	G_0 kcal/mol
Fosfoenolpyruvát	-61,9	-14,8
Karbamoylfosfát	-51,4	-12,3
1,3-bisfosfoglycerát (při přeměně na 3-fosfoglycerát)	-49,3	-11,8
Kreatinfosfát (PCr)	-43,1	-10,3
ATP → ADP + Pi	-30,5	- 7,3
ADP → AMP + Pi	-27,6	- 6,6
Difosfát (PPi)	-27,6	- 6,6
Glukosa-1-fosfát,	-20,9	- 5,0
Fruktosa-6-fosfát	-15,9	- 3,8
AMP	-14,2	- 3,4
Glukosa-6-fosfát	-13,8	- 3,3
Glycerol-3-fosfát	- 9,2	- 2,2



Kam uložit energii?

ATP (adenosintrifosfát)

- „univerzální energetické platidlo“

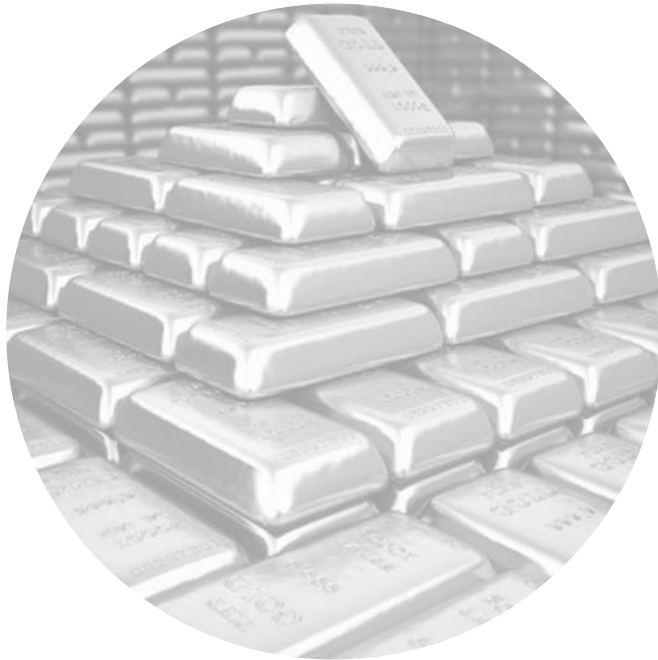


BUŇKA JAKO BANKA NEBO BURZA ENERGIE?

Kam uložit energii?

ATP (adenosintrifosfát)

- „univerzální energetické platidlo“

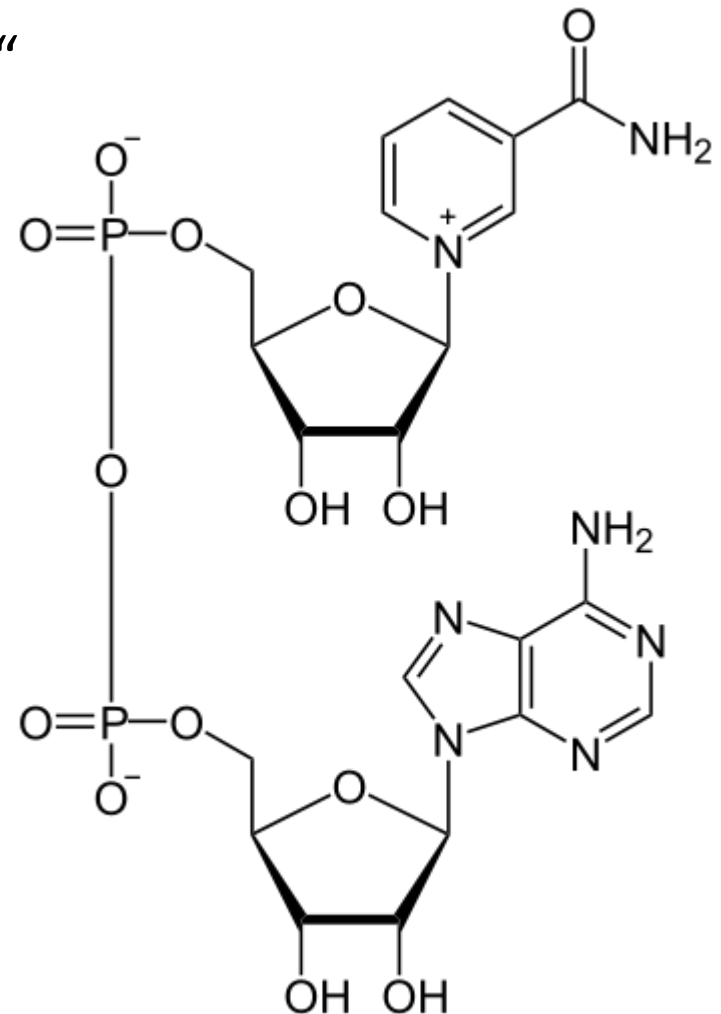
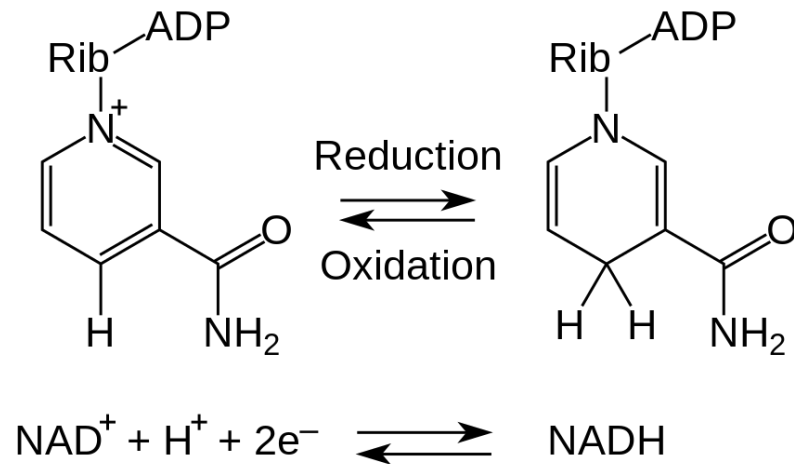


zásadní jsou **poměry** („balanc“) ATP/ADP či ATP/AMP, nikoliv absolutní hodnoty množství ATP
(v buňce je prakticky konstantní součet koncentrace ATP a ADP)

Kam uložit energii?

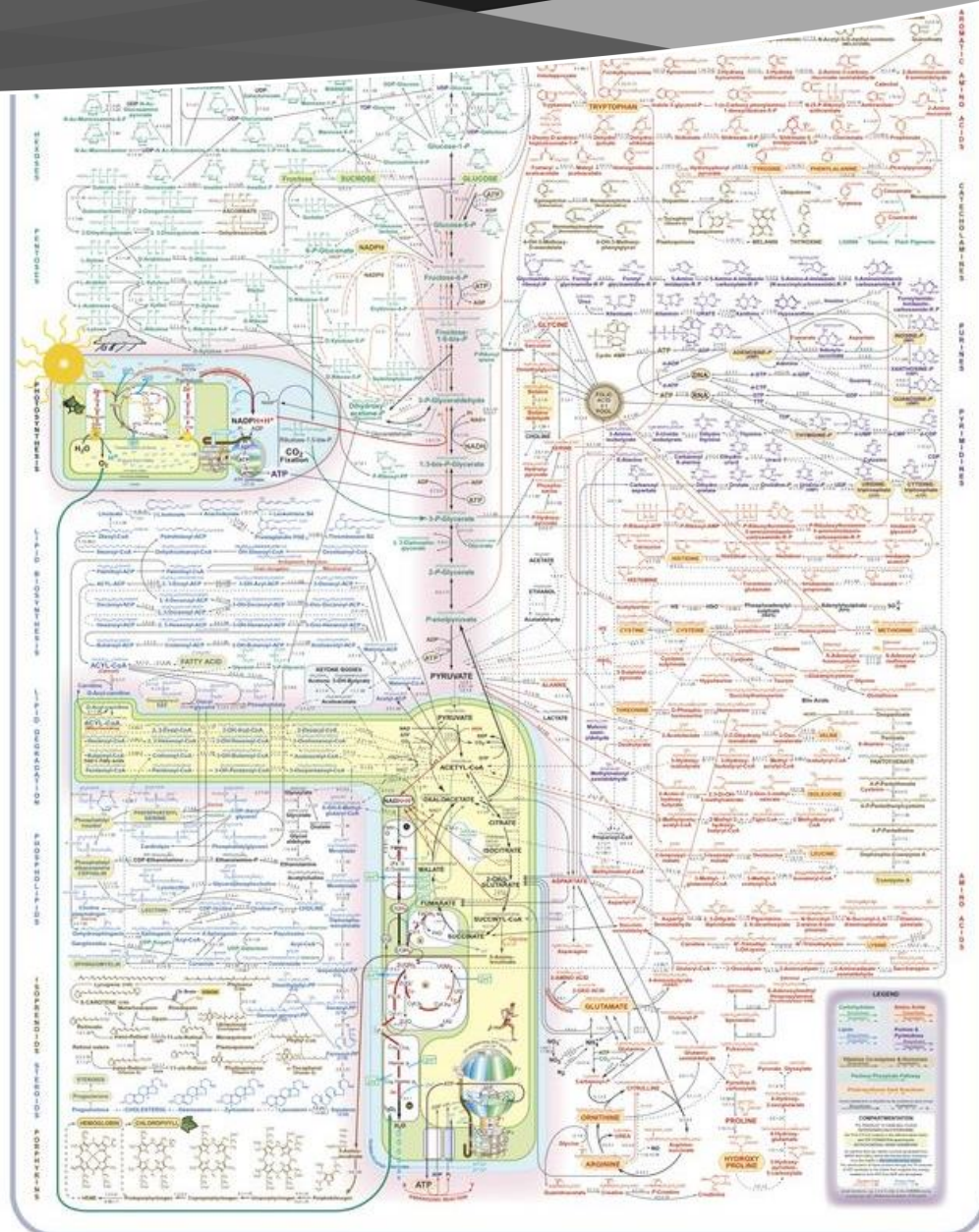
NAD (nikotinamidadenindinukleotid)

- přenašeč elektronů, „nabíjecí baterie“



Katabolické dráhy

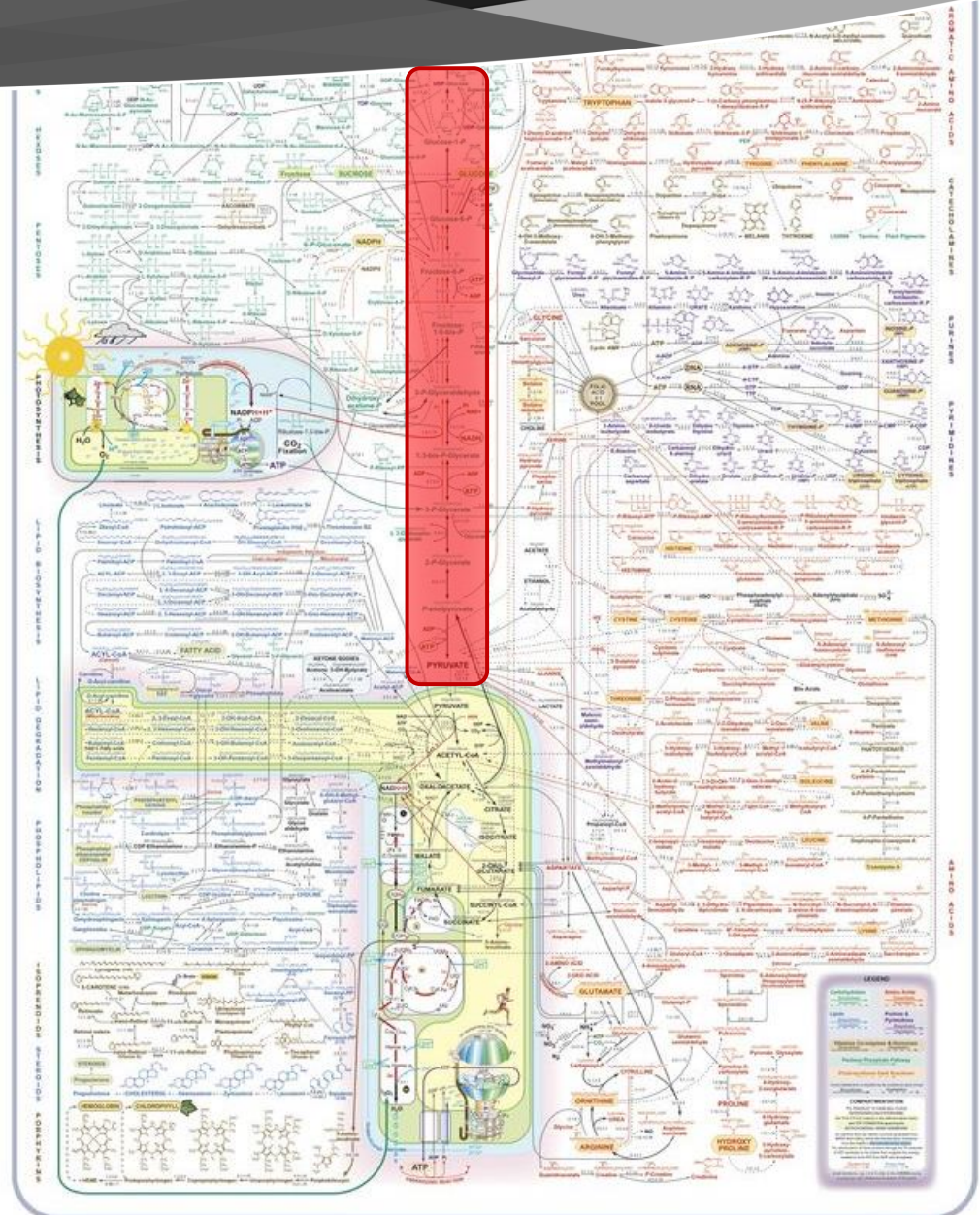
Hlavní katabolické dráhy



Katabolické dráhy

Hlavní katabolické dráhy

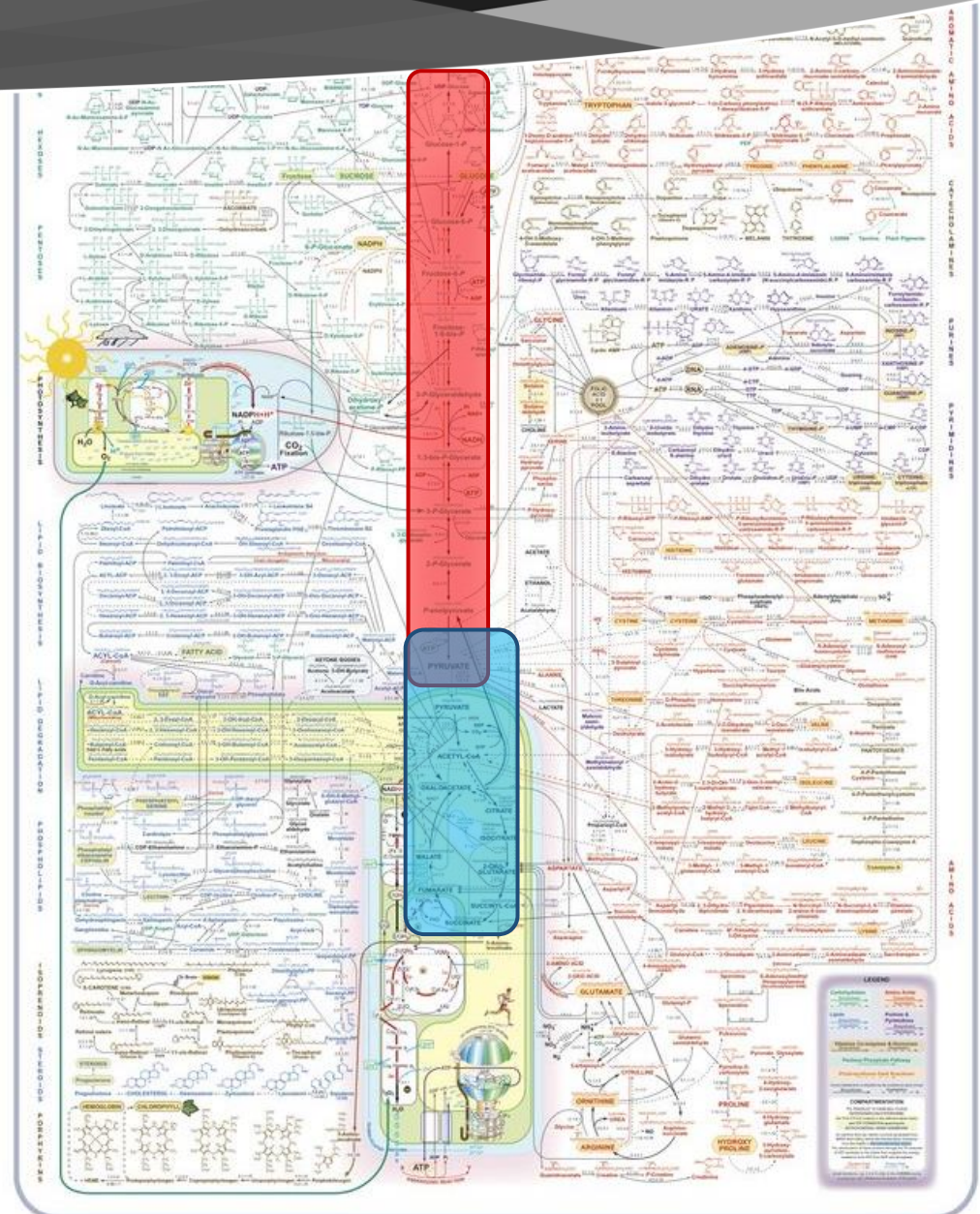
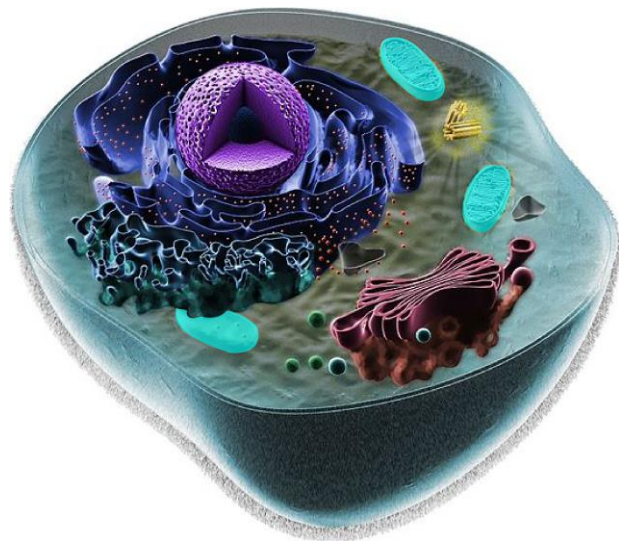
- **GLYKOLÝZA**
– cytoplazma



Katabolické dráhy

Hlavní katabolické dráhy

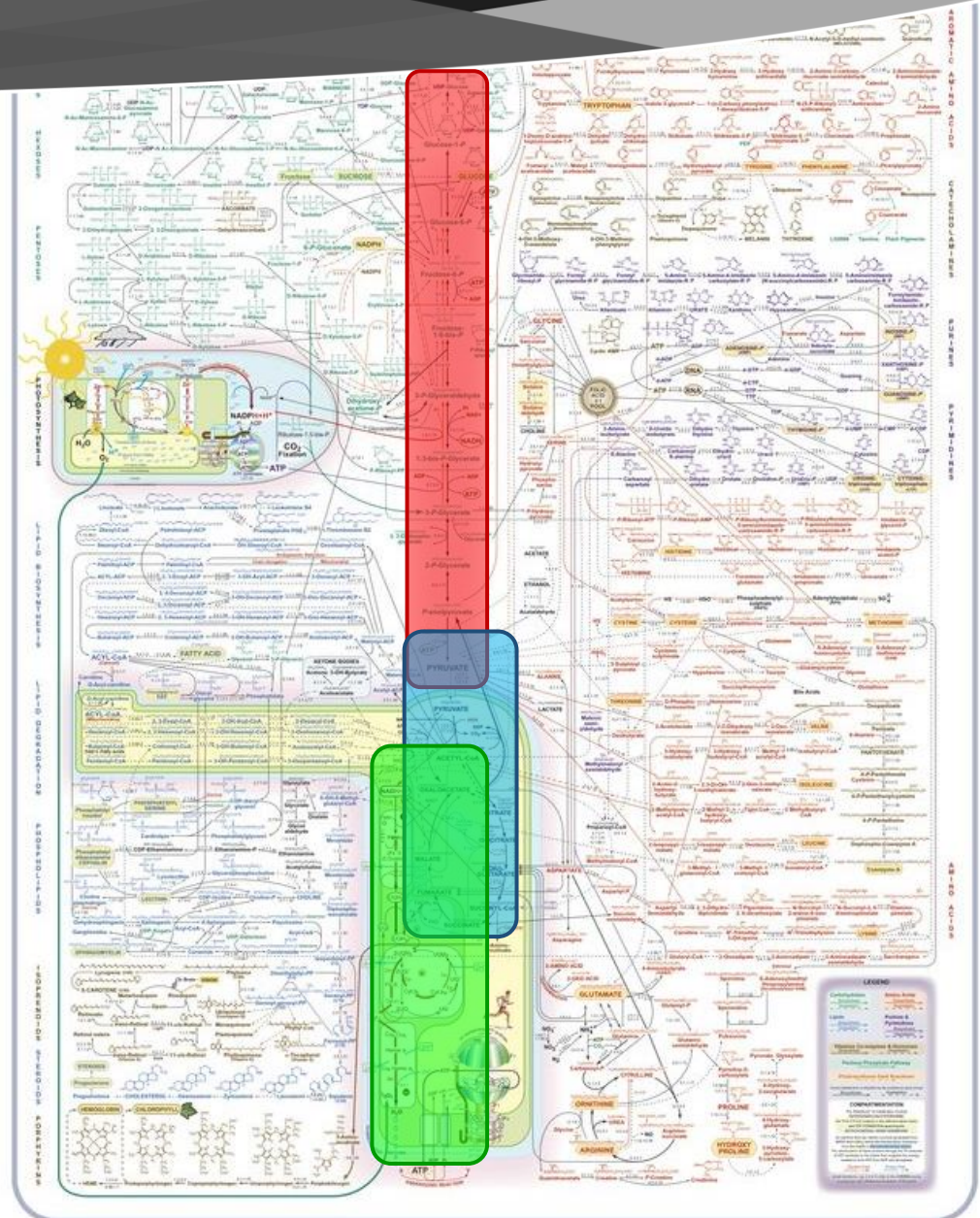
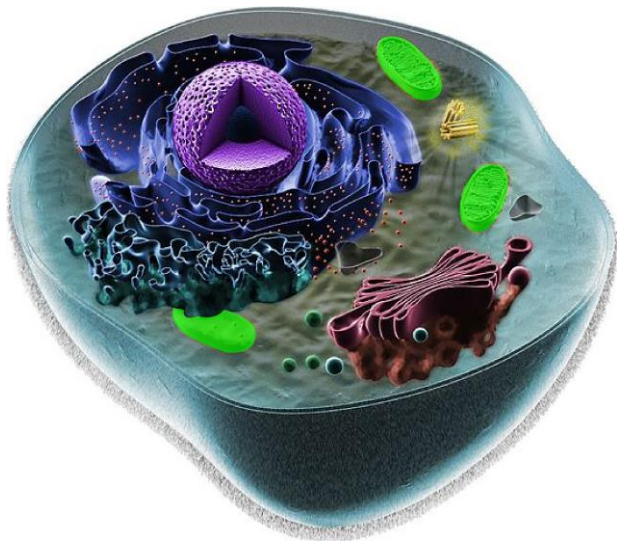
- **GLYKOLÝZA**
 - cytoplazma
- **KREBSŮV CYKLUS**
 - matrix mitochondrií

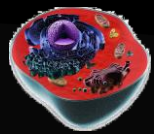


Katabolické dráhy

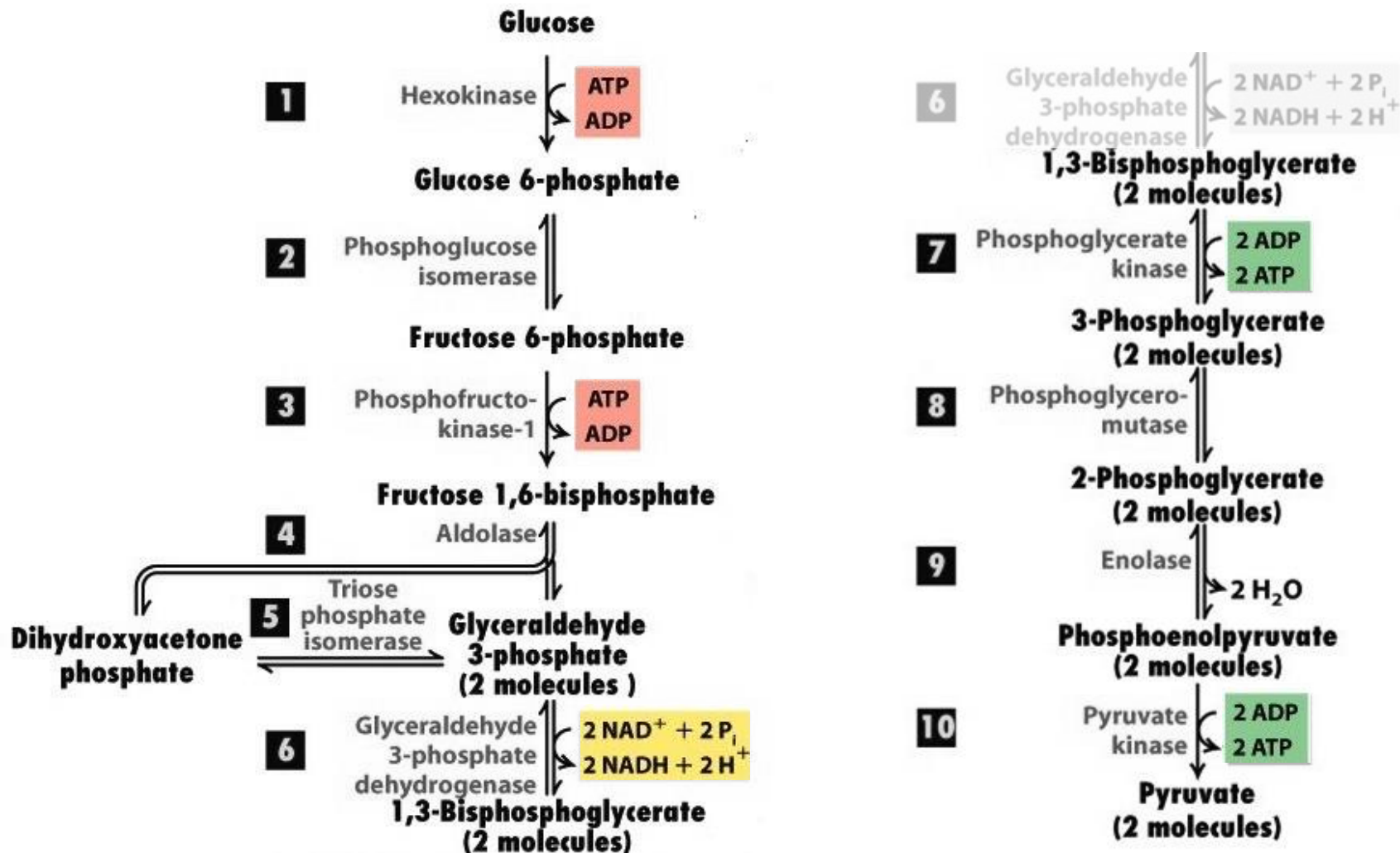
Hlavní katabolické dráhy

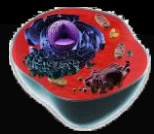
- **GLYKOLÝZA**
 - cytoplazma
- **KREBSŮV CYKLUS**
 - matrix mitochondrií
- **OXIDATIVNÍ FOSFORYLACE**
 - membrána mitochondrií





Glykolýza

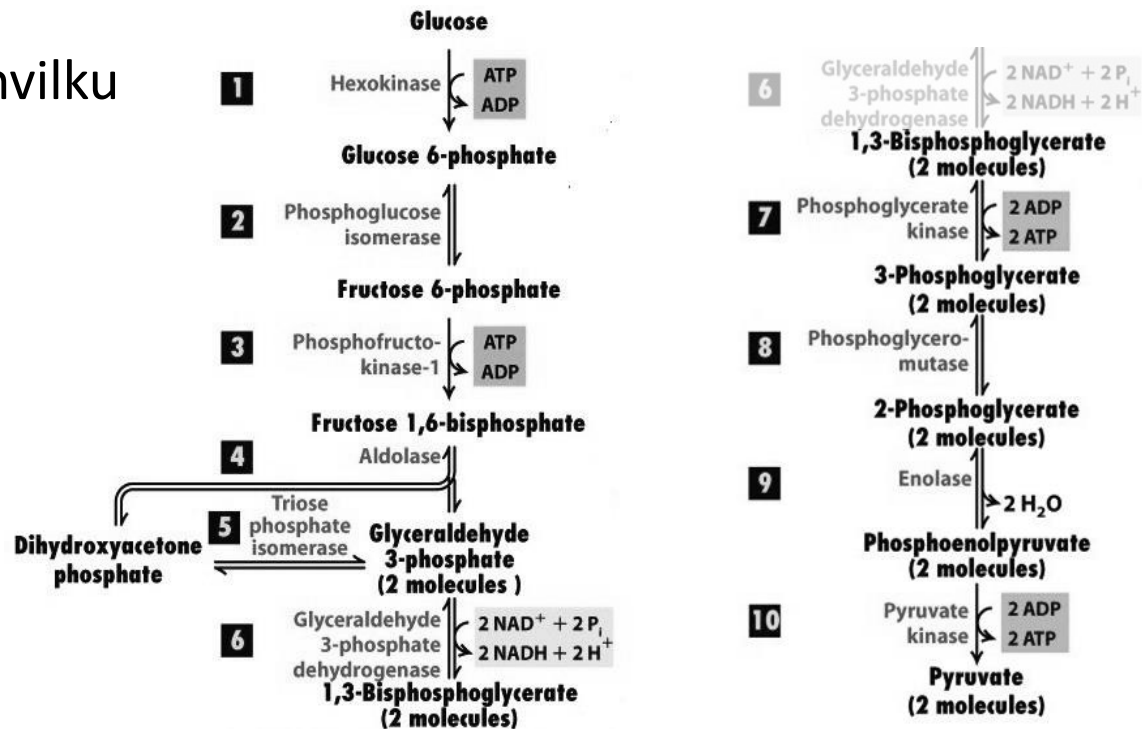


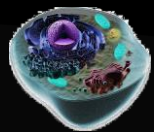


Glykolýza

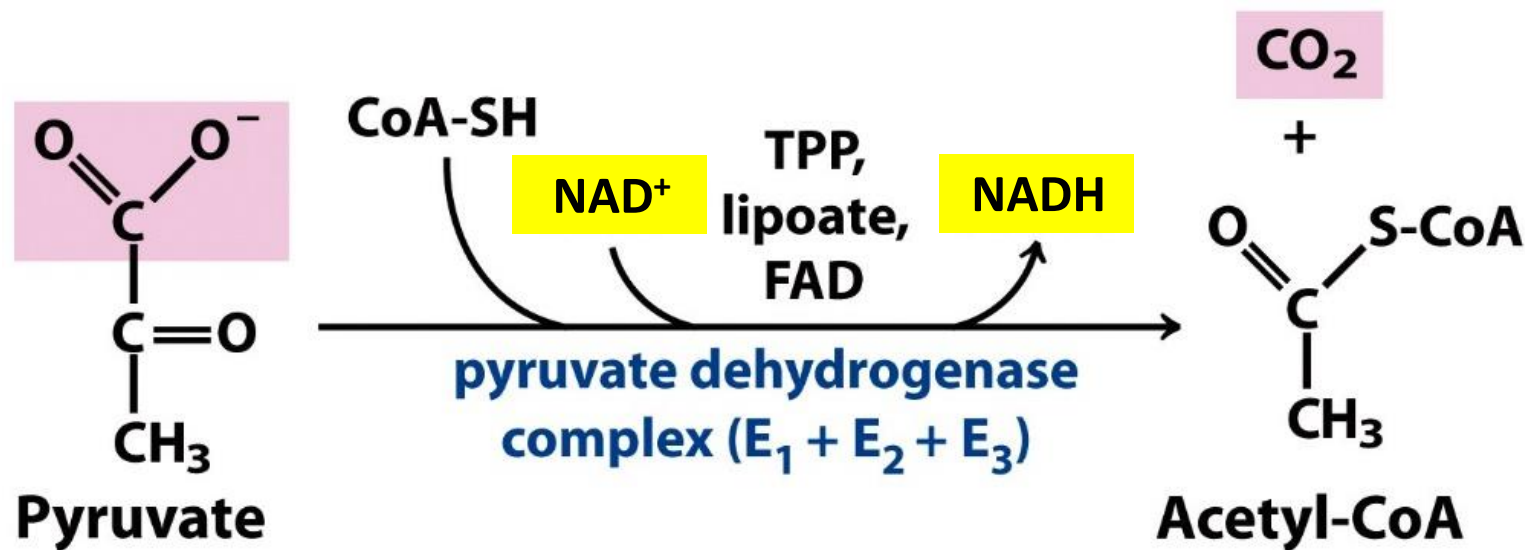
Výsledná bilance (z 1 molekuly glukózy):

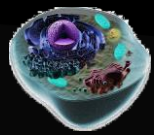
- **2x ATP**
= využitelný zdroj energie
- **2x NADH**
... o dalším osudu za chvílku
- **2x pyruvát**
... o dalším osudu záhy



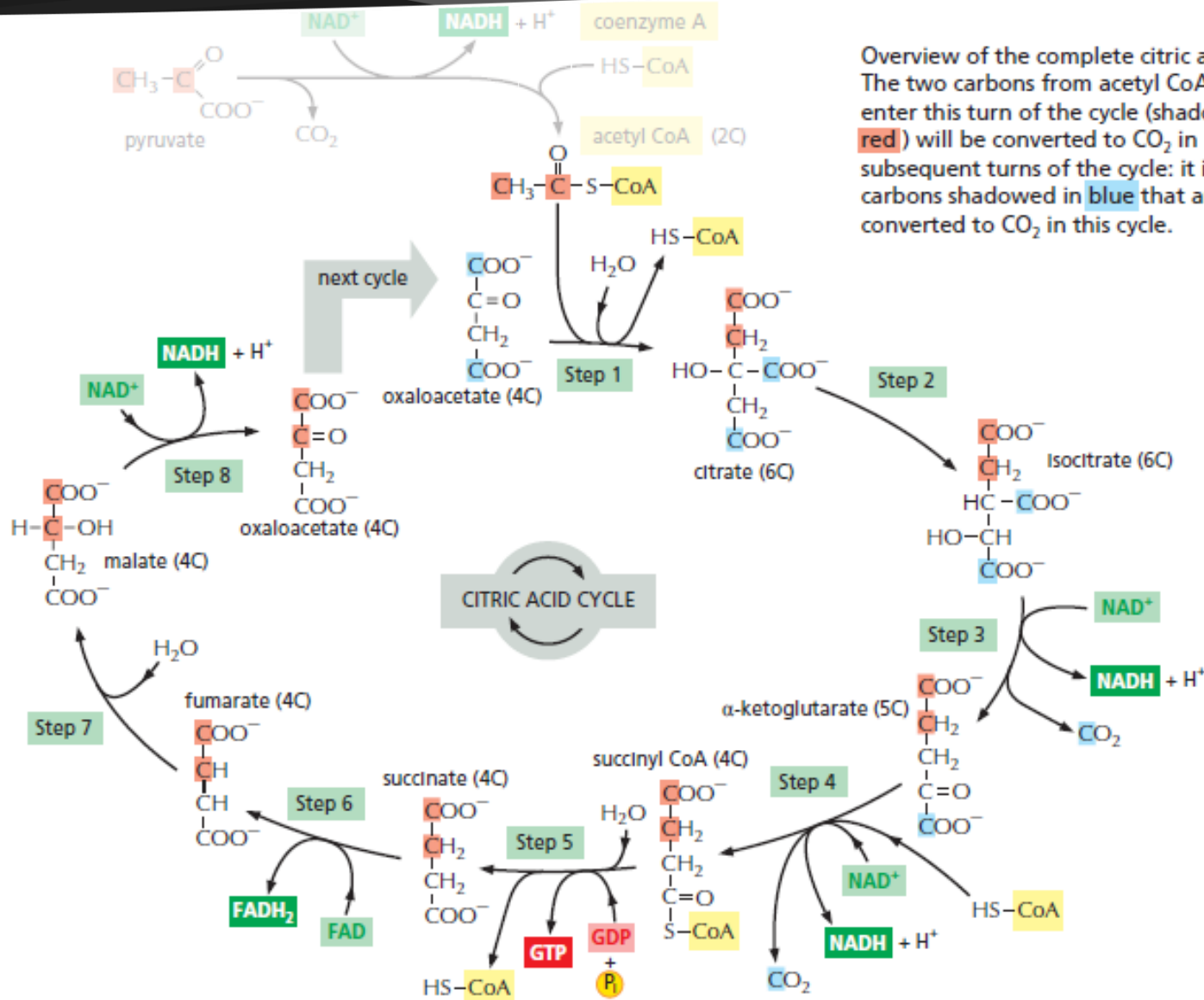


Další osud pyruvátu

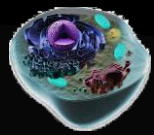




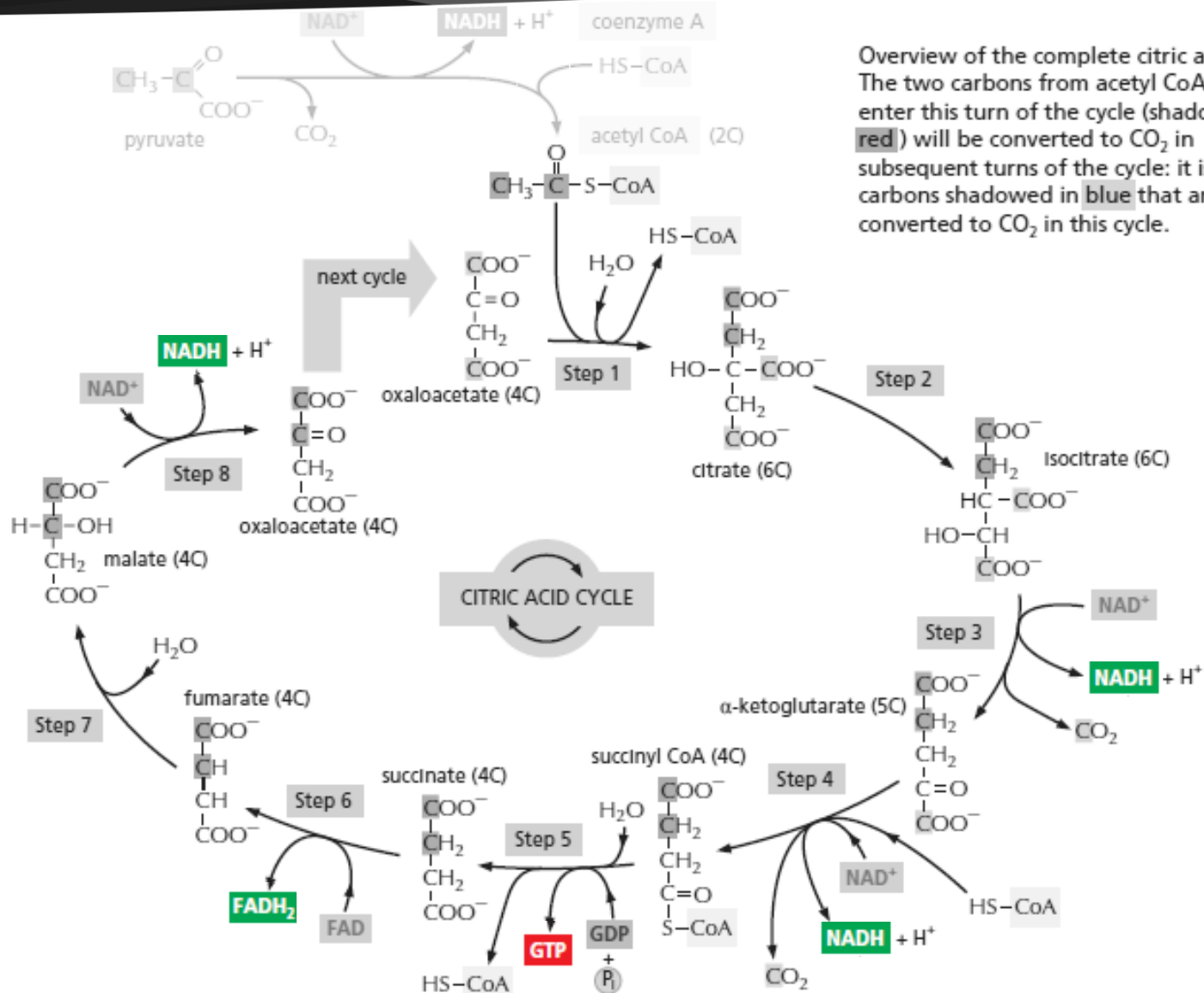
Krebsův cyklus



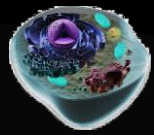
Overview of the complete citric acid cycle. The two carbons from acetyl CoA that enter this turn of the cycle (shadowed in red) will be converted to CO_2 in subsequent turns of the cycle: it is the two carbons shadowed in blue that are converted to CO_2 in this cycle.



Krebsův cyklus



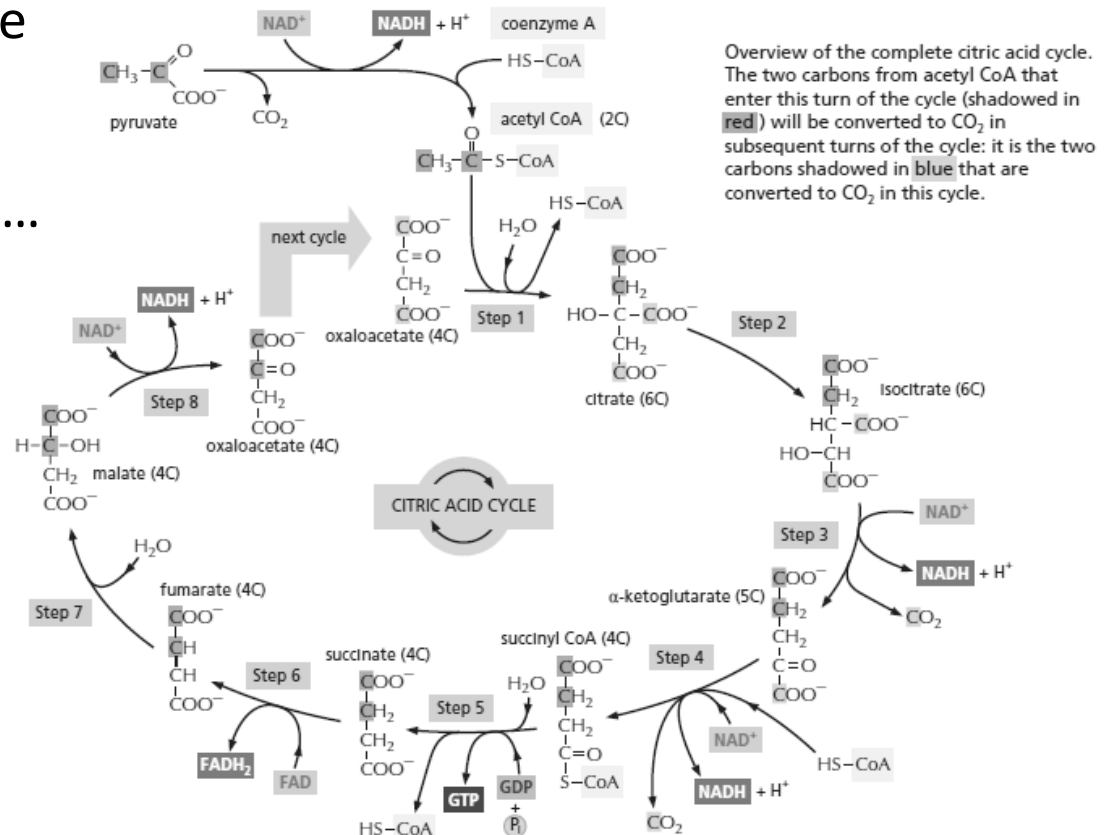
Overview of the complete citric acid cycle. The two carbons from acetyl CoA that enter this turn of the cycle (shadowed in red) will be converted to CO_2 in subsequent turns of the cycle: it is the two carbons shadowed in blue that are converted to CO_2 in this cycle.



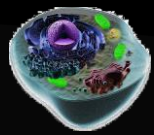
Krebsův cyklus

Výsledná bilance (z 1 molekuly glukosy):

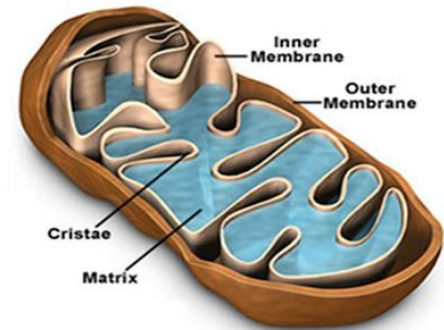
- **2x GTP**
= využitelný zdroj energie
- **6x NADH**
... stále se nám hromadí ...
- **2x FADH₂**
... analog NADH+H⁺



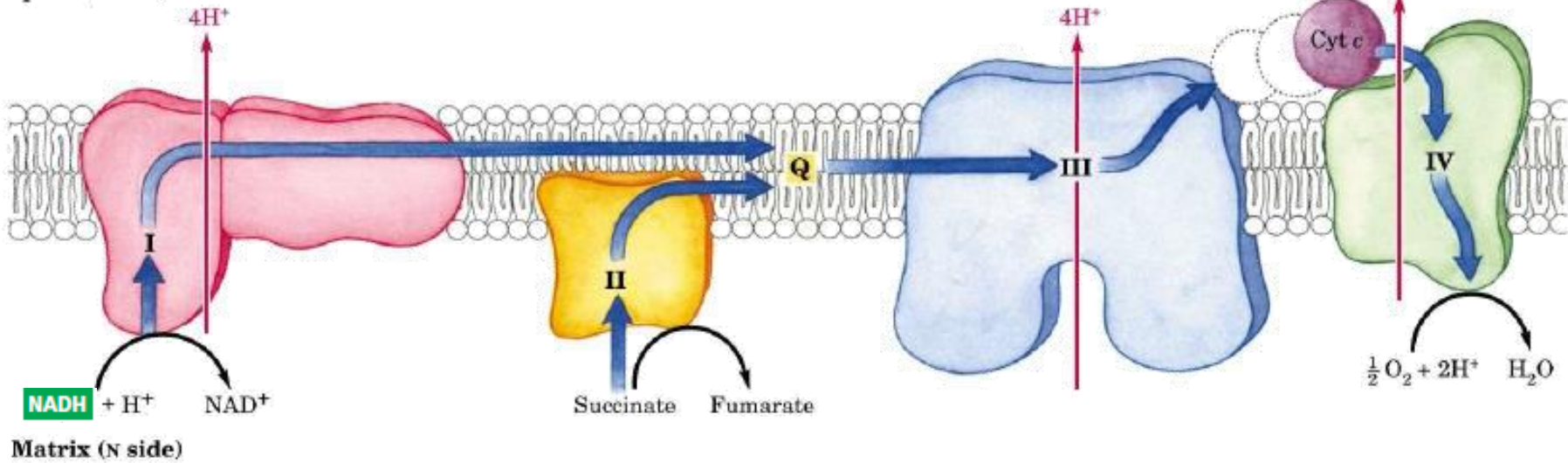
(křižovatka katabolismu a anabolismu)

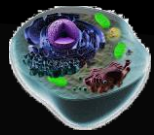


Oxidativní fosforylace



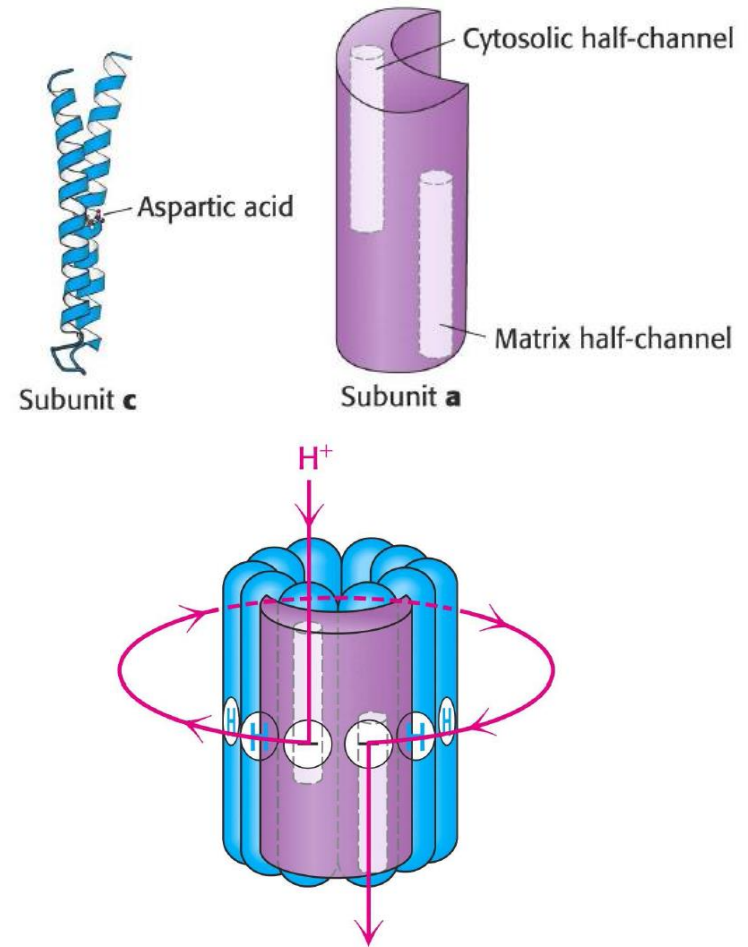
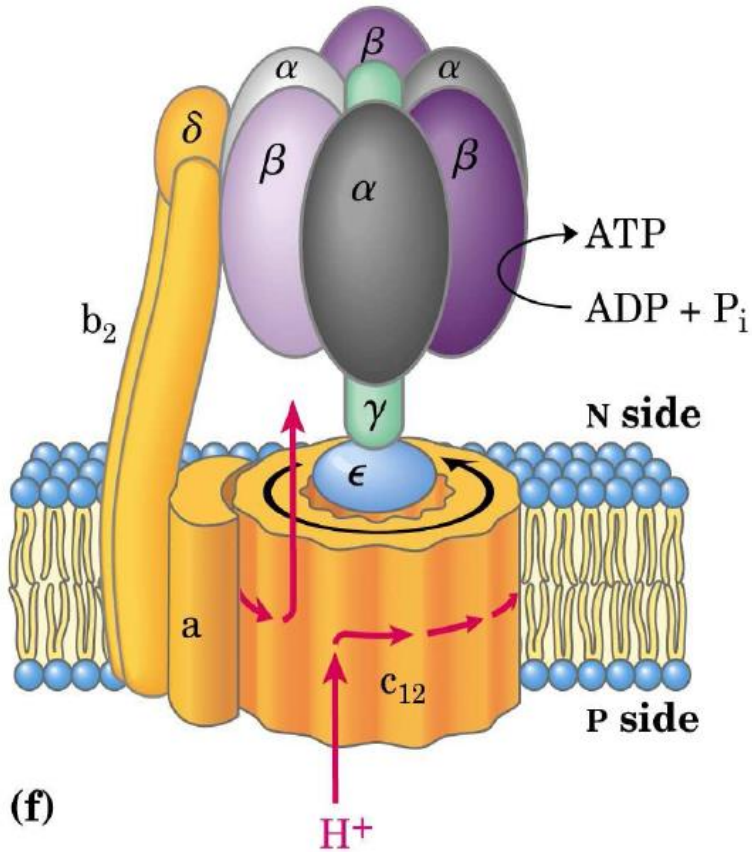
Intermembrane space (P side)



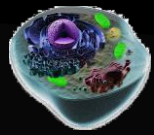


Oxidativní fosforylace

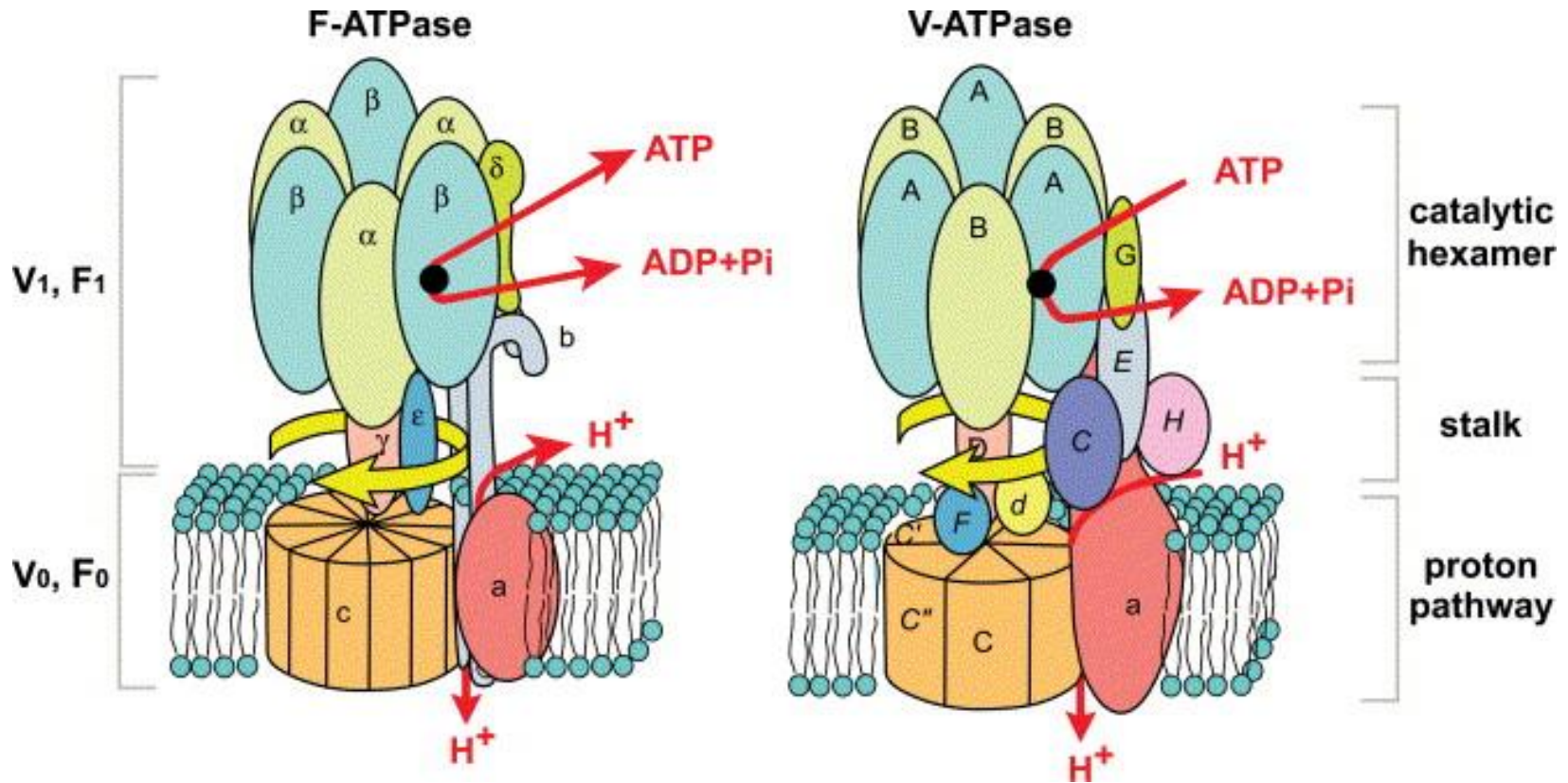
ATP syntáza



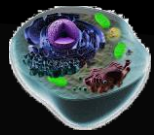
3 H^+ na pootočení + 1 H^+ na transport $\rightarrow 1 \text{ ATP}$



Oxidativní fosforylace



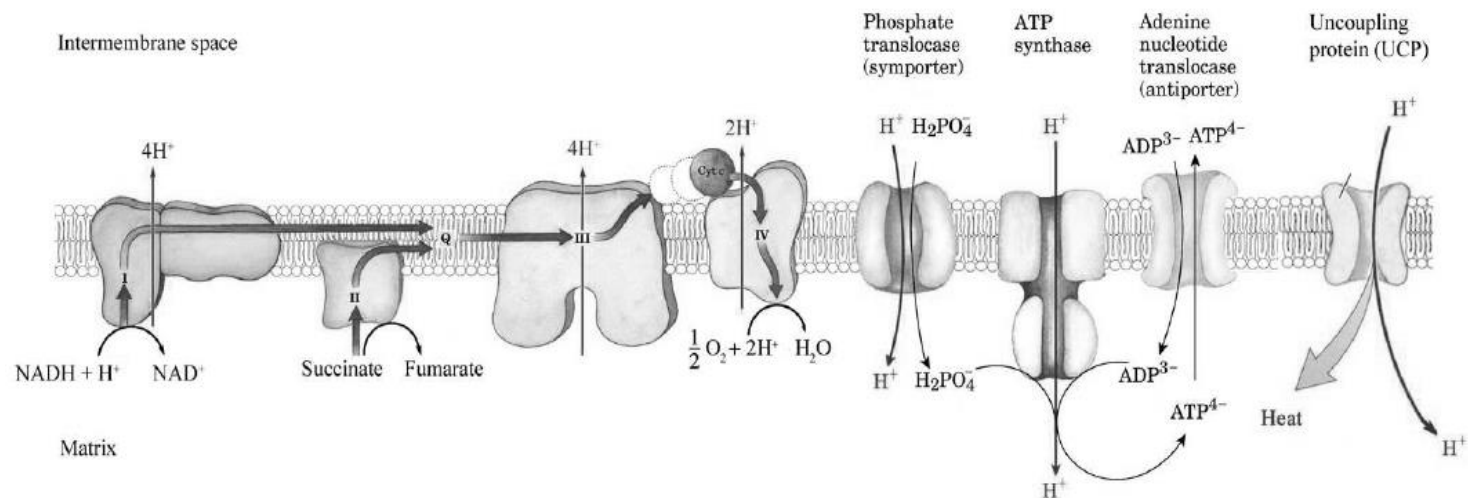
STAČÍ OTOČIT SMĚR A JSOU Z NICH PROTONOVÉ PUMPY. KDE SE TO HODÍ?



Oxidativní fosforylace

Výsledná bilance (z 1 molekuly glukosy):

- **přepoččet:**
 - 1 NADH \rightarrow 2,5 ATP
 - 1 FADH₂ \rightarrow 1,5 ATP
- **dosud získáno:**
 - 10x NADH
 - 2x FADH₂
- **zisk:**
 - 28 ATP**



Sumarizace

POČET MOLEKUL ATP

AEROBNĚ

GLYKOLÝZA

2x ATP

2

2x NADH

5

AEROBNÍ ZPRACOVÁNÍ PYRUVÁTU

2x NADH

5

KREBSŮV CYKLUS

2x GTP

2

2x FADH₂

3

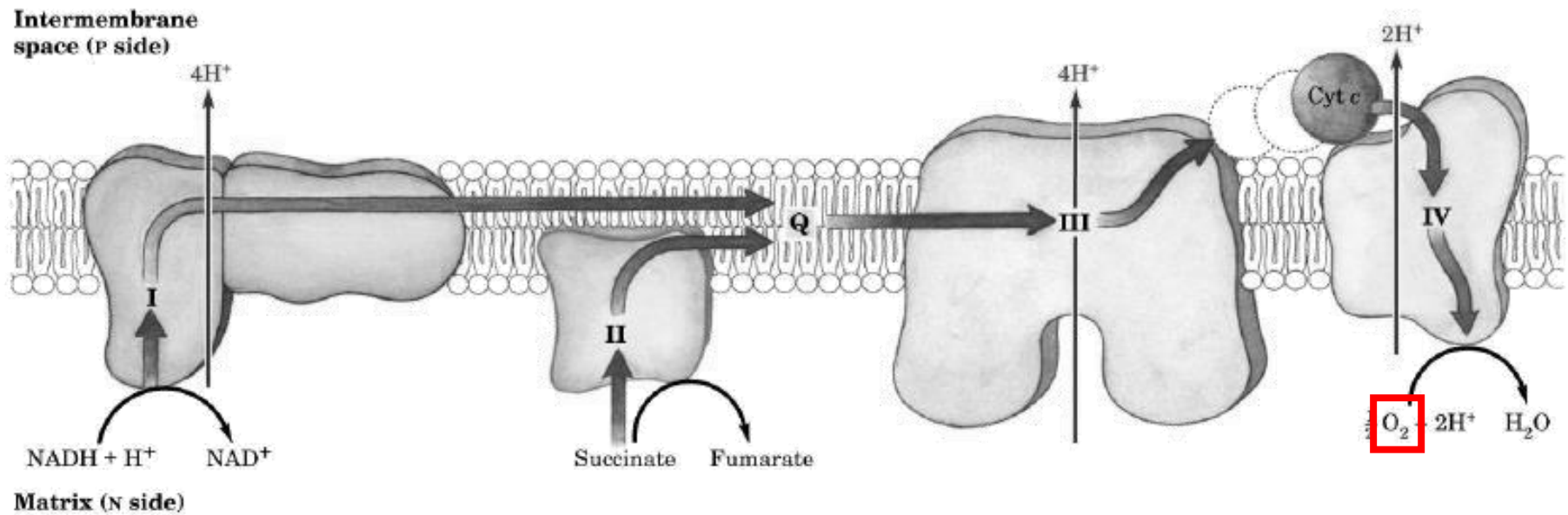
6x NADH

15

CELKOVÝ ZISK Z 1 GLUKÓZY

32

Co když ...?

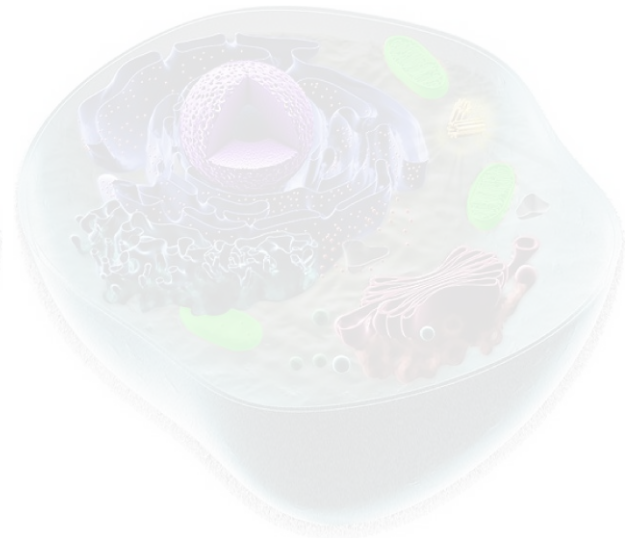
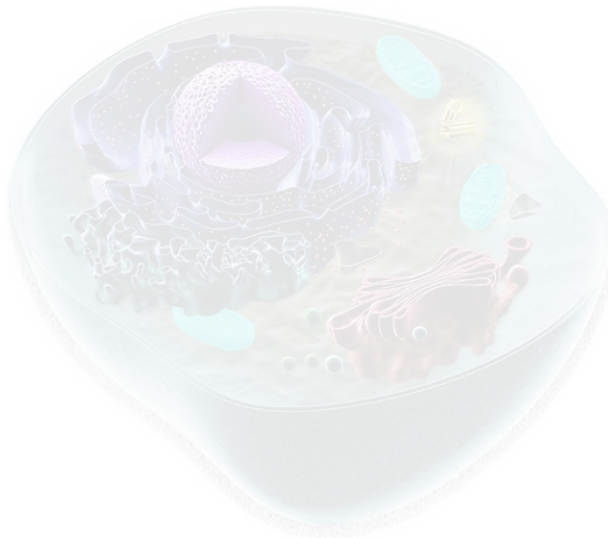


CO SE STANE, KDYŽ NENÍ K DISPOZICI KYSLÍK?

Co když ...?

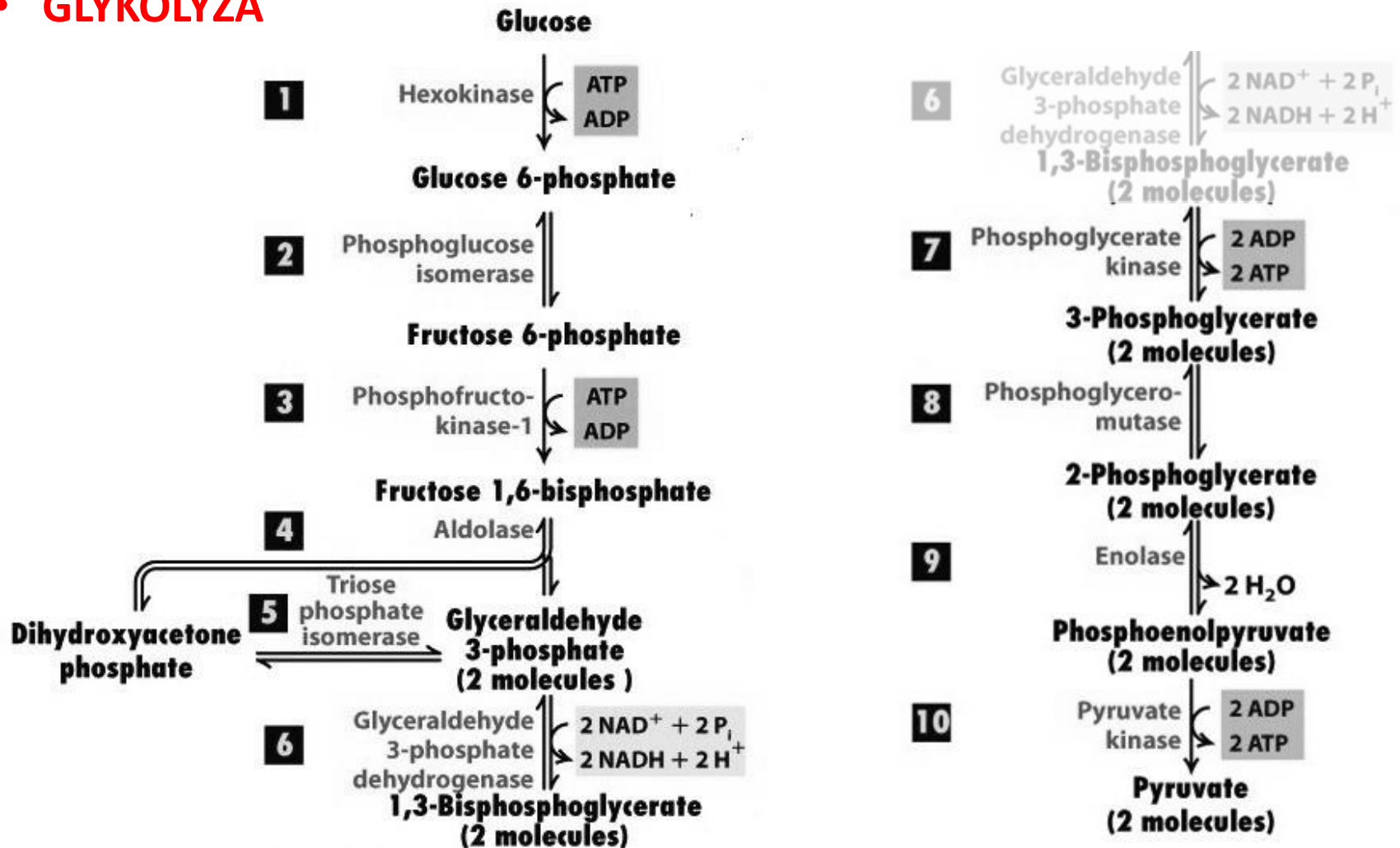
Hlavní katabolické dráhy

- **GLYKOLÝZA**
 - cytoplazma
- **KREBSŮV CYKLUS**
 - matrix mitochondrií
- **OXIDATIVNÍ FOSFORYLACE**
 - membrána mitochondrií



Co když ...?

- GLYKOLÝZA**



Co když ...?

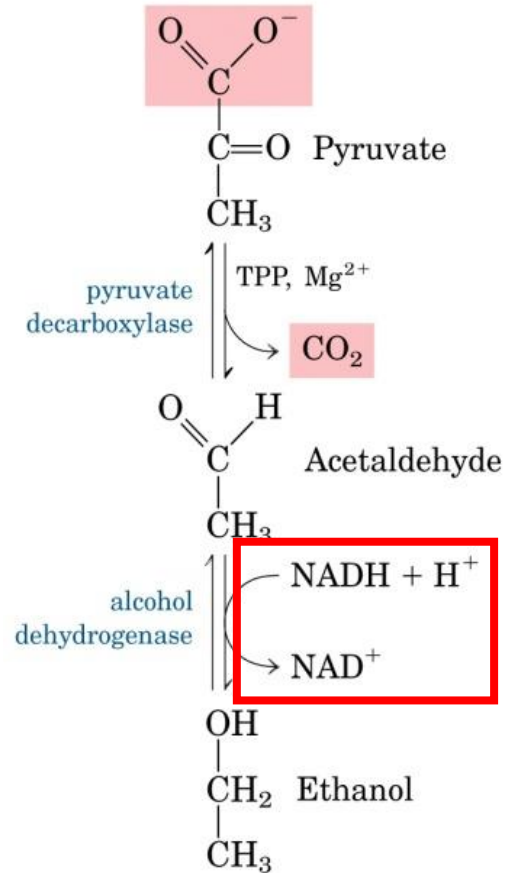
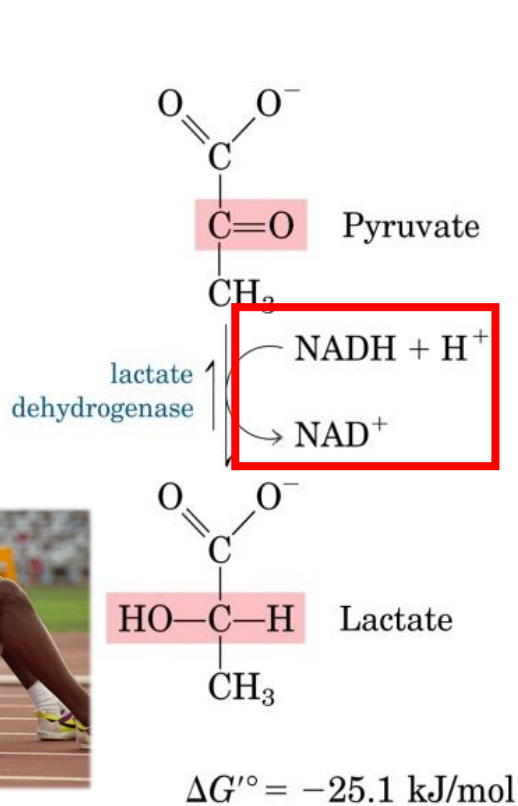
Výsledná bilance **GLYKOLÝZY** (z 1 molekuly glukózy):

- **2x ATP**
= využitelný zdroj energie
- **2x NADH**
... hromadí se (elektron-transportní řetězec je vypnutý)
- **2x pyruvát**
... hromadí se (Krebsův cyklus ho neodebírá)

Co s tím ? 

Co když ...?

Odpověď je „**kvašení**“ (anaerobní metabolismus)

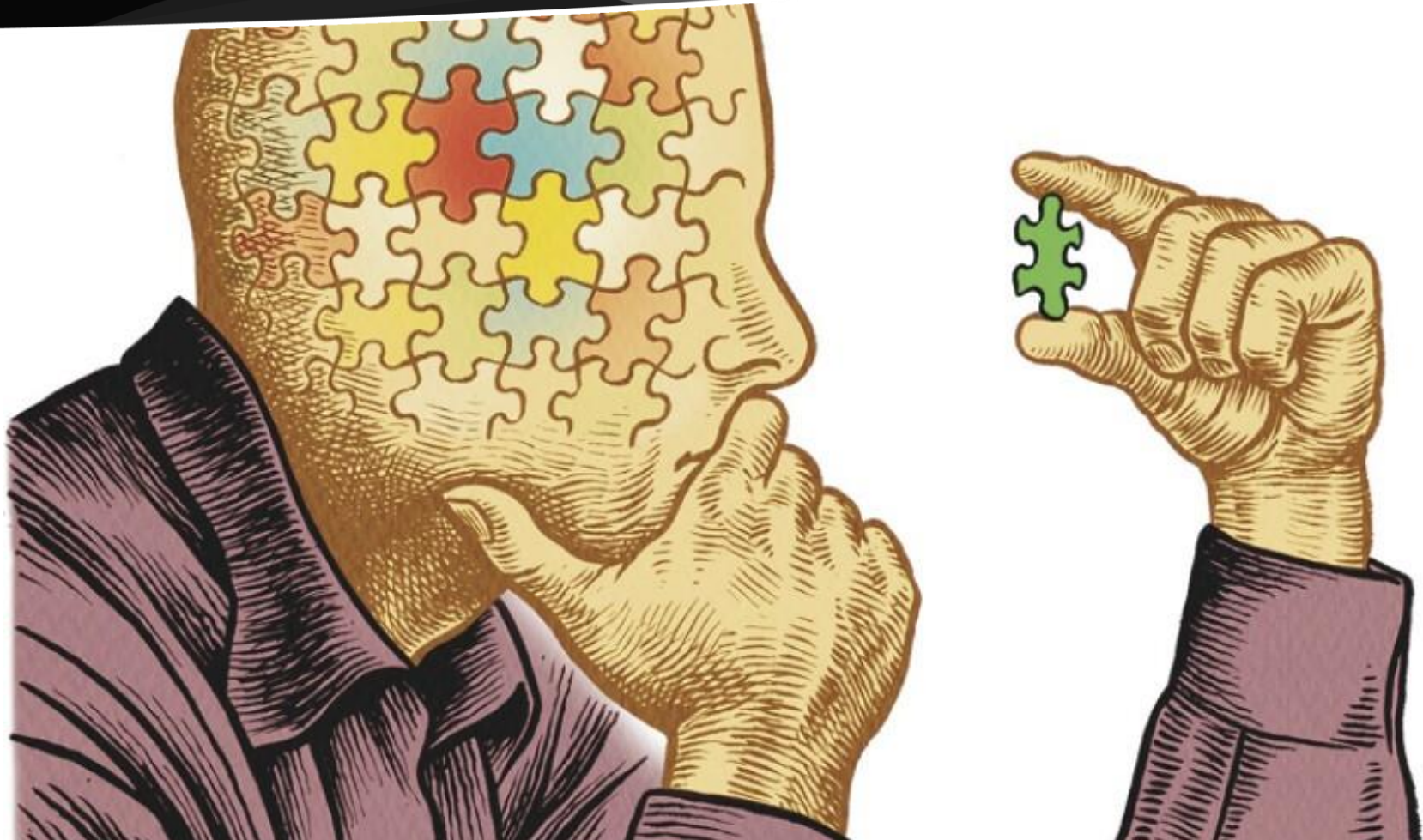


Sumarizace

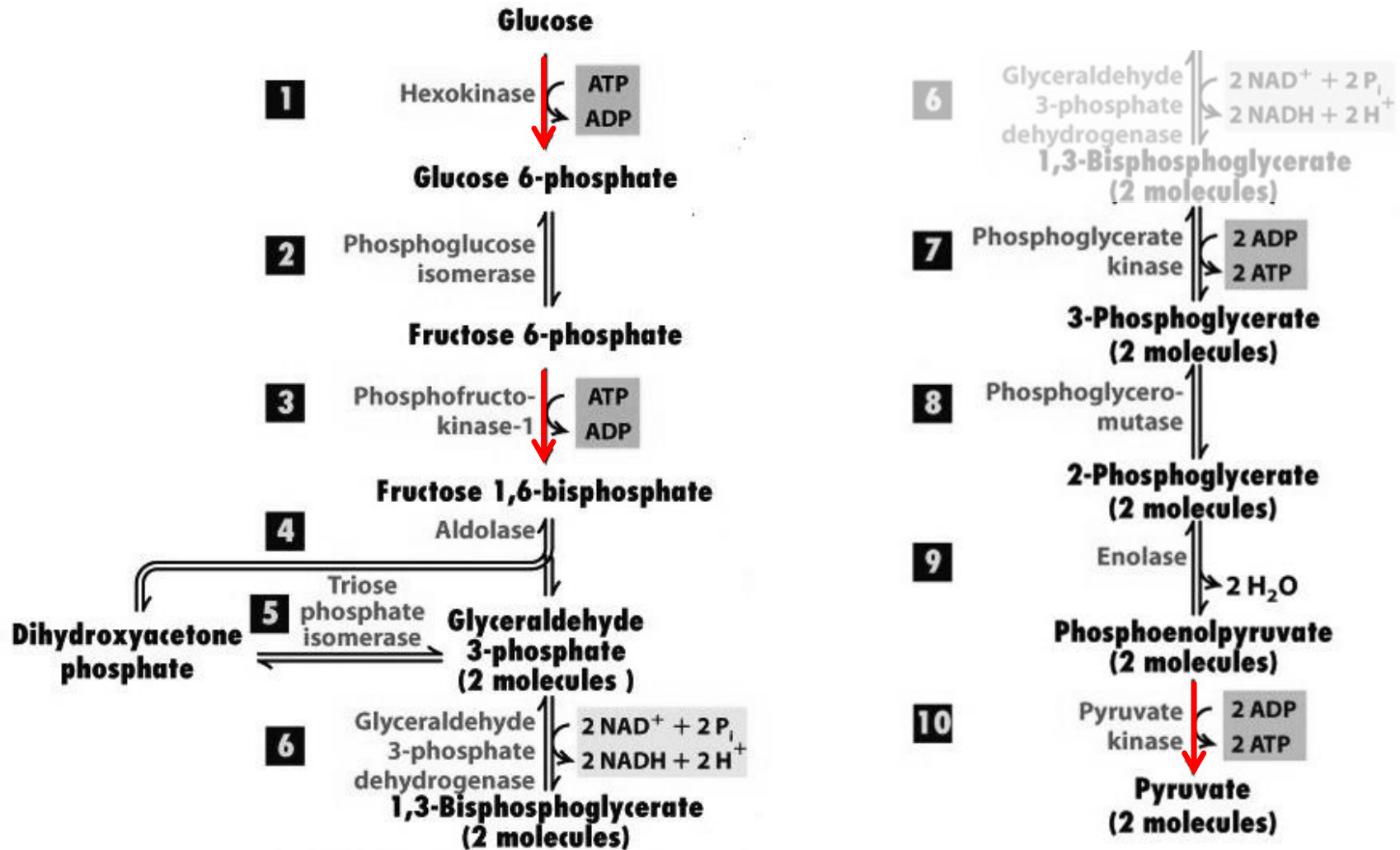
		POČET MOLEKUL ATP	
		ANAEROBNĚ	AEROBNĚ
GLYKOLÝZA	2x ATP	2	2
	2x NADH	-	5
AEROBNÍ ZPRACOVÁNÍ PYRUVÁTU	2x NADH	-	5
KREBSŮV CYKLUS	2x GTP	-	2
	2x FADH ₂	-	3
	6x NADH	-	15
<hr/> CELKOVÝ ZISK Z 1 GLUKOSY		2	32
			16x více!

Pokroky v biologii 2022

Další zajímavé momenty



Všimli jste si někdy v glykolýze ...?



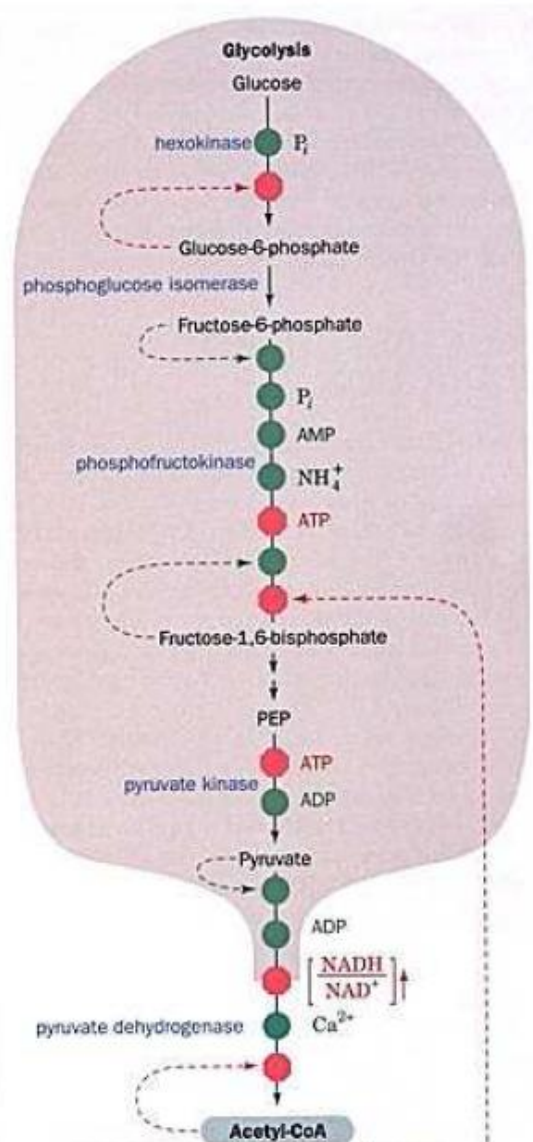
Všimli jste si někdy v glykolýze ...?



1. reakce = ideální na regulaci celé dráhy

nej důležitější regulační reakce
nejvíce regulátorů

poslední reakce
citlivost na hladinu ADP / ATP



fosfát znemožní glukóze opustit buňku (bez fosfatázy)

adenylát kinázy
 $2 ADP \rightarrow AMP + ATP$
(zesílení glykolýzy)

Všimli jste si někdy v glykolýze ...?



Co mají společného?

- daleko od rovnováhy (rychlost není citlivá k malým změnám koncentrace)
- začátek či konec dráhy (aby dráha neprobíhala zbytečně)

Glycolysis Enzyme/Reaction	ΔG° kJ/mol	ΔG kJ/mol
Hexokinase	-20.9	-27.2
Phosphoglucose Isomerase	+2.2	-1.4
Phosphofruktokinase	-17.2	-25.9
Aldolase	+22.8	-5.9
Triosephosphate Isomerase	+7.9	negative
Glyceraldehyde-3-P Dehydrogenase & Phosphoglycerate Kinase	-16.7	-1.1
Phosphoglycerate Mutase	+4.7	-0.6
Enolase	-3.2	-2.4
Pyruvate Kinase	-23.0	-13.9

*Values in this table from D. Voet & J. G. Voet (2004) Biochemistry, 3rd Edition, John Wiley & Sons, New York, p. 613.

ΔG^0 ... standardní volná energie

ΔG ... naměřeno v buňkách

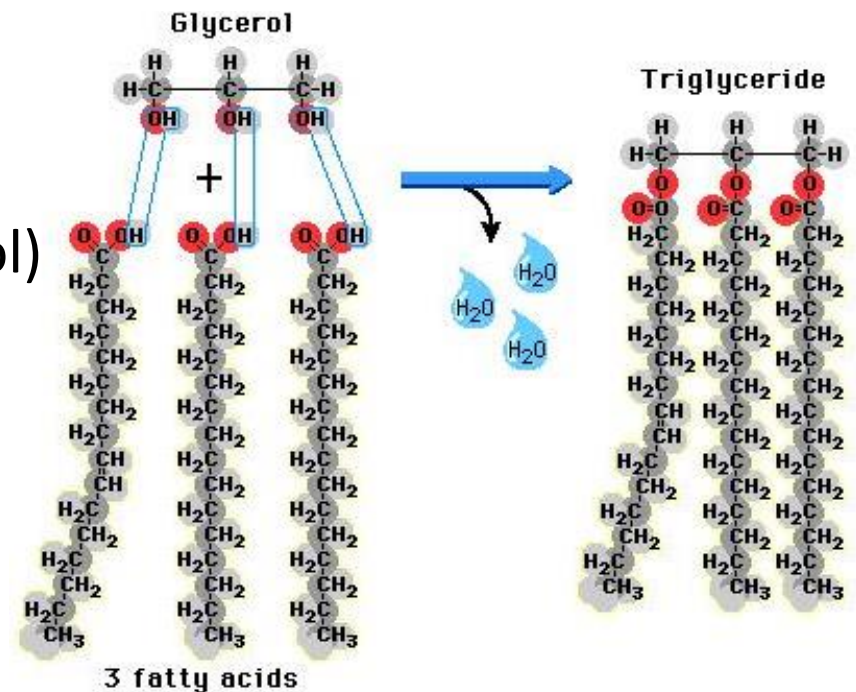
Glukoneogeneze



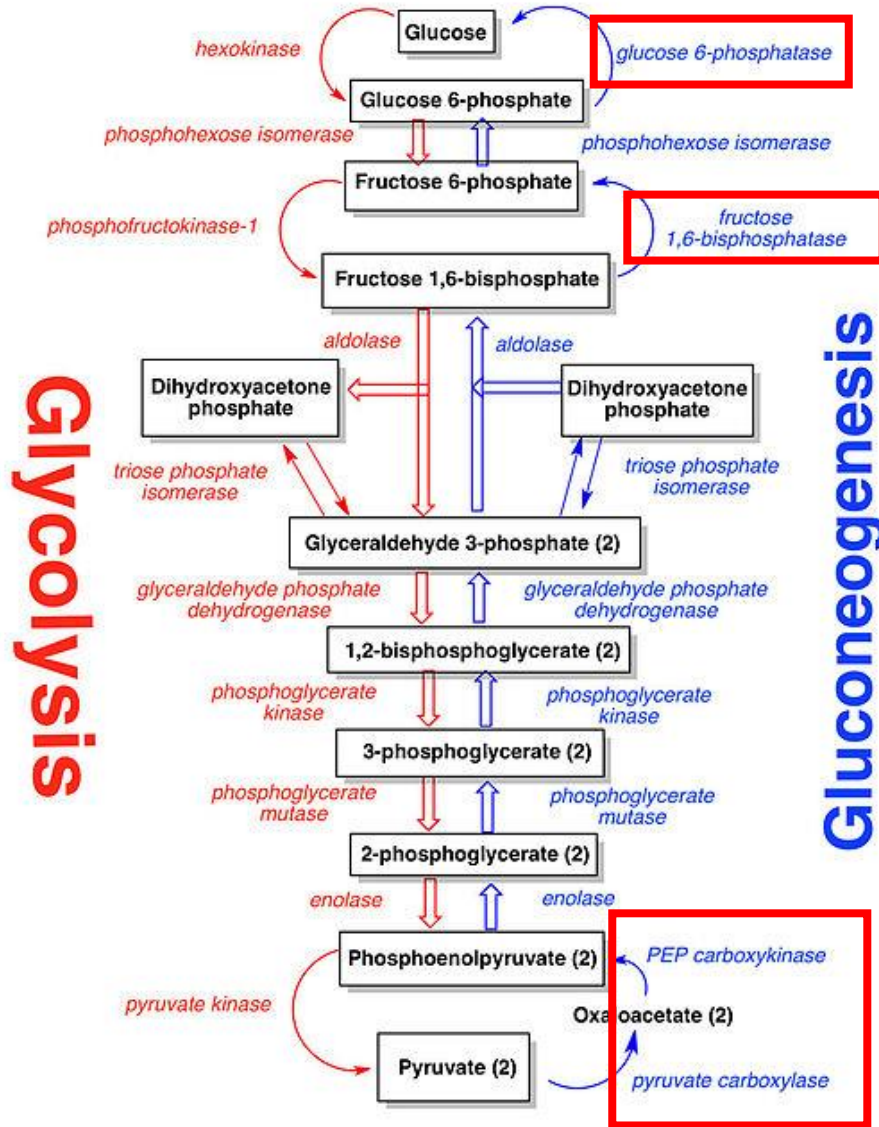
- spadá mezi „ostatní dráhy“ sacharidů
- necukerné látky → glukóza (případně dále další sacharidy)
- způsob jak regulovat hladinu glukózy
- nejvíce probíhá v játrech
- různé prekurzory:
 - ✓ laktát
 - ✓ aminokyseliny
 - ✓ triacylglyceroly (pouze glycerol)
 - ✓ ...

Mastné kyseliny nelze využít, protože na to nemáme příslušné enzymy (rostliny, houby a bakterie je mají).

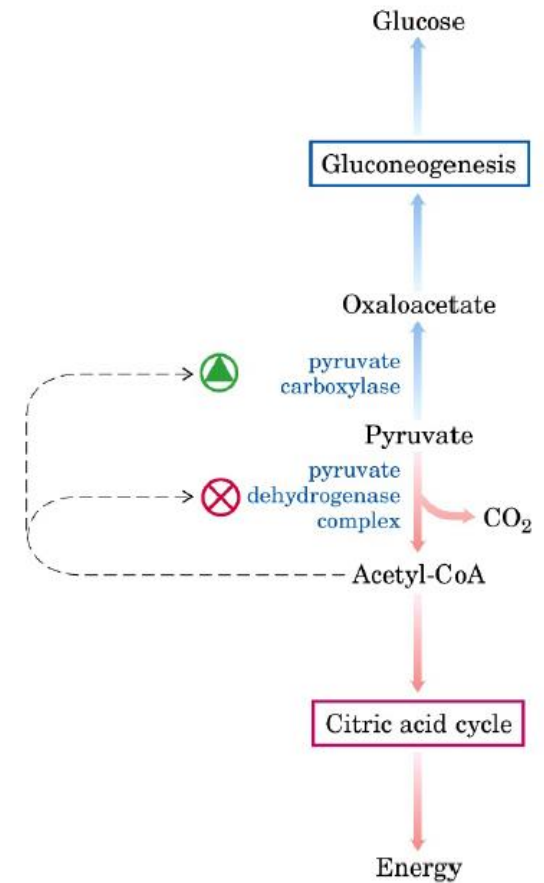
Katabolismus MK však produkuje velké množství ATP, které je pro glukoneogenezi zásadní.



Glukoneogeneze



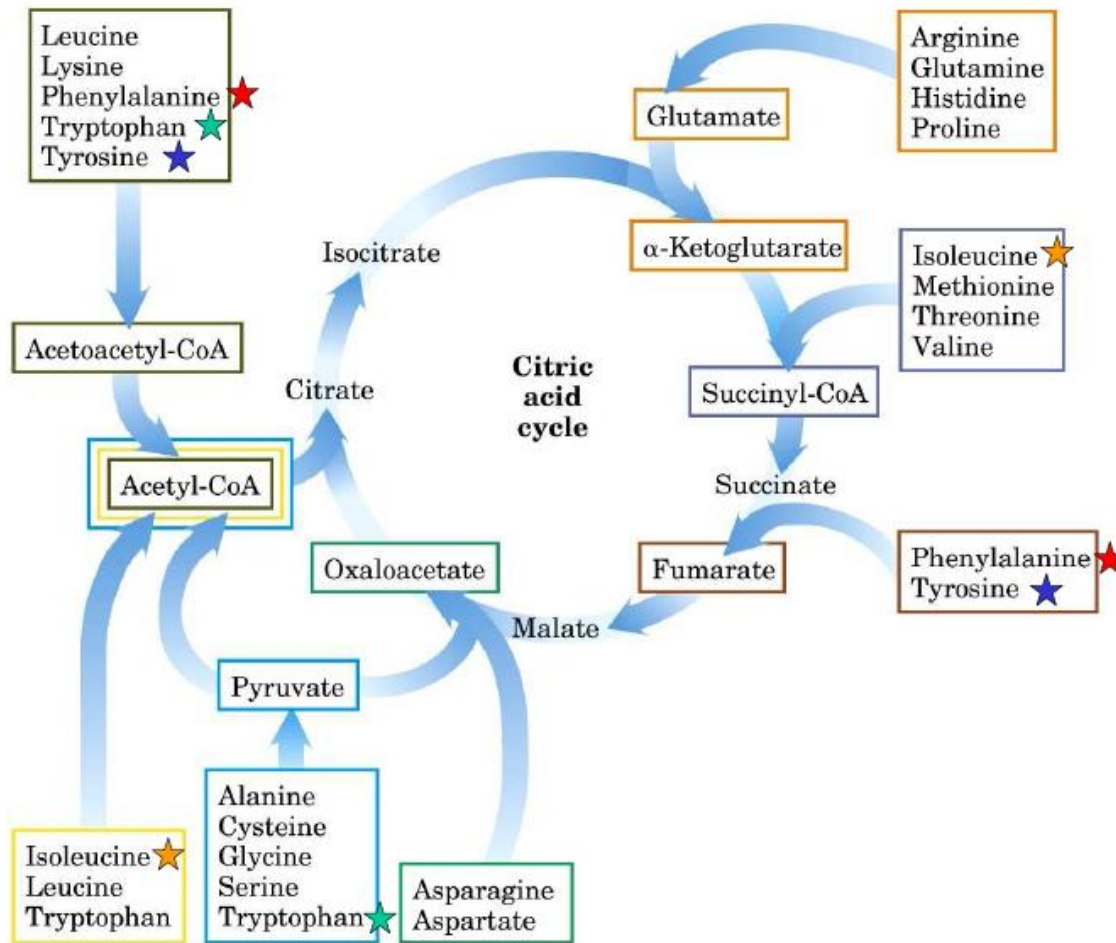
3 nutné „by-passy“



Krebsův cyklus = významná křižovatka

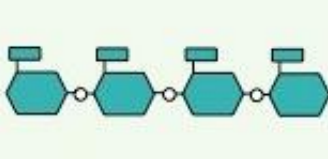
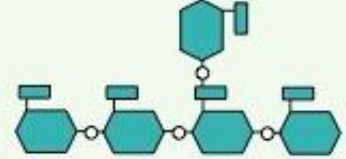
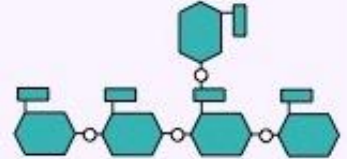
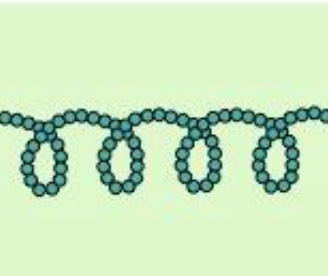
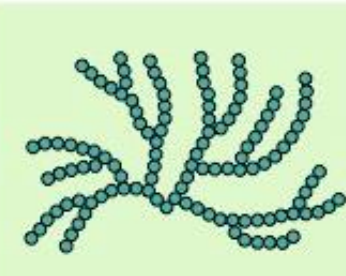
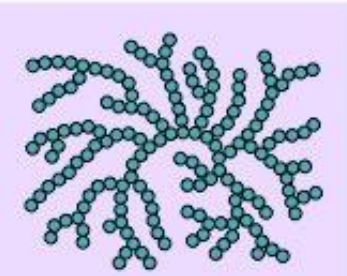


Křižovatka katabolismu a anabolismu



Proč se syntetizují polysacharidy?



	ŠKROB		GLYKOGEN
	Amylóza	Amylopektin	
Zdroj	rostliny	rostliny	živočichové
Jednotka	α -glukóza	α -glukóza	α -glukóza
Vazba	1-4	1-4 a 1-6	1-4 a 1-6
Větvení	ne	ano (cca po 20 jednotkách)	ano (cca po 10 jednotkách)
Diagram			
Tvar			



Proč se syntetizují polysacharidy?

4

Jako zásobárna energie

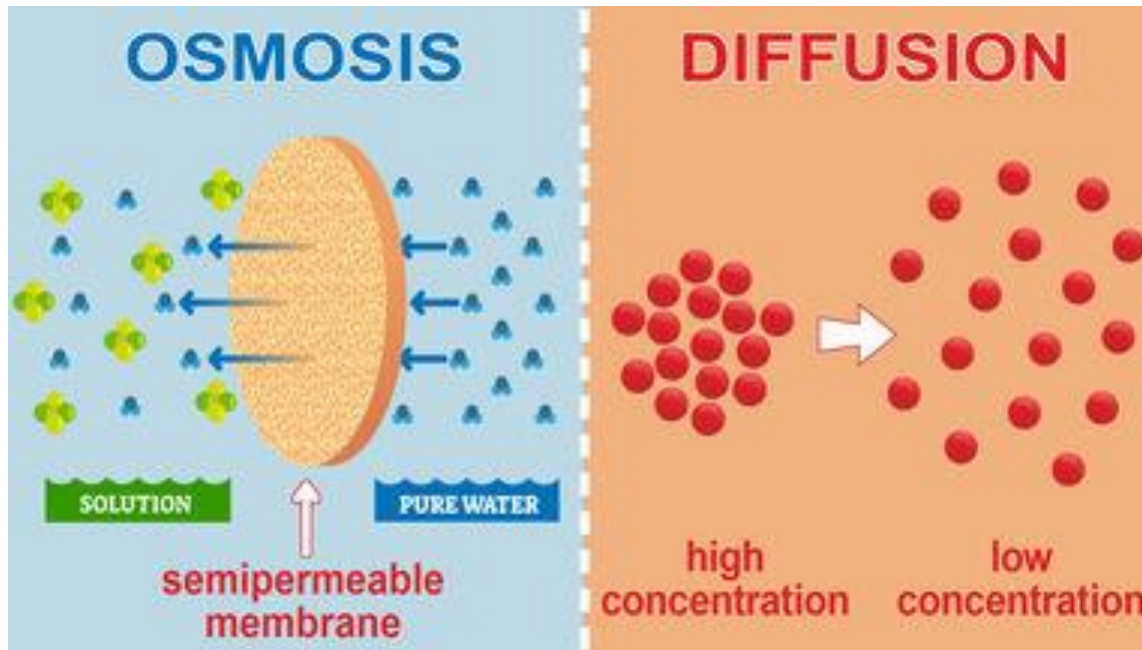


NA TO NEJSOU POLYSACHARIDY NUTNÉ. MOHLO BY POSLOUŽIT I NĚCO JINÉHO.

Proč se syntetizují polysacharidy?

4

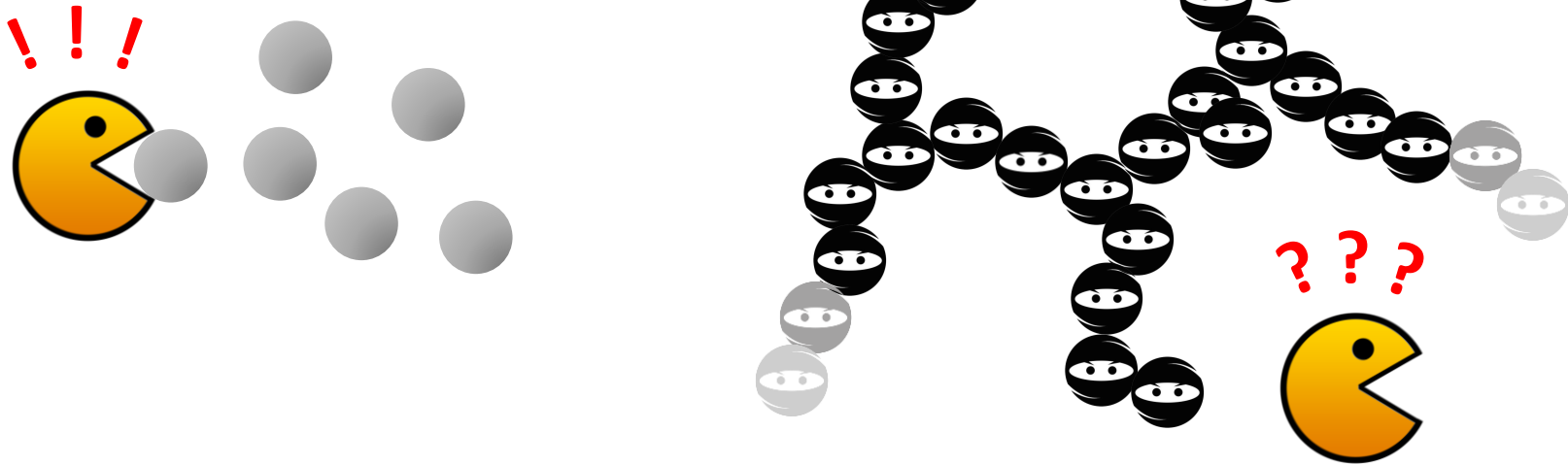
Nejsou osmoticky aktivní



Proč se syntetizují polysacharidy?

4

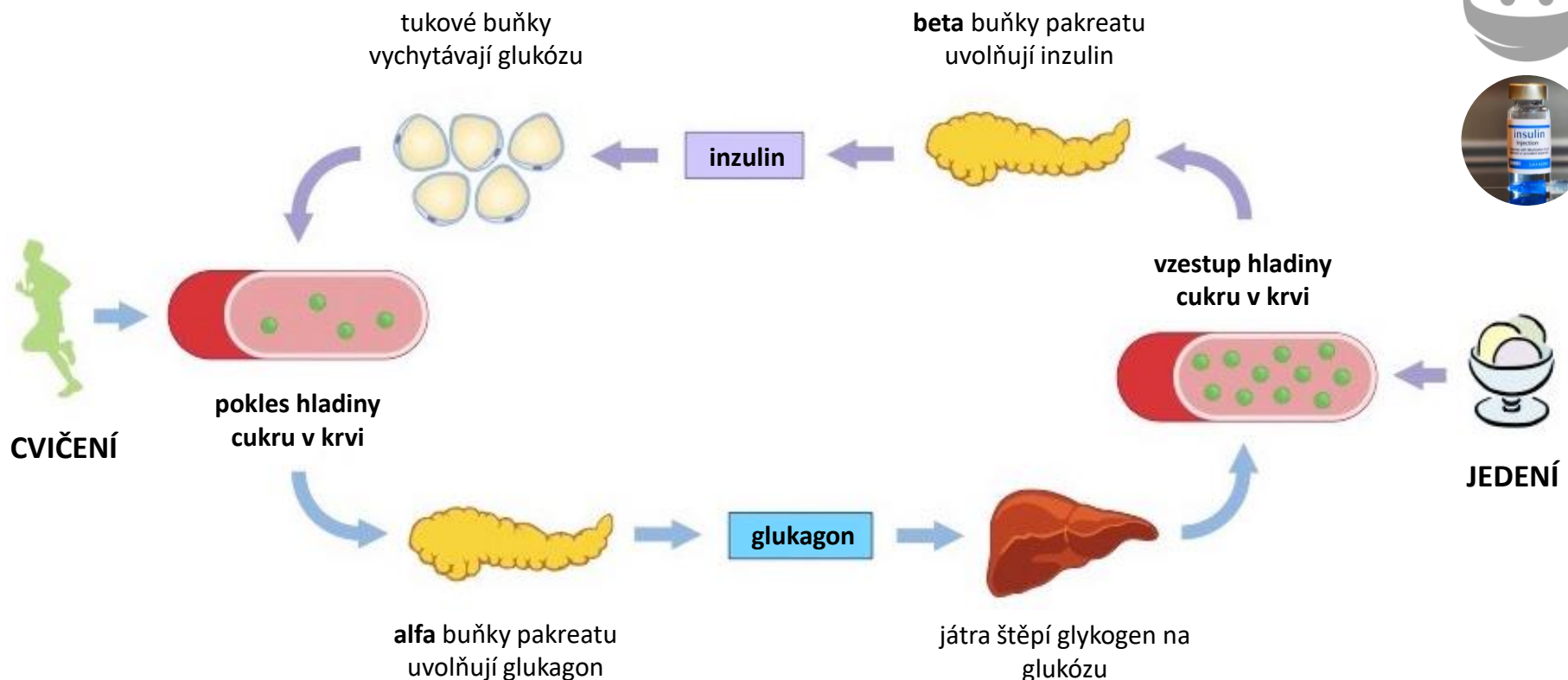
Vázané podjednotky (glukóza) pak nejsou substrátem glykolýzy



Proč se syntetizují polysacharidy?

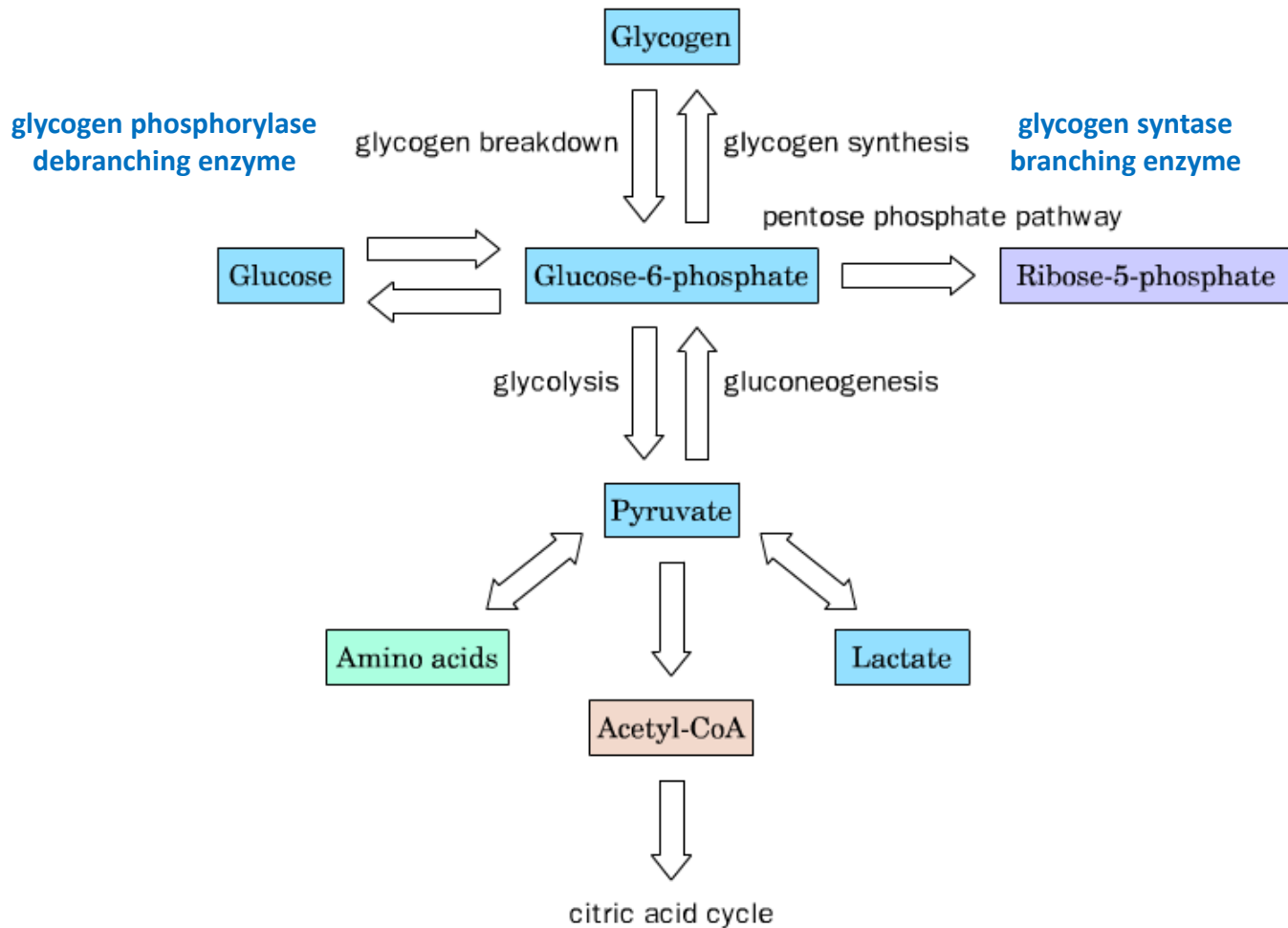
4

Jejich syntéza a rozklad se dají regulovat

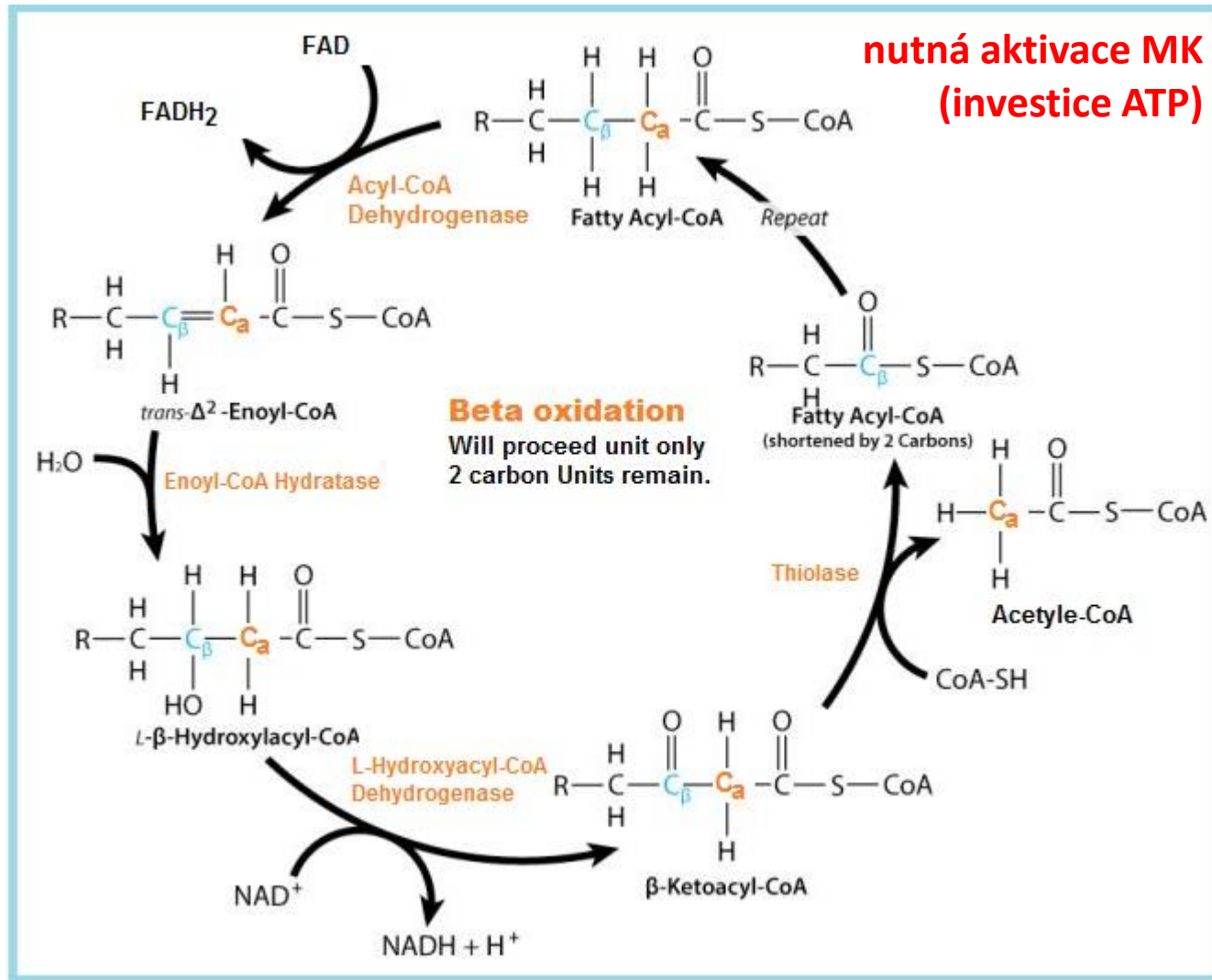


JEDENÍ

Proč se syntetizují polysacharidy?



Jak je to s mastnými kyselinami?



Jak je to s mastnými kyselinami?

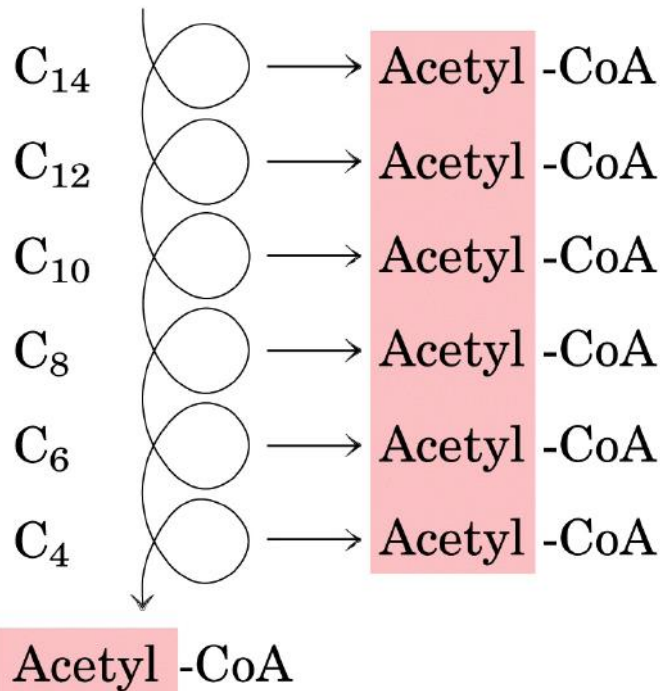


table 17-1

Yield of ATP during Oxidation of One Molecule of Palmitoyl-CoA to CO_2 and H_2O

Enzyme catalyzing the oxidation step	Number of NADH or $FADH_2$ formed	Number of ATP ultimately formed*
Acyl-CoA dehydrogenase	7 $FADH_2$	10.5
β -Hydroxyacyl-CoA dehydrogenase	7 NADH	17.5
Isocitrate dehydrogenase	8 NADH	20
α -Ketoglutarate dehydrogenase	8 NADH	20
Succinyl-CoA synthetase		8 [†]
Succinate dehydrogenase	8 $FADH_2$	12
Malate dehydrogenase	8 NADH	20
Total		108

*These calculations assume that mitochondrial oxidative phosphorylation produces 1.5 ATP per $FADH_2$ oxidized and 2.5 ATP per NADH oxidized.

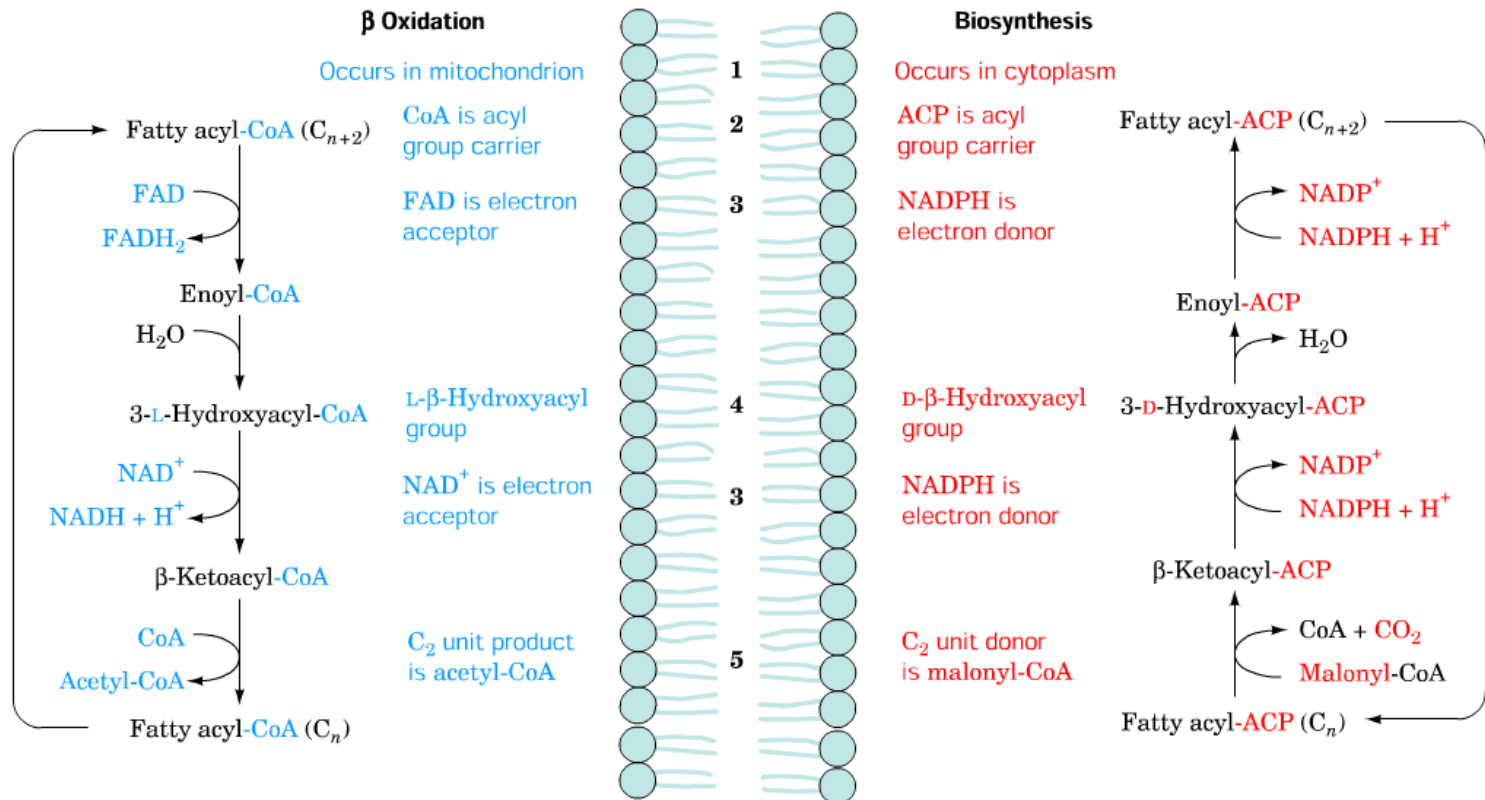
[†]GTP produced directly in this step yields ATP in the reaction catalyzed by nucleoside diphosphate kinase (p. 578).

glukóza anaerobně ... 2 ATP **54x více!**

glukóza aerobně ... 32 ATP **3,4x více!**

Jak je to s mastnými kyselinami?

- lokalizace ... mitochondrie
- přenašeč acylů ... koenzym A (acetyl-CoA)
- akceptor elektronů ... v první oxidaci FAD, ve druhé NAD⁺
- 3-L-β-hydroxyacylová skupina
- hydratace
- postupně odštěpovány 2C podjednotky (jako acyl-CoA)
- lokalizace ... cytoplazma
- přenašeč acylů (prodlužujícího se řetězce) ... protein ACP (acyl carrier protein)
- donor elektronů ... v obou redukcích NADPH
- 3-D-β-hydroxyacylová skupina
- dehydratace
- postupné připojování 2C podjednotek (z malonyl-CoA)



Pokroky v biologii 2022

Filozofování o životě



... na závěr

Náročná práce buňky

signalizace okolním buňkám

hospodaření s energií

koncentrační gradienty

kontrola integrity

útoky patogenů

regulace enzymů

osmotické jevy

genová exprese

signalizace (nervy, hormony)

acidobazické rovnováhy

specifické funkce

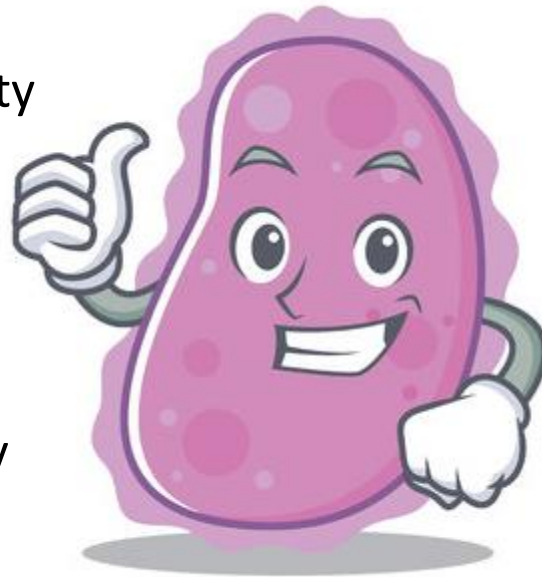
příjem živin

gradienty nábojů

vyloučení zplodin

buněčný cyklus

integrace funkcí organel



Buněčné přístupy k práci

efektivita

kombinatorika

optimalizace

koordinace práce

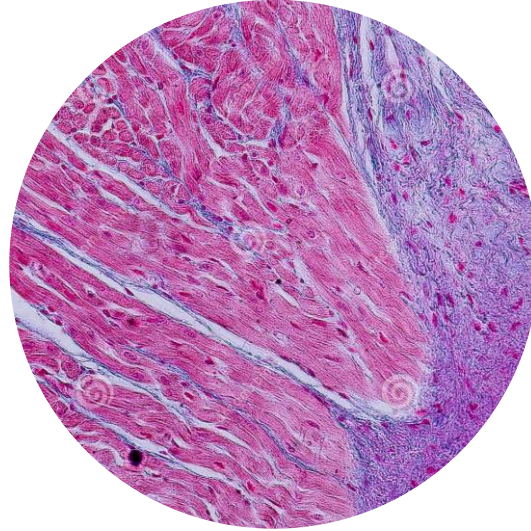
integrace informací

mnohastupňová regulace

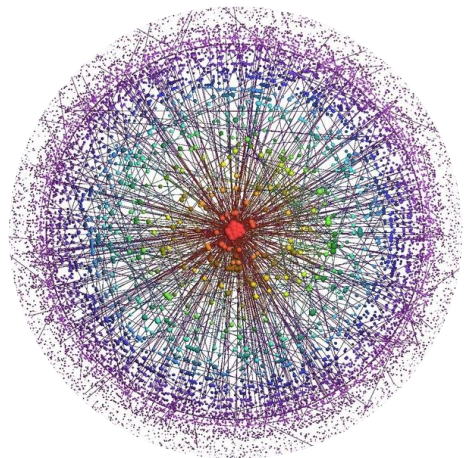
robustnost systému



Život má mnoho „pater“



„Jen“ samotná buňka ...



Pokroky v biologii 2022

Metabolické rovnováhy



Ladislav Merta



PŘÍRODOVĚDECKÁ
FAKULTA
Univerzita Karlova

...aneb vyladěno miliony let praxe

Zdroje obrázků

- VOET, Donald a Judith G. VOET. *Biochemistry*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2011.
- ALBERTS, Bruce. *Základy buněčné biologie: úvod do molekulární biologie buňky*. 2. vyd. Přeložil Arnošt KOTYK, přeložil Bohumil BOUZEK, přeložil Pavel HOZÁK. Ústí nad Labem: Espero, c1998. ISBN 80-902906-2-0
- <https://www.imperial.ac.uk/news/174449/ineffective-approaches-dizziness-leave-patients-hanging/> (27/01/22)
- <https://www.mensjournal.com/health-fitness/a-10-minute-meditation-session-for-beginners-w206163/> (28/01/22)
- <https://www.bodyshopbusiness.com/maintaining-a-healthy-work-life-balance/> (28/01/22)
- <https://www.eatingwell.com/article/7917613/exercises-to-improve-balance/> (28/01/22)
- <https://divorce911.com/the-fight-against-financial-entropy/> (28/01/22)
- <https://www.youtube.com/watch?v=c6XHLe94SJA> (28/01/22)
- <https://opentextbc.ca/chemistry/chapter/13-1-chemical-equilibria/> (28/01/22)
- <https://www.cartoonistgroup.com/subject/The-Snow+Removal-Comics-and-Cartoons-by-Clay+Bennett%27s+Editorial+Cartoons.php> (28/01/22)
- <https://www.istockphoto.com/photo/bricks-gm173627444-7820435> (28/01/22)
- <https://freepngimg.com/png/126981-recycle-pic-3d-free-download-image> (28/01/22)
- <https://all-free-download.com/free-photos/black-brick-wall-background.html> (28/01/22)
- <https://www.biosciencenotes.com/glycolysis/> (30/01/22)
- <https://www.sciencephoto.com/media/1167709/view/production-line-in-a-car-factory> (30/01/22)
- <https://www.iget-manufacturing.com/production-line-setup> (30/01/22)
- <https://www.istockphoto.com/search/2/image?phrase=cutting+meat> (28/01/22)
- <https://www.muscleandstrength.com/articles/35-best-biceps-history> (28/01/22)
- <https://www.knifestock.cz/magnum-samurai-premium-damast-katana-05ry441dam-p3645> (04/02/22)
- <https://www.aaaauto.cz/slovník/39558/katalyzator.html> (29/01/22)
- https://en.wikipedia.org/wiki/Hexokinase#/media/File:Hexokinase_3O08_structure.png (29/01/22)
- https://cs.wikipedia.org/wiki/Enzym#/media/Soubor:Induced_fit_diagram_cs.svg (29/01/22)
- <https://www.sciencenews.org/article/new-greener-catalysts-are-built-speed> (29/01/22)
- http://www.studiumbiochemie.cz/prirodni_latky_enzymy.html (29/01/22)
- <https://ib.bioninja.com.au/higher-level/topic-8-metabolism-cell/untitled-6/activation-energy.html> (30/01/22)
- http://www.studiumbiochemie.cz/prirodni_latky_enzymy.html (29/01/22)
- http://www.studiumbiochemie.cz/prirodni_latky_enzymy.html (29/01/22)
- <https://ib.bioninja.com.au/higher-level/topic-8-metabolism-cell/untitled-6/allosterism.html> (30/01/22)

Zdroje obrázků

- <https://ib.bioninja.com.au/higher-level/topic-8-metabolism-cell/untitled-6/enzyme-inhibition.html> (30/01/22)
- <https://ib.bioninja.com.au/options/option-d-human-physiology/d5-hormones-and-metabolism/feedback-loops.html> (16/08/21)
- <https://ib.bioninja.com.au/higher-level/topic-8-metabolism-cell/untitled-6/feedback-inhibition.html> (30/01/22)
- <https://www.elabscience.com/List-detail-291.html> (04/02/22)
- <https://www.superionherbs.cz/homeostaza-a-adaptogeny/> (04/11/20)
- [com.au/standard-level/topic-6-human-physiology/66-hormones-homeostasis-and/homeostasis.html](https://www.bioninja.com.au/standard-level/topic-6-human-physiology/66-hormones-homeostasis-and/homeostasis.html) (01/02/22)
- https://www.freepik.com/premium-photo/lightbulb-with-small-tree-soil-nature-sunshine-concept-saving_4682671.htm (31/01/22)
- <https://www.rohlik.cz/719107-jojo-jahudky> (04/02/22)
- <https://www.chronicle.com/article/beyond-critical-thinking/> (01/02/22)
- <https://www.theguardian.com/books/gallery/2015/nov/16/cities-from-the-air-by-night-in-pictures> (04/02/2022)
- <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/the-future-of-work-in-europe> (04/02/2022)
- <https://twitter.com/atlanticyouth/status/1252968303921856512?lang=da> (04/02/2022)
- <https://fineartamerica.com/featured/animal-cell-russell-kightley.html> (04/02/2022)
- <https://www.dreamstime.com/education-anatomy-histological-sample-heart-muscle-tissue-under-microscope-histological-sample-heart-muscle-tissue-under-image142416814> (04/02/2022)
- <https://wallpaperping.com/best-wallpaper.html> (04/02/2022)
- <https://www.smlase.com/entries/mechanism/types-of-gear-and-applications/> (03/02/2022)
- <https://www.blendspace.com/lessons/JiNmKqIiYIATlw/functional-analysis> (03/02/2022)
- <https://www.eyes-on-europe.eu/environment-economy/> (03/02/2022)
- <https://www.indiamart.com/proddetail/sacred-solfeggio-tuning-fork-22537915630.html> (03/02/2022)
- <https://www.trouw.nl/nieuws/spetterend-debuut-van-poolse-dirigent-urbanski~be2d1c16/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F> (03/02/2022)
- <https://blissbiology.wordpress.com/2015/08/24/lipids/> (04/02/22)
- <https://step1.medbullets.com/biochemistry/102052/gluconeogenesis> (04/02/22)
- <https://ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-2-molecular-biology/23-carbohydrates-and-lipids/sugar-polymers.html> (04/02/22)
- <https://www.svetandroida.cz/xiaomi-power-bank-10000-mah/> (04/02/22)
- <https://examples.yourdictionary.com/main-difference-between-osmosis-and-diffusion-in-biology.html> (04/02/22)
- <https://www.shutterstock.com/image-vector/water-drop-224244121> (04/02/22)

Zdroje obrázků

- <https://www.pngwing.com/en/free-png-tfabb> (04/02/22)
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pacman_HD.png (04/02/22)
- <https://ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-6-human-physiology/66-hormones-homeostasis-and/insulin-and-glucagon.html> (13/03/21)
- <https://pro.endocrineweb.com/type-2-diabetes/weekly-insulin-close-becoming-reality> (04/02/22)
- <https://www.tutorialscan.com/science/fatty-acid-oxidation/> (04/02/22)
- <https://pixabay.com/illustrations/lamp-orange-light-bulb-nature-tree-1968648/> (04/02/22)
- https://www.123rf.com/photo_97618376_thumbs-up-bacteria-character-cartoon-style.html?vti=lwom9e9vc1eau866kk-1-1 (04/02/22)
- <https://johncarlosgaez.wordpress.com/2016/01/08/glycolysis/> (04/02/22)