

Výživa a transport látek

Prostředí, ve kterém bakterie rostou a množí se, musí obsahovat :

- Zdroj uhlíku – pro syntézu malých organických molekul, sloužících jako skelet makromolekul
- Zdroj dusíku – tvorba amino- a imino- skupin jako součásti organických látek
- Zdroj energie – pro biosyntézu nízkomolekulárních látek a biologických makromolekul tvořících strukturu buňky
- Minerální prvky
- Růstové faktory – vyžadované organizmy, pokud si je nedokáží syntetizovat

Zdroje uhlíku

Zdroj uhlíku = výchozí substrát
pro biosyntézu



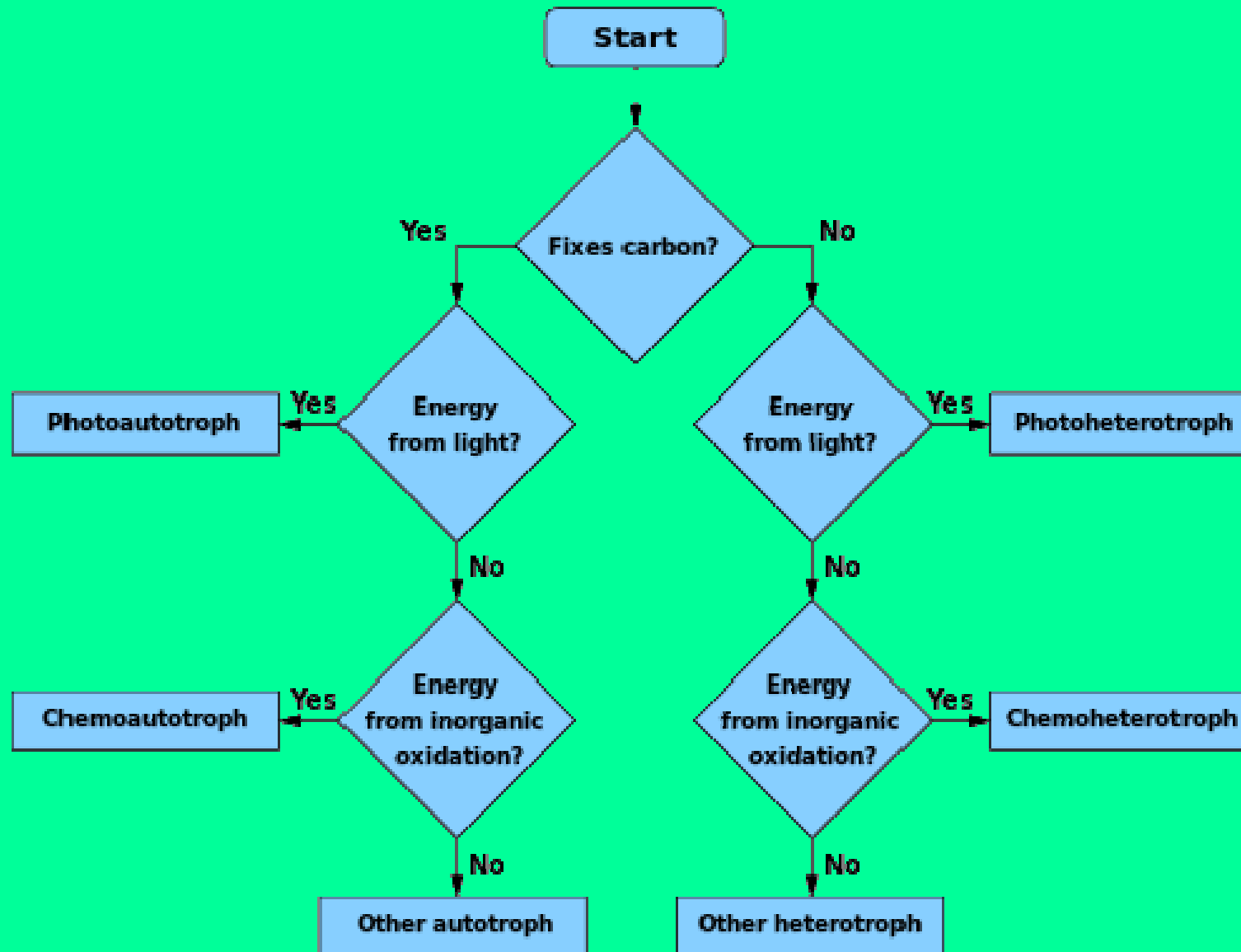
Zdroje uhlíku

- Rozdělení bakterií podle uhlíkaté výživy
 - * **autotrofní** – základním zdrojem uhlíku je CO_2
 - * **heterotrofní** – základním zdrojem uhlíku je jakákoliv organická látka

Zdroje uhlíku - autotrofie

- U bakterií není autotrofie vázána jen na fotosyntézu (metanotrofové,...)
- Existují **dva způsoby získání energie** - fototrofie a chemotrofie a **dva způsoby získávání uhlíku** – autotrofie, heterotrofie, které jsou vzájemně kombinovatelné.
- Podle výživy lze tedy organizmy rozdělit na fotoautotrofní, fotoheterotrofní, chemoautotrofní, chemoheterotrofní

Kombinace zdrojů uhlíku a energie



Zdroje uhlíku

- **Chemoautotrofie** (chemolitotrofie) – známa jen u bakterií. Energie se získává oxidací redukovaných anorganických sloučenin (síry, dusíku, železa,..) a zdrojem uhlíku je CO_2 .
- **Chemoheterotrofie** – zdrojem uhlíku a energie je prakticky jakákoliv oxidovatelná organická látka – většina organismů
- **Bakterie metylotrófní** – jako zdroj energie a uhlíku slouží většinou jednouhlíkaté sloučeniny obsahující metylskupinu $-\text{CH}_3$ (metan, dimetyleter, metanol).
Metylotrofie je obligatorní (*Methylomonas*) nebo fakultativní (*Hyphomicrobium*)

Zdroje dusíku

- Amonné soli, amoniak – pro většinu organismů – snadno se transportují do buňky (nejvhodnější jako síran a fosfát nebo sůl organických kyselin)
- Dusičnany – využívány houbami a některými kvasinkami nebo bakteriemi (nejprve nutná redukce a amonné soli)
- Aminokyseliny
- Močovina – výhradně jako zdroj dusíku u urobakterií
- Molekulový dusík – většinou u bakterií a sinic

Zdroje energie

- Světelné kvantum – **fototrofie**
- Organické a anorganické látky – **chemotrofie** (energie se získává oxidoredukčními pochody, jedna látka je oxidována, druhá redukována)
 - akceptor elektronů a vodíku vzniká katabolizmem donoru - **kvašení** (fermentace)
 - akceptorem elektronů a vodíku je molekulový kyslík – **aerobní respirace**
 - akceptorem elektronů a vodíku je kyslík v oxidované anorganické sloučenině **anaerobní respirace** (sířany, nitráty, CO₂, ...)

Zdroje minerálních látek

- **Kyslík a vodík** – významně ovlivňují celkový metabolismus buňky. Některé organizmy vyžadují molekulový kyslík a některé mohou využívat molekulový vodík.
- Podle **vztahu ke kyslíku** se organizmy dělí na
 - striktní (obligatorní) aeroby** – aerobní respiratorní metabolismus
 - striktní (obligatorní) anaeroby** – rostou jen v anaerobních podmínkách (i malý parciální tlak O_2 je pro ně toxický)
 - fakultativní anaeroby** – mají metabolické dráhy jak pro respiratorní tak i fermentatorní metabolismus
 - aerotolerantní organizmy** – mají fermentatorní metabolismus, rostou v přítomnosti O_2 , ale nevyužívají jej

Zdroje a využití minerálních látek

- **Síra** – sírany, thiosírany, sirovodík, S_0 – při oxidoredukčních pochodech spojených se změnou rH
- **Fosfor** – soli kyseliny fosforečné – součást NK, koenzymů, fosfolipidů, makroergické vazby, ...
- **Draslík** – v různých reakcích, při syntéze bílkovin
- **Sodík** – regulace osmotického tlaku, transportní systém, ovlivňuje aktivitu některých enzymů
- **Hořčík** – syntéza bílkovin, syntéza nebo hydrolýza ATP, součást chlorofylu
- **Železo** – reaktivní místo v proteinech obsahujících hem (cytochromech, kataláze) a dalších proteinech
- **Kobalt** – složka vitamínu B_{12}
- **Vápník** – význam při sporulaci
- **Zn, Cu, Mo, Ni, Se** atd. součástí metaloenzymů

Růstové faktory

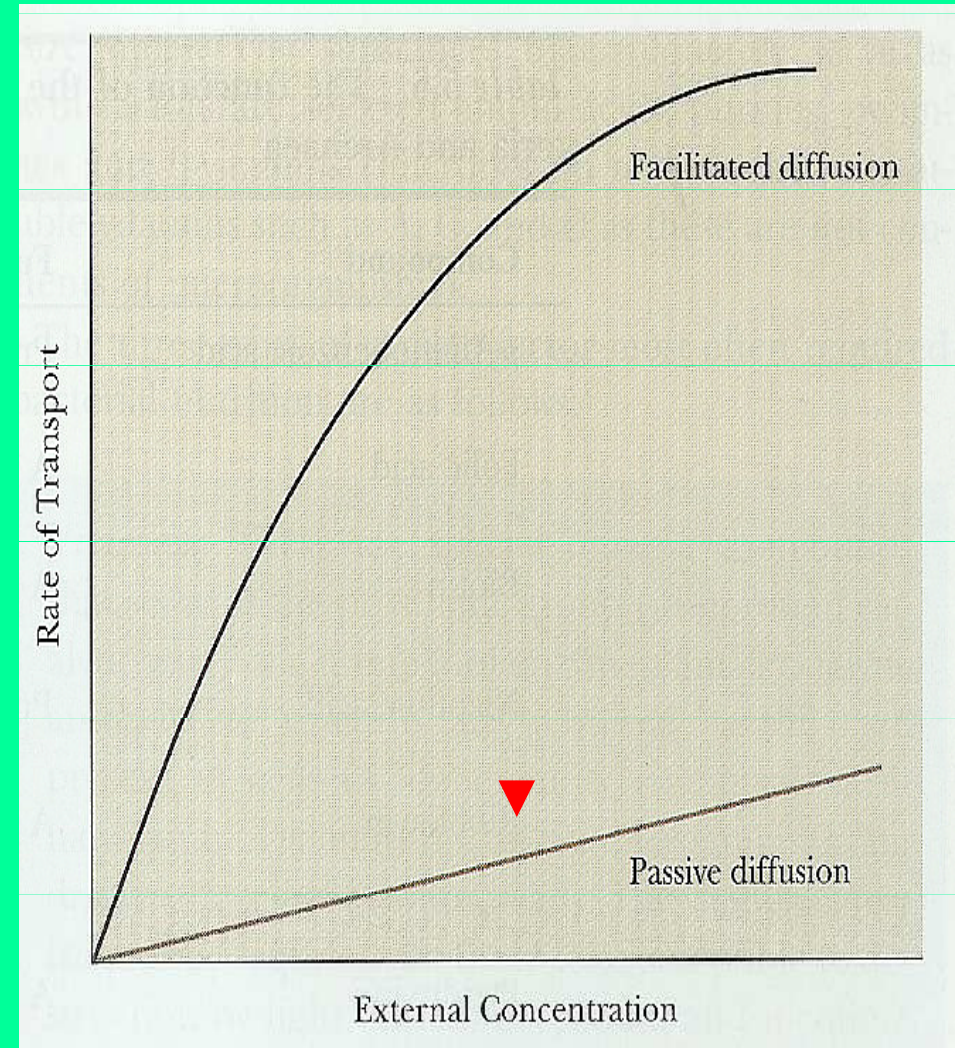
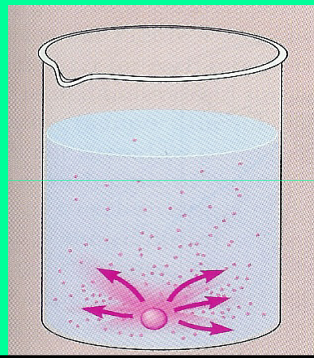
- **Růstový faktor** – molekula (komponenta buňky), kterou buňka nedovede syntetizovat ze živin
- Podle vztahu k růstovým faktorům jsou buňky
 - **prototrofní** – všechny potřebné složky syntetizují ze živin
 - **auxotrofní** – některé molekuly nedokáží syntetizovat a získávají je z prostředí. Auxotrofie je přirozená (organismus nemá odpovídající genetickou výbavu) nebo vzniká z prototrofního organismu ztrátovou mutací
- Vyžadovány jsou především vitaminy, aminokyseliny a baze

Transport látek do buňky

- Protože buňka je systém otevřený, musí existovat řízený, selektivní a obousměrný transport mezi základní cytoplazmou a vnějším prostředím – bariérou je semipermeabilní cytoplazmatická membrána
- **Tři typy transportu**
 - nespecifická prostá difúze
 - specifický přenos bílkovinným přenašečem
 - pinocytóza (u bakterií neexistuje)

Nespecifická prostá difúze

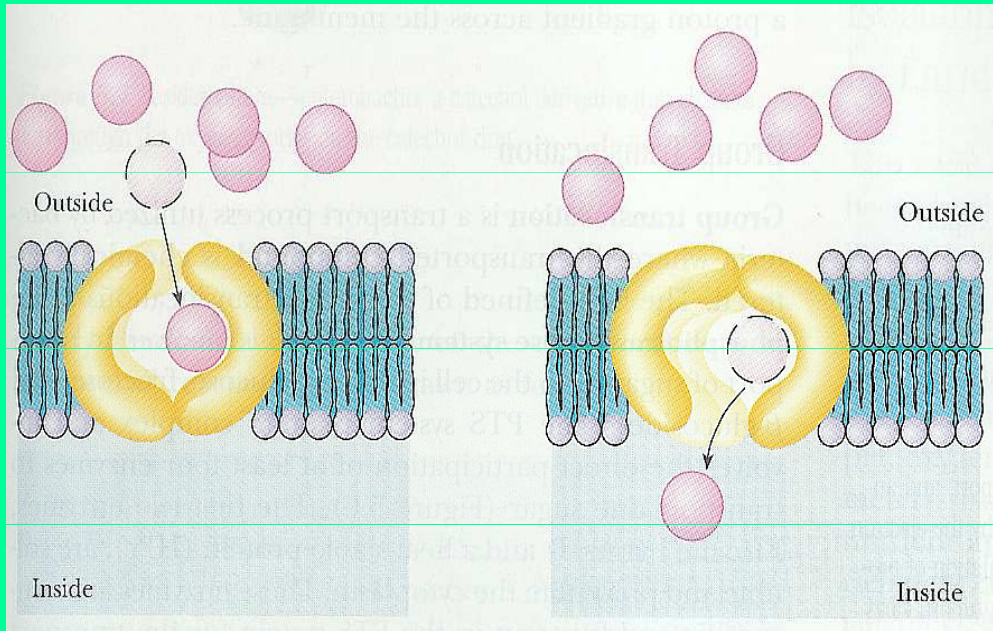
- Nespecifická difúze se týká jen malého počtu molekul a iontů (voda, molekuly rozpustné v tucích, Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , ..)
- Rychlost je přímo úměrná koncentračnímu (nebo elektrochemickému) gradientu dané látky a teplotě



Specifický přenos bílkovinným přenašečem

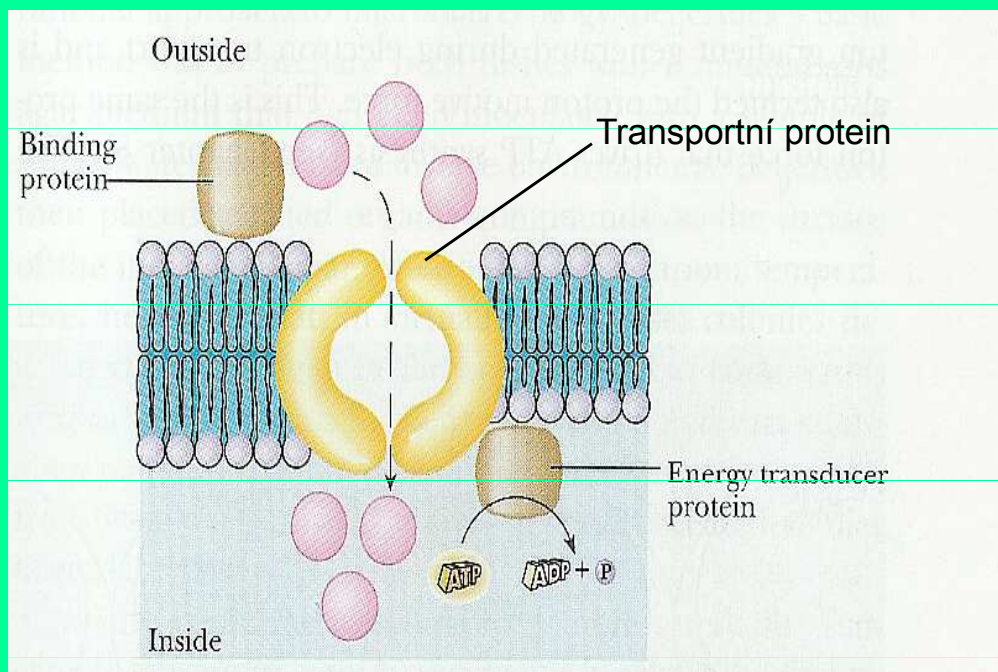
- **Usnadněná difúze** – přenos specifickou bílkovinou po koncentračním gradientu (bez dodání energie)
- Aktivní transport prostřednictvím vazebného proteinu. energii dodává ATP. **Primární aktivní transport**
- Aktivní transport využívající chemiosmotický gradient cytoplazmatické membrány (protonový gradient). **Sekundární aktivní transport**
- **Skupinová translokace** je uskutečňována transportní bílkovinou a přenos je spojen s modifikací přenášené látky (fosforylací)

Usnadněná difúze



- Transport je uskutečňován specifickou bílkovinou, ale po koncentračním spádu dané látky
- Rychlost je závislá na koncentračním gradientu, počtu transportních bílkovin a teplotě. Jedna molekula transportní bílkoviny může přenášet až 60 000 molekul substrátu za sekundu
- Transport funguje obousměrně (do buňky i z buňky)

Aktivní transport prostřednictvím vazebného proteinu - **primární aktivní transport**

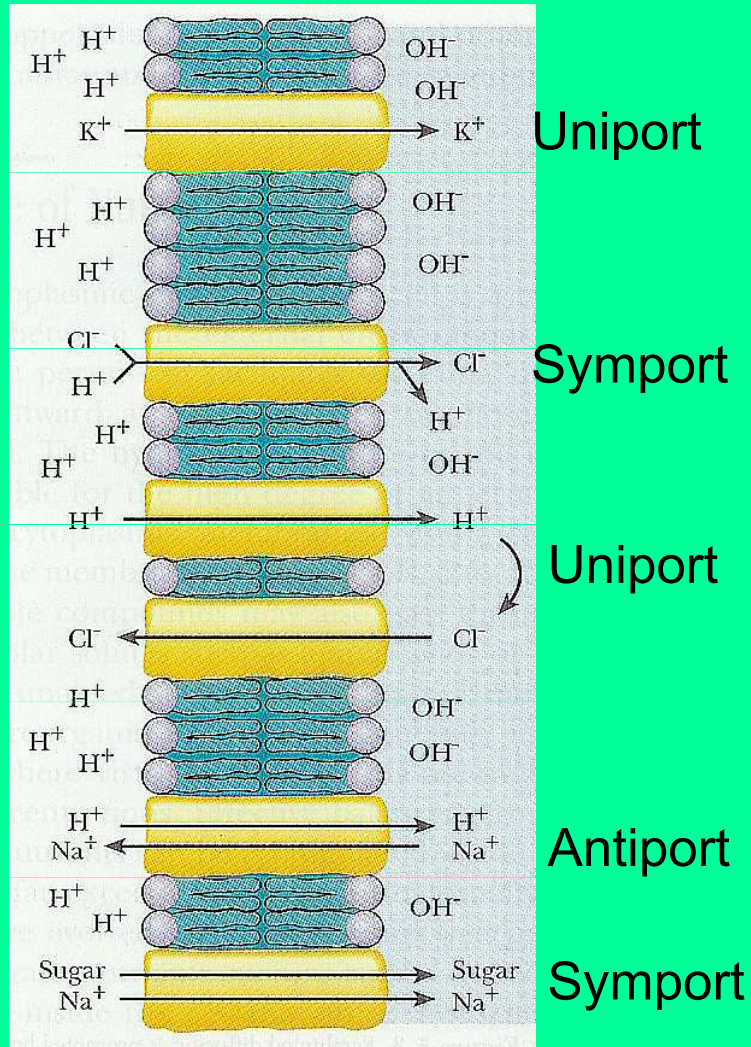


- V periplazmatickém prostoru se na velmi afinní vazební bílkovinu naváže přenášená látka a předá ji na integrální membránový protein, který ji přenese na vnitřní stranu membrány
- Předáním energie (z ATP) na transportní protein se rozpadne komplex substrát-bílkovina a substrát se uvolní do základní cytoplazmy

Aktivní transport prostřednictvím vazebného proteinu - sekundární aktivní transport

Vně

Uvnitř



- Zdrojem energie pro transport je protonový gradient
- **Transport je uskutečňován jediným membránovým proteinem**
- Transport iontů jde po koncentračním gradientu, transport živin proti koncentračnímu gradientu
- **Symport** – oba ligandy jsou transportovány jedním směrem
- **Antiport** – ligandy jsou transportovány opačným směrem
- **Uniport** – přenášejí se jen ionty
- Je velice častý u bakterií (u *E.coli* se takto dostává do buňky až 40% substrátů)

Metabolizmus

Metabolizmus

- Každá živá buňka je otevřený systém, který je charakteristický výměnou s prostředím (hmoty, energie, informace)
- Živiny z prostředí do buňky → transformace – tvorba energie, syntéza biomolekul → exkrece metabolitů
- Tok hmoty, energie a informace buňkou →
metabolizmus

Metabolizmus

- Metabolická aktivita mikroorganismů je mimořádně různorodá
- Metabolizmus buňky (tok hmoty a energie buňkou) tvoří celek, který má dvě protichůdné kategorie

katabolizmus

anabolizmus

Metabolizmus

- **Katabolizmus** – představuje degradativní procesy, vedoucí ke tvorbě energie ($-\Delta G$)
- **Anabolizmus** – vede k syntéze jednotlivých složek buňky a je spojen se spotřebou energie ($+\Delta G$)
- **Katabolizmus a anabolizmus jsou dva protichůdné procesy, které vedle sebe existují v prostoru a čase a vzájemně se podmiňují**

Metabolizmus

- Proces metabolizmu je souhrn biochemických reakcí, které
 - a/ probíhají posloupně a jsou “seřazený” do řad – **metabolické dráhy**
 - b/ uzavřeny do kruhu – **cykly**
- Výsledný metabolit může vznikat více než jednou metabolickou drahou – **alternativní metabolické dráhy**

Energie

- V rovnovážném stavu je volná energie minimální a nedochází k její změně
- Potom $\Delta G^\circ = 0$ z toho

$$\Delta G^\circ = - RT \ln K = -2,303 RT \log K$$

R – konstanta (the gas constant = 8.314 J/mol·K)

T – teplota

K – rovnovážná konstanta

Makroergické vazby

- Energetický metabolismus probíhá při spřažení exergonických a endergonických reakcí
- **Pro uskutečnění syntézy je nutné, aby součet změn volné energie obou spřažených reakcí byl negativní nebo alespoň s nulovou hodnotou**

Makroergické vazby

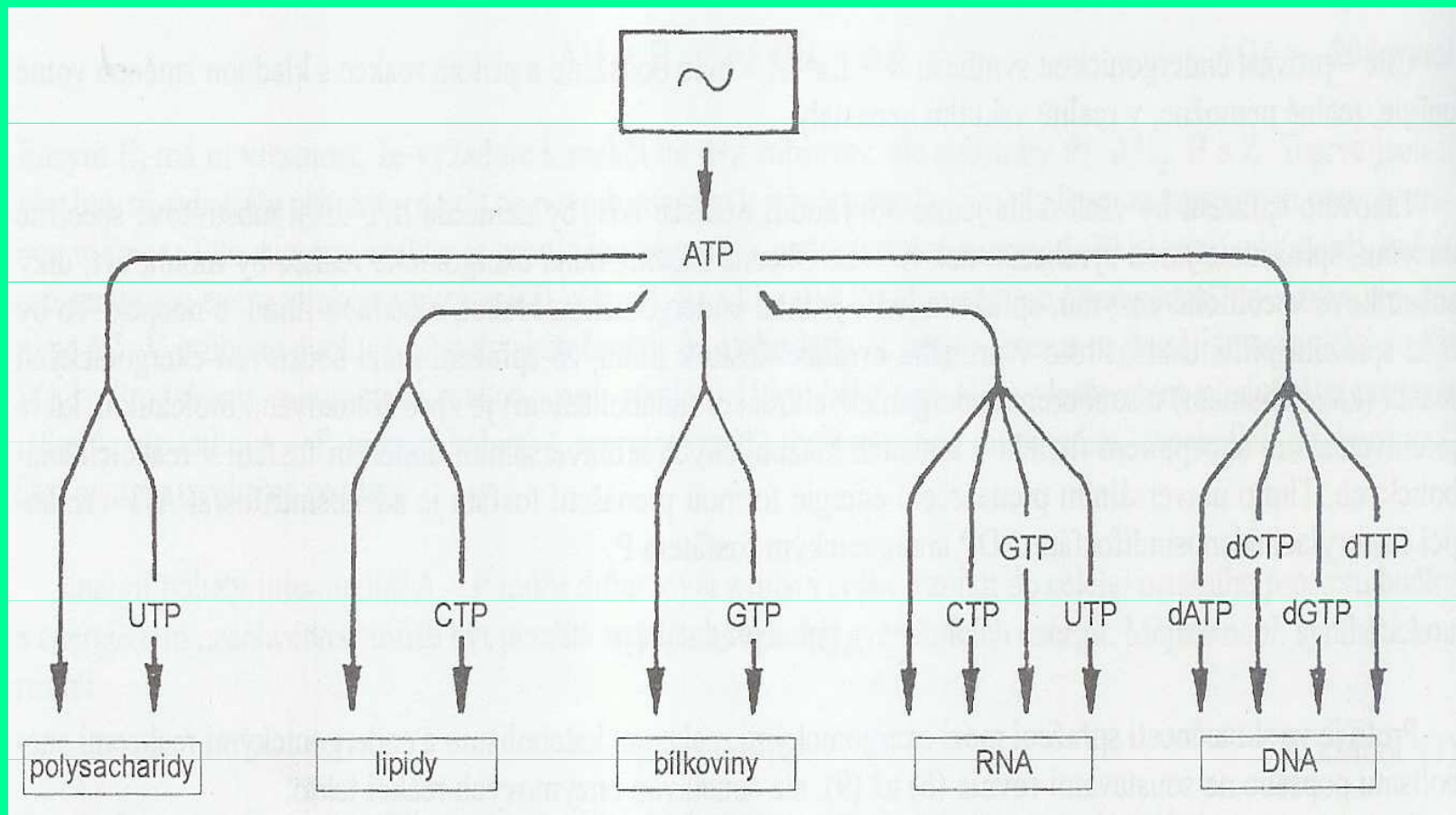
- Syntetické reakce probíhají většinou za účasti energeticky bohaté sloučeniny (ATP, látka schopná vytvářet makroergickou vazbu)
- Díky vysoké hladině ΔG makroergické vazby, se aktivuje substrát a umožní se tím vlastní reakce

ATP

- ATP – univerzální přenašeč energie – univerzální donor fosfátu v anabolických reakcích
- **Soustava $ADP \leftrightarrow ATP$ je univerzálním “spřahovačem“ katabolizmu a anabolizmu**
- Kterákoliv exergonická reakce může “pohánět“ jakoukoliv endergonickou reakci
- Proto je metabolismus jako celek vysoce spolehlivý

ATP

Centrální úloha ATP při syntéze biologických makromolekul



ATP

- Tvorba ATP

- ☺ na úrovni substrátu

- ☺ na úrovni membrány

- * u prokaryot na cytoplazmatické membráně

- * u eukaryot na vnitřní membráně mitochondrií

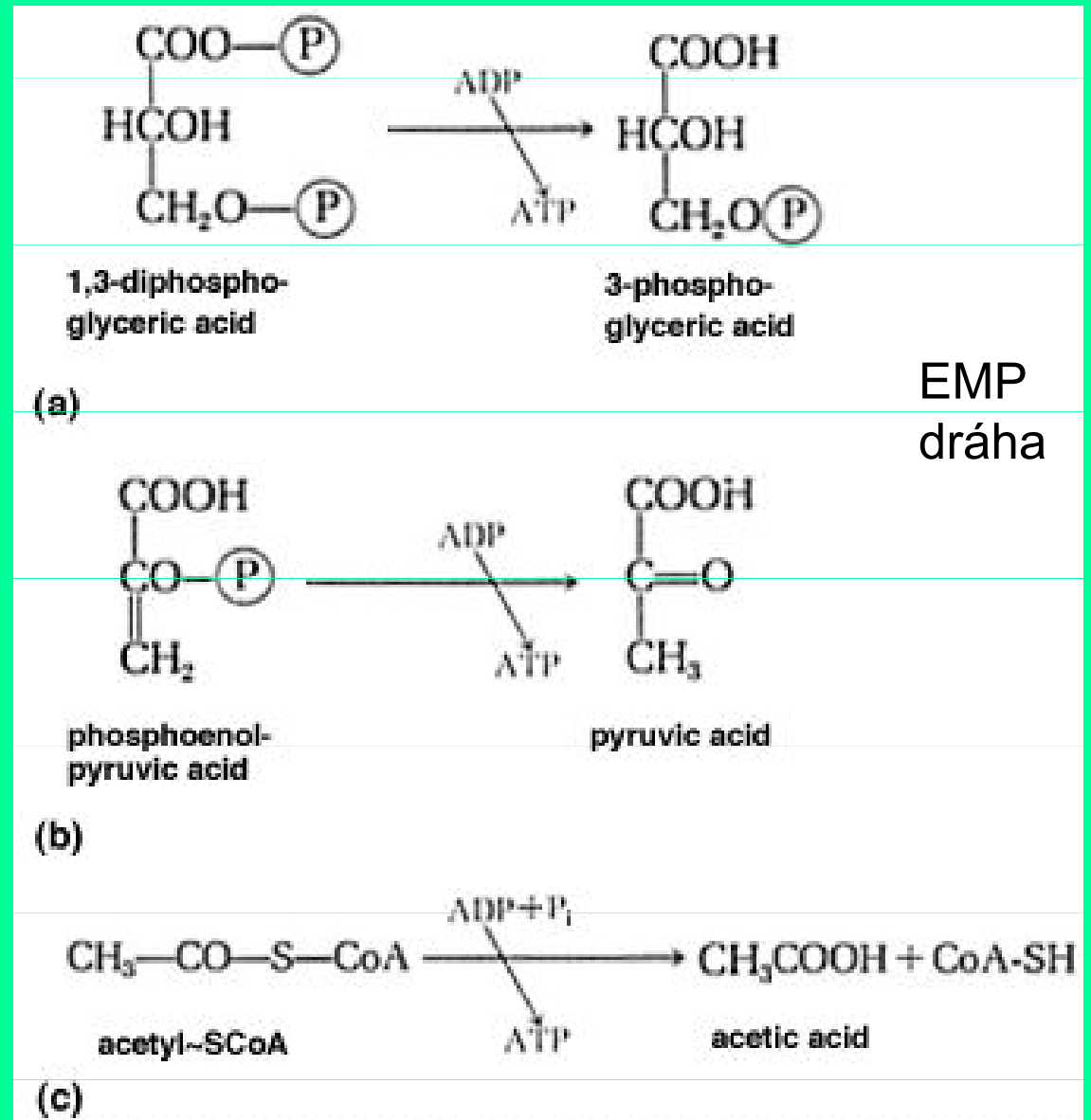
1. Tvorba ATP na úrovni substrátu

- vysokoenergetická molekula fosfátu je přenesena z katabolizovaného organického substrátu na ADP za tvorby ATP

organický fosfát

- enzym - ADP – ATP

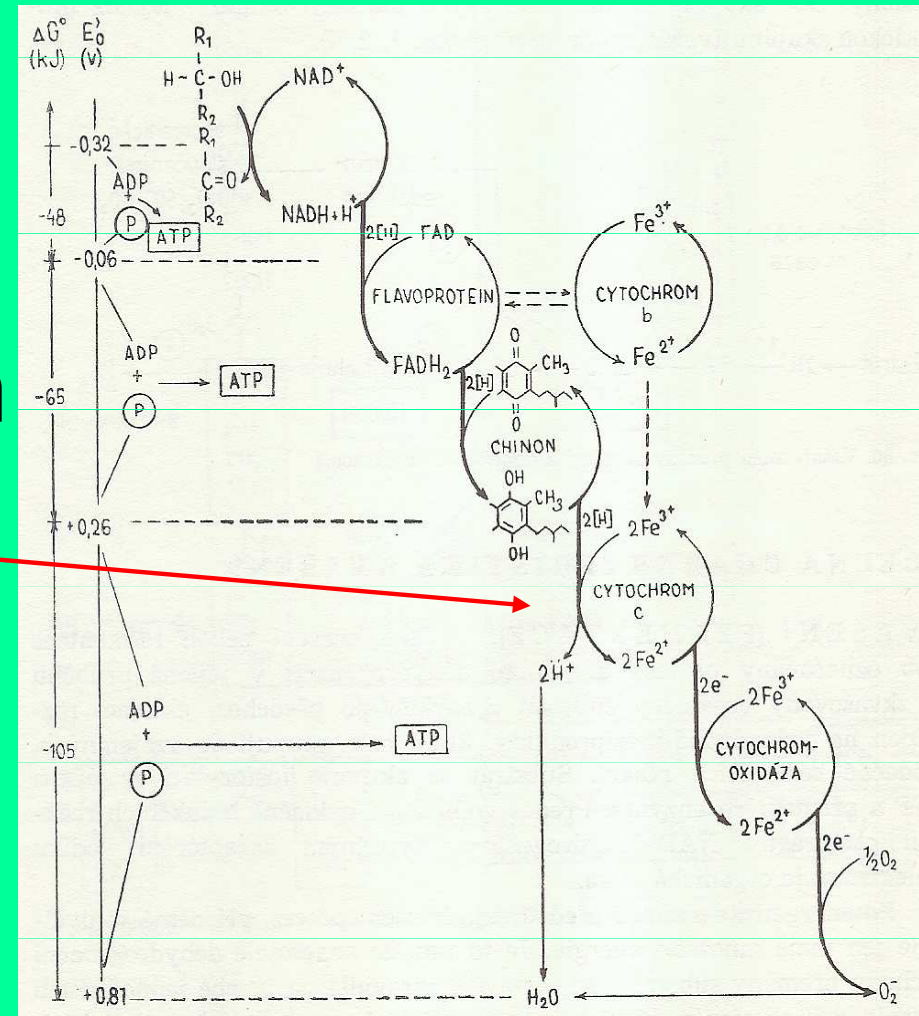
- procesy kvašení, energeticky málo výhodné



Clostridium, Bifidobacterium

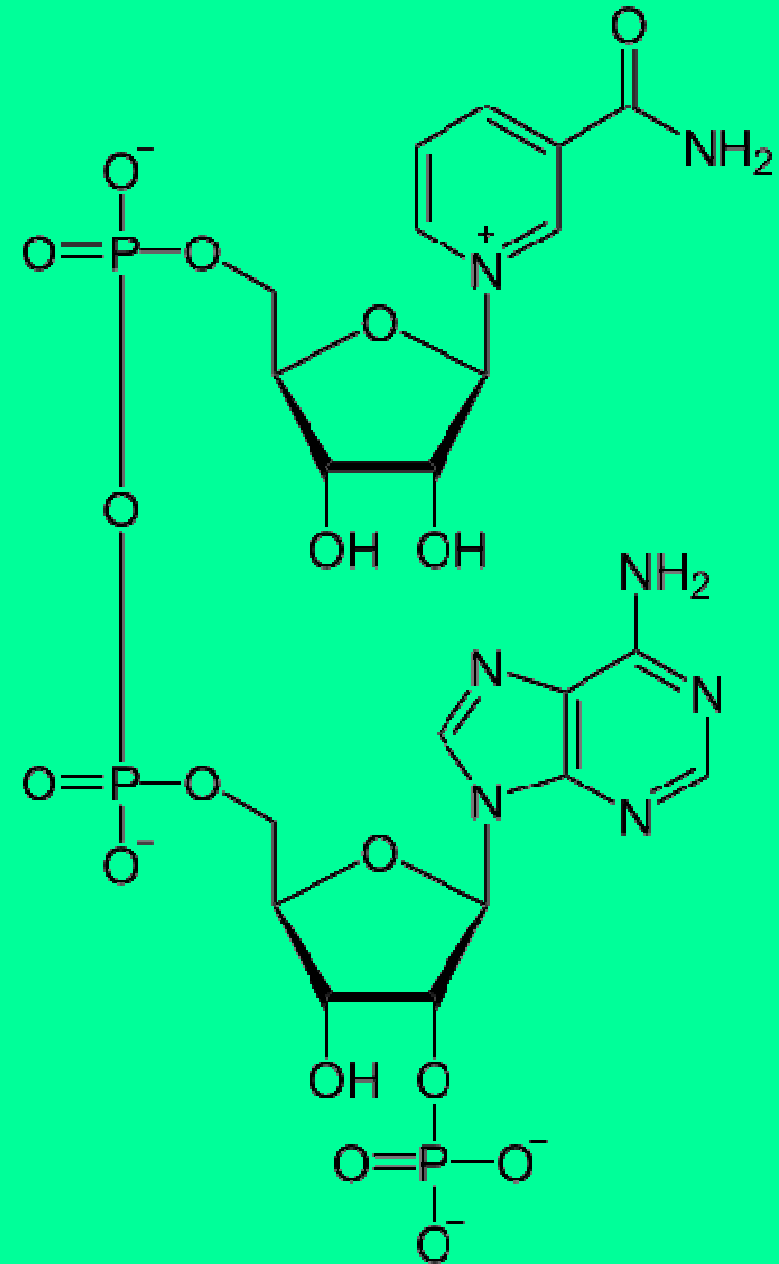
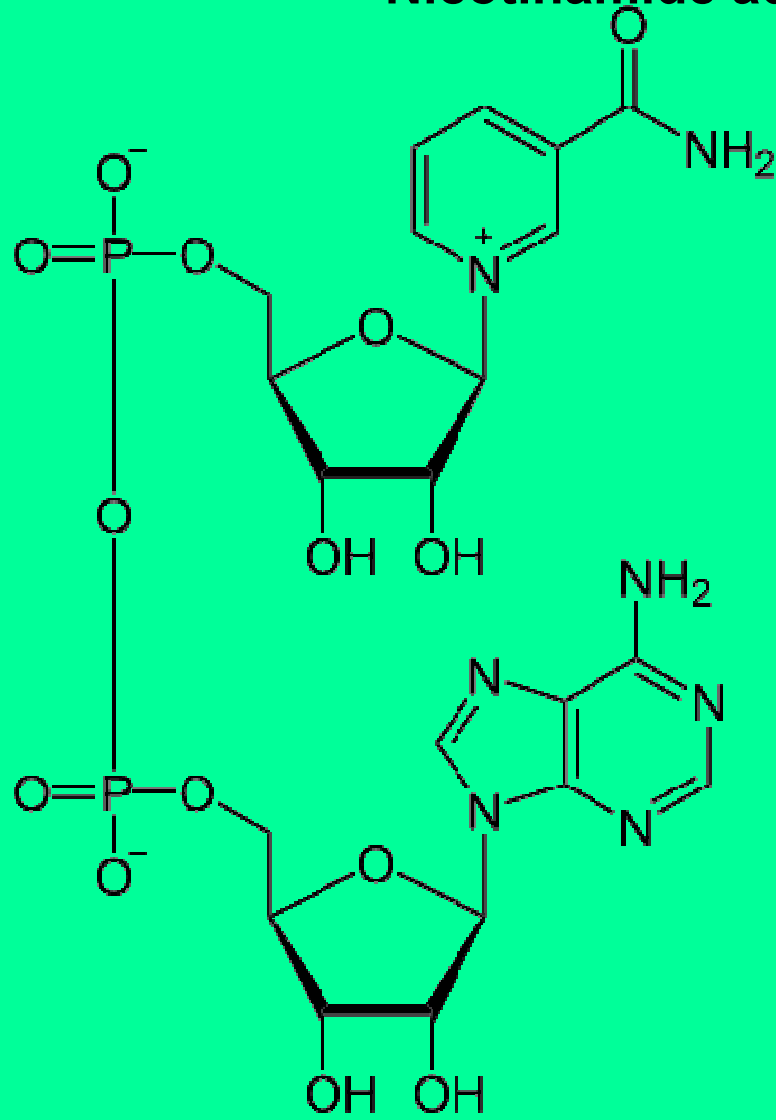
Tvorba ATP na úrovni membrány

- **Respirační řetězec**
- ATP se generuje vytvářením potenciálu na membráně přechodem přes cytochromový řetězec



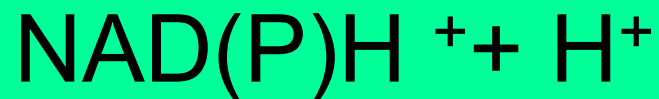
NAD(P)

Nicotinamide adenine dinucleotide



Role NAD(P) v metabolismu

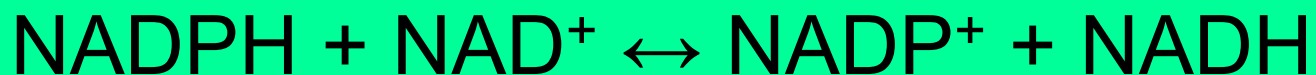
- NAD(P) – univerzální přenašeč vodíku a elektronů
- Jeho redukovaná i oxidovaná forma volně cirkuluje v základní cytoplazmě
- Molekula NAD(P)⁺ je redoxním systémem



$$E'_0 = -0,32\text{V}$$

Role NAD(P) v metabolismu

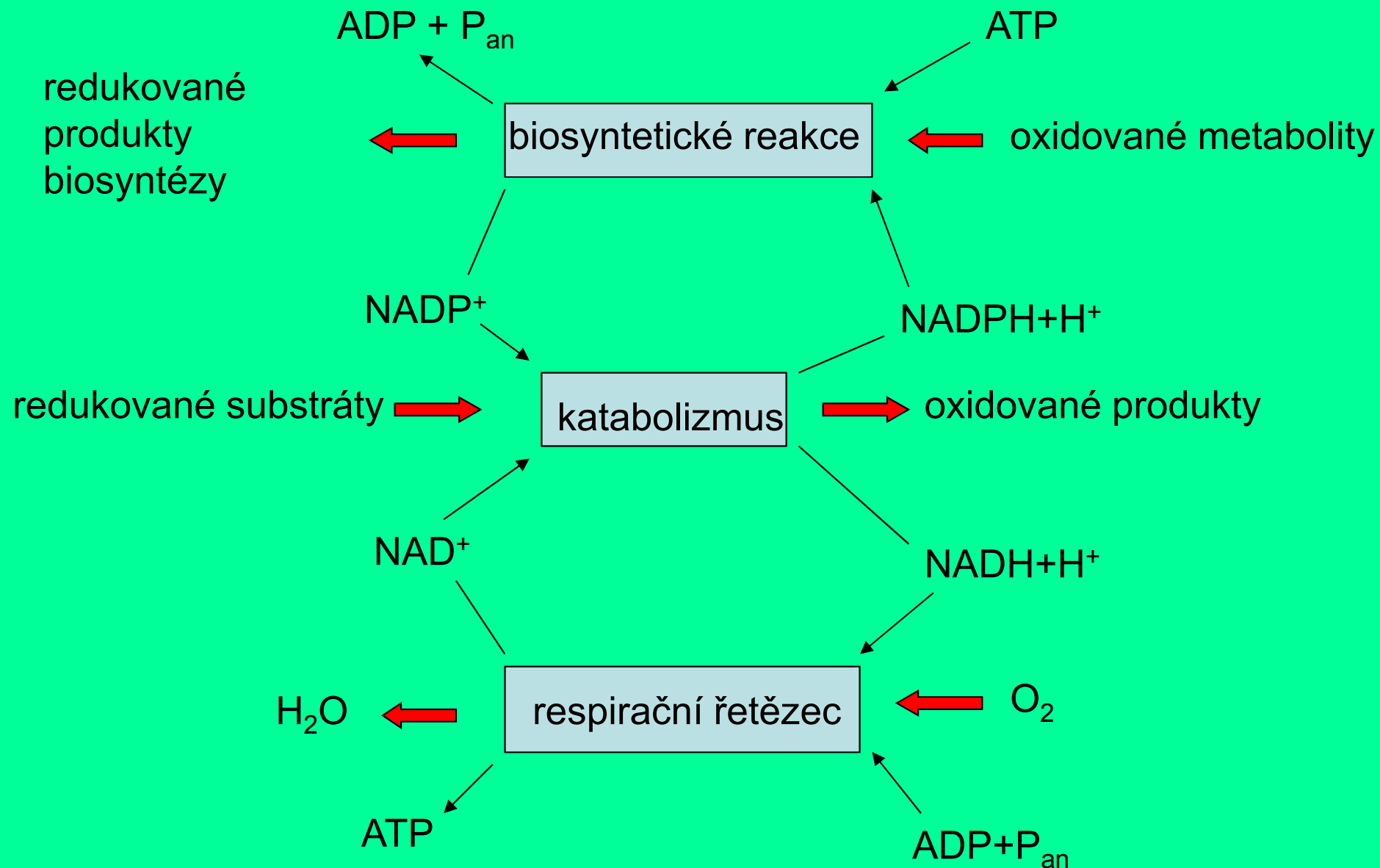
- NAD(P) – je druhým substrátem řady cytoplazmatických dehydrogenáz (laktát dehydrogenáza, glyceraldehyd-3-P dehydrogenáza,)
- Některé dehydrogenázy využívají jako druhý substrát NAD⁺ jiné NADPH⁺
- Bakterie (a některé mikroorganismy a živočišné buňky) obsahují NAD(P)⁺ -**transhydrogenázu**, katalyzující reakci



Role NAD(P) v metabolismu

- **NADH je určeno především k redukci kyslíku a produkci ATP na úrovni membrány (exergonické reakce)**
- **NADPH je určeno především k redukcím v biosyntetických pochodech (endergonické reakce)**

Role NAD(P) v metabolismu



Role NAD(P) v metabolismu

- **Koncentrace**

NAD⁺/NADH

NADP⁺/NADPH

NADH/NADPH

**jsou v buňce konstantní,
jejich velikost se citlivě reguluje,
v závislosti na rychlosti tvorby a
spotřeby**

Metabolizmus

- Rozdělení organismů ve vztahu ke zdrojům energie
- Chemotrofní
- Fototrofní

Vztah chemotrofů ke kyslíku

- Obligátně (striktně) aerobní
zisk energie → **aerobní respirace**
- Obligátně (striktně) anaerobní
zisk energie → **anaerobní respirace**

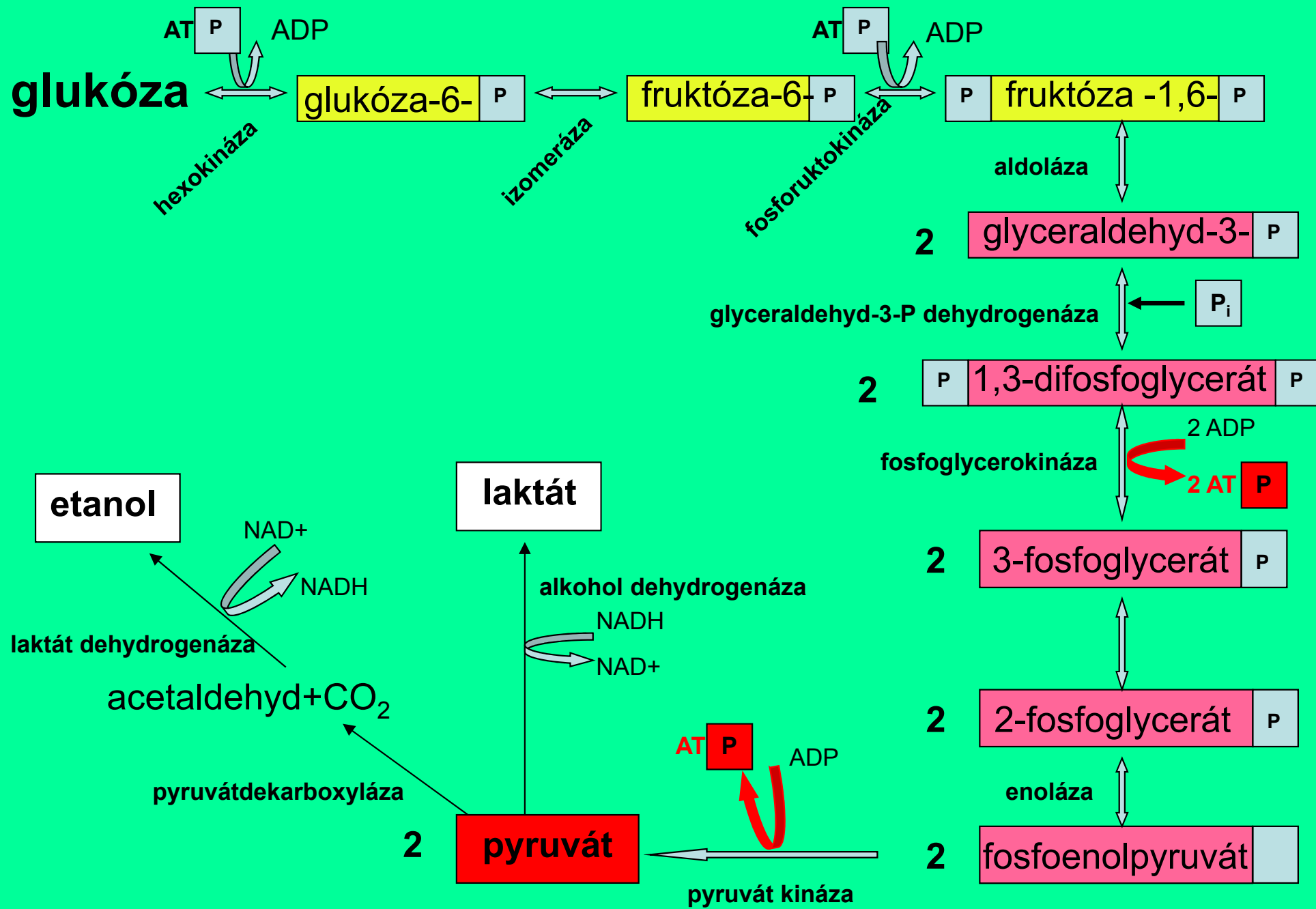
Akceptorem elektronu může být dusičnan, síran či podobné

→ **fermentace**

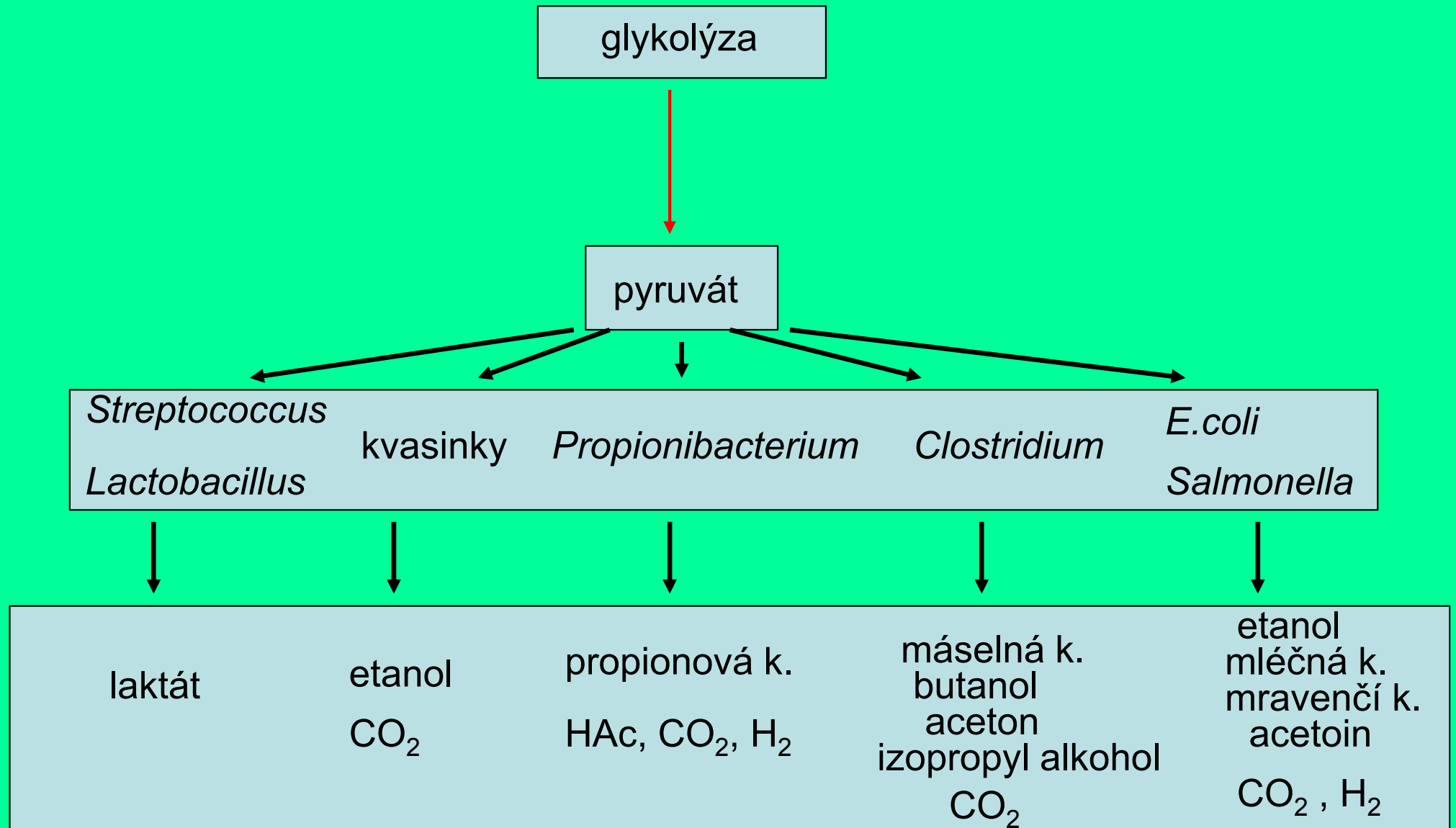
- Fakultativně anaerobní
zisk energie → **aerobní respirace**
→ **anaerobní respirace**
→ **fermentace**

- Mikroaerofilní
- Aerotolerantní

Glykolýza



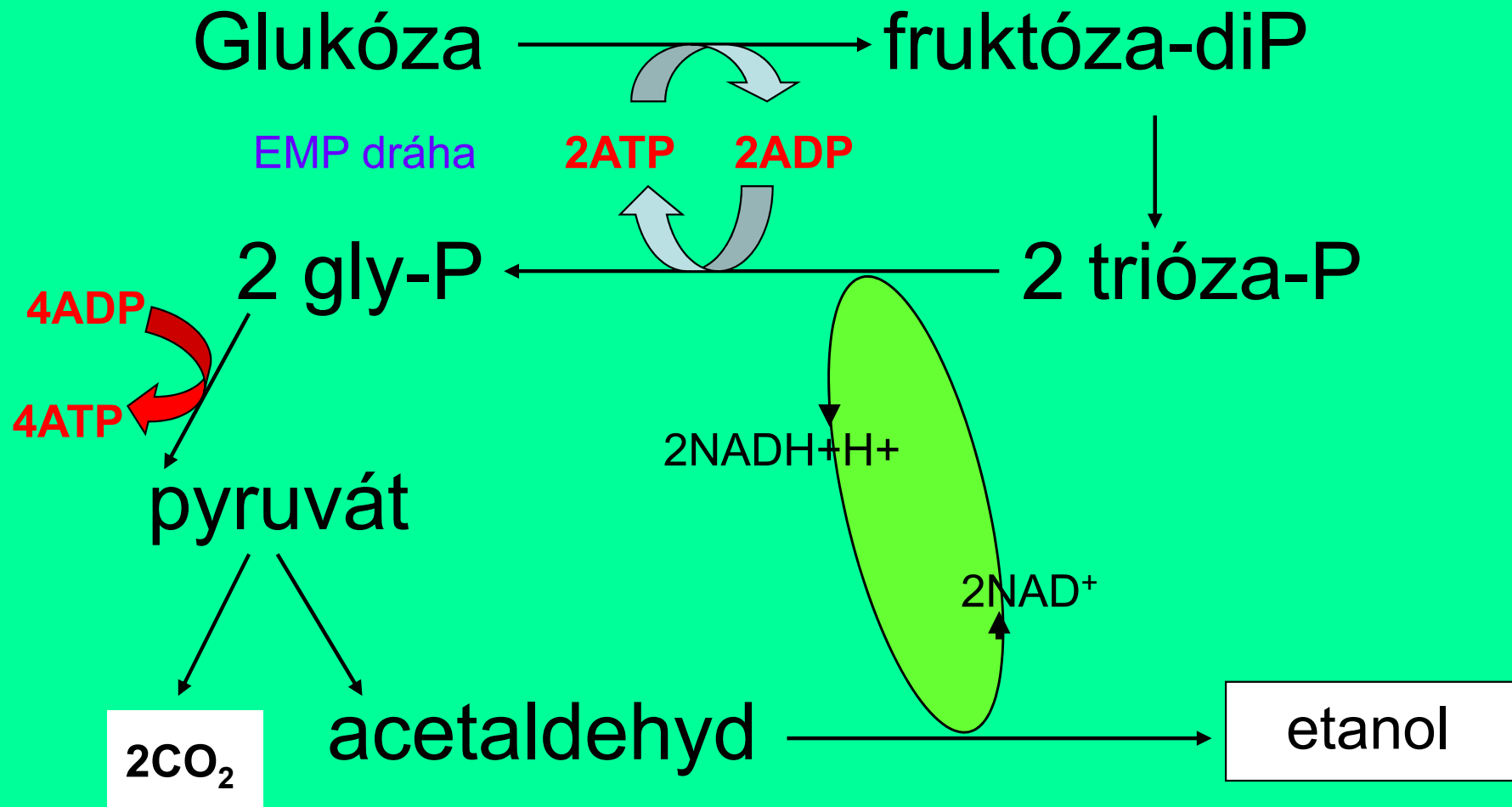
Fermentace – úloha pyruvátu



Fermentace

- **Homofermentativní kvašení** – konečným produktem je jedna látka v převažujícím množství (obvykle více než 90%) - homofermentativní mléčné kvašení – *Lactobacillus acidophilus* → kyselina mléčná (acidofilní mléko)
- **Heterofermentativní kvašení** – konečným produktem je několik metabolitů (některý může převažovat) – máselné kvašení - *Clostridium* → kyselina máselná, butanol, izopropyl alkohol, aceton

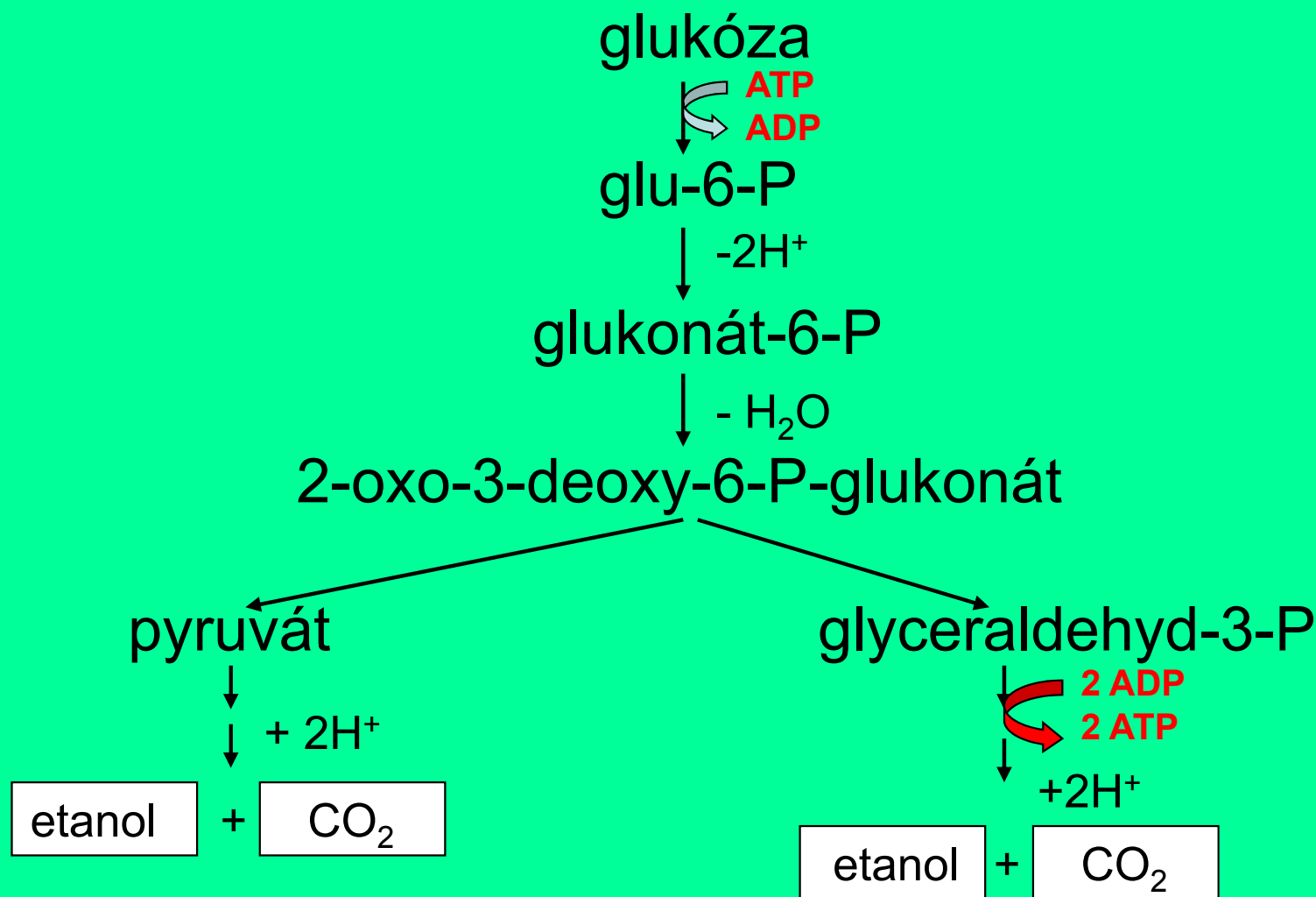
Etanolové kvašení u kvasinek



Čistý výtěžek : 2 ATP/mol glukózy

Etanolové kvašení u bakterií

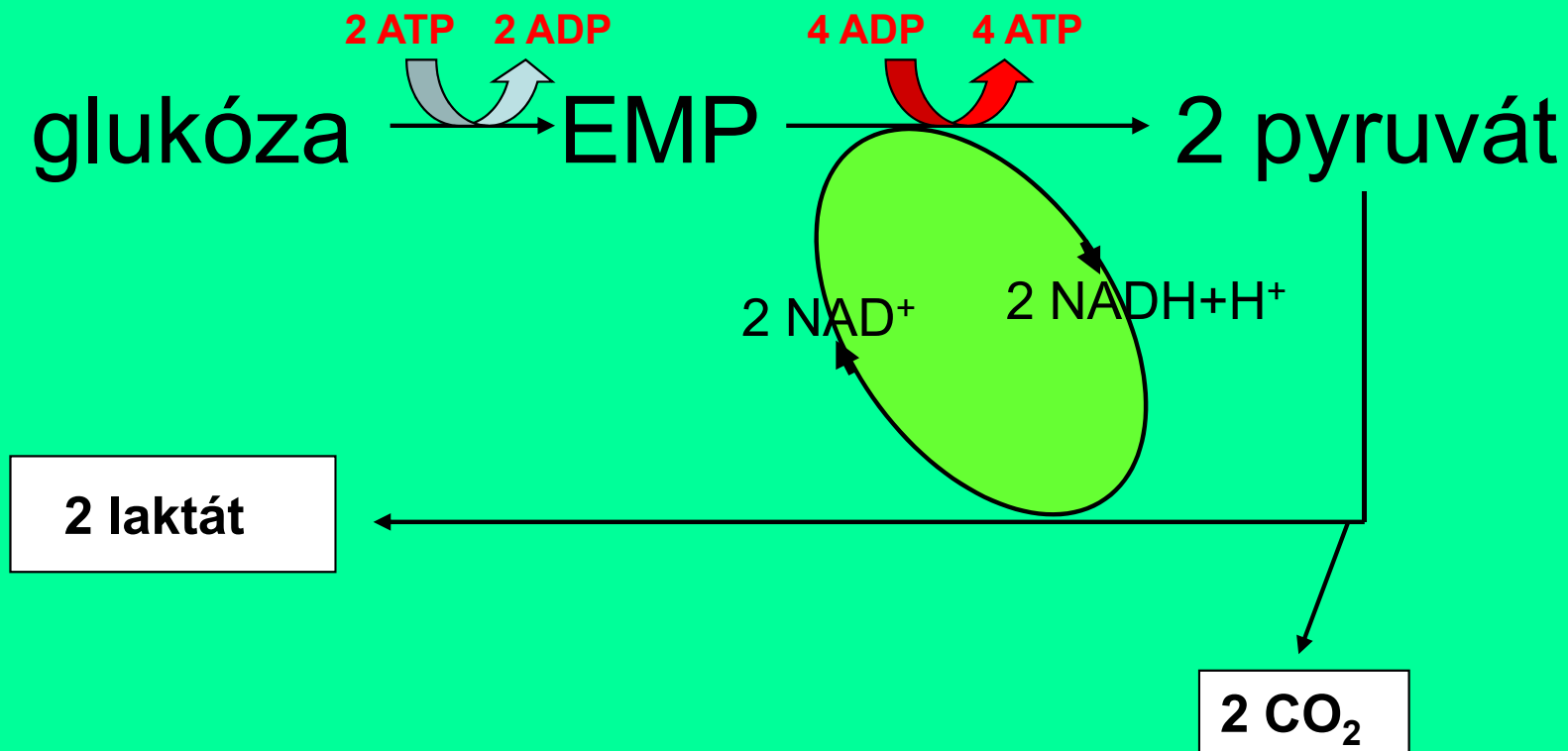
ketodeoxyglukonátová (Entner-Doudorofova) dráha



Čistý výtěžek: 1 ATP/ mol glukózy

Organismus: *Zymomonas*

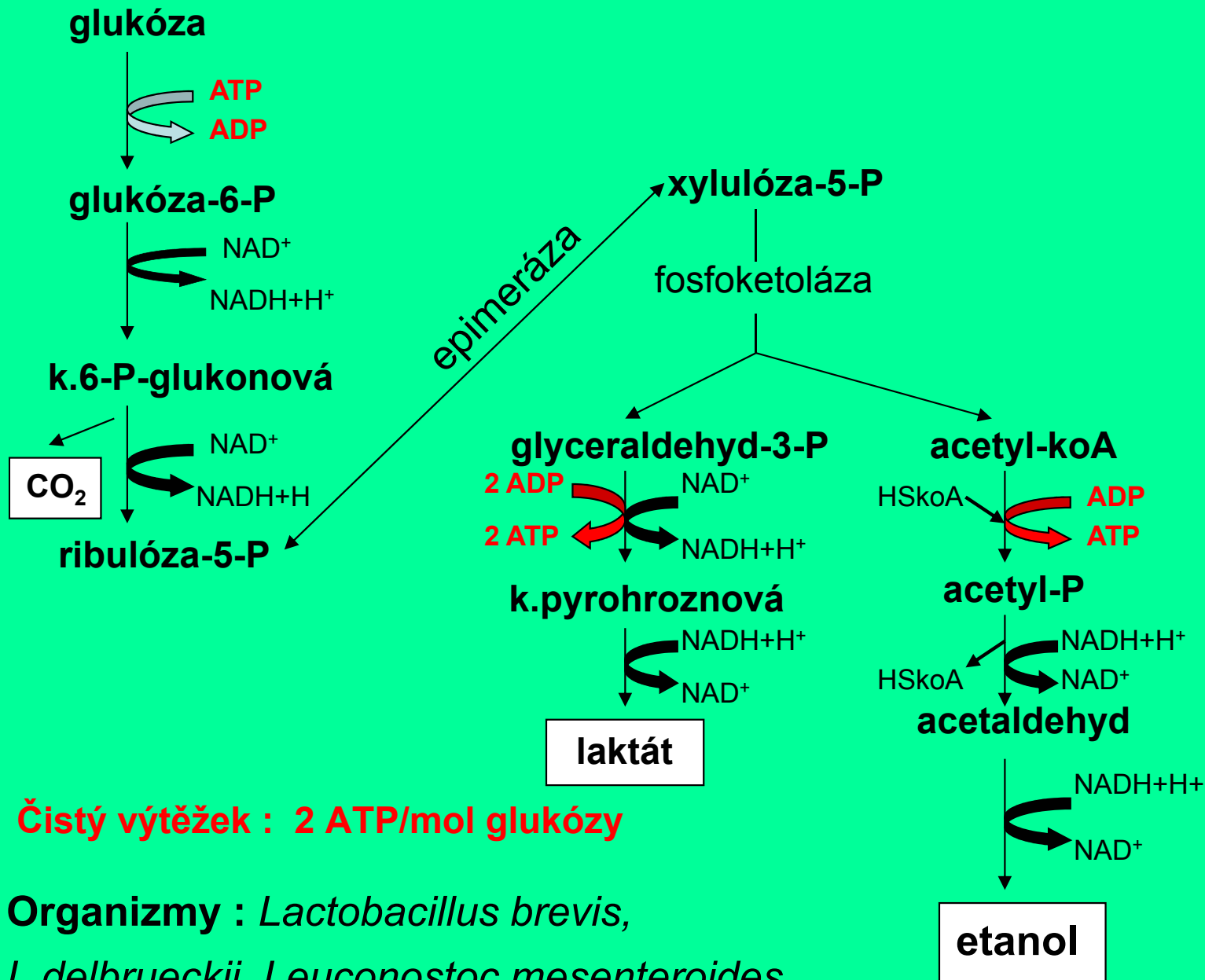
Homofermentativní mléčné kvašení



Čistý výtěžek : 2 ATP/mol glukózy

Organizmy : *Lactobacillus acidophilus*, *L.bulgaricus*, *L.casei*,
L. leichmannii, *Streptococcus lactis*

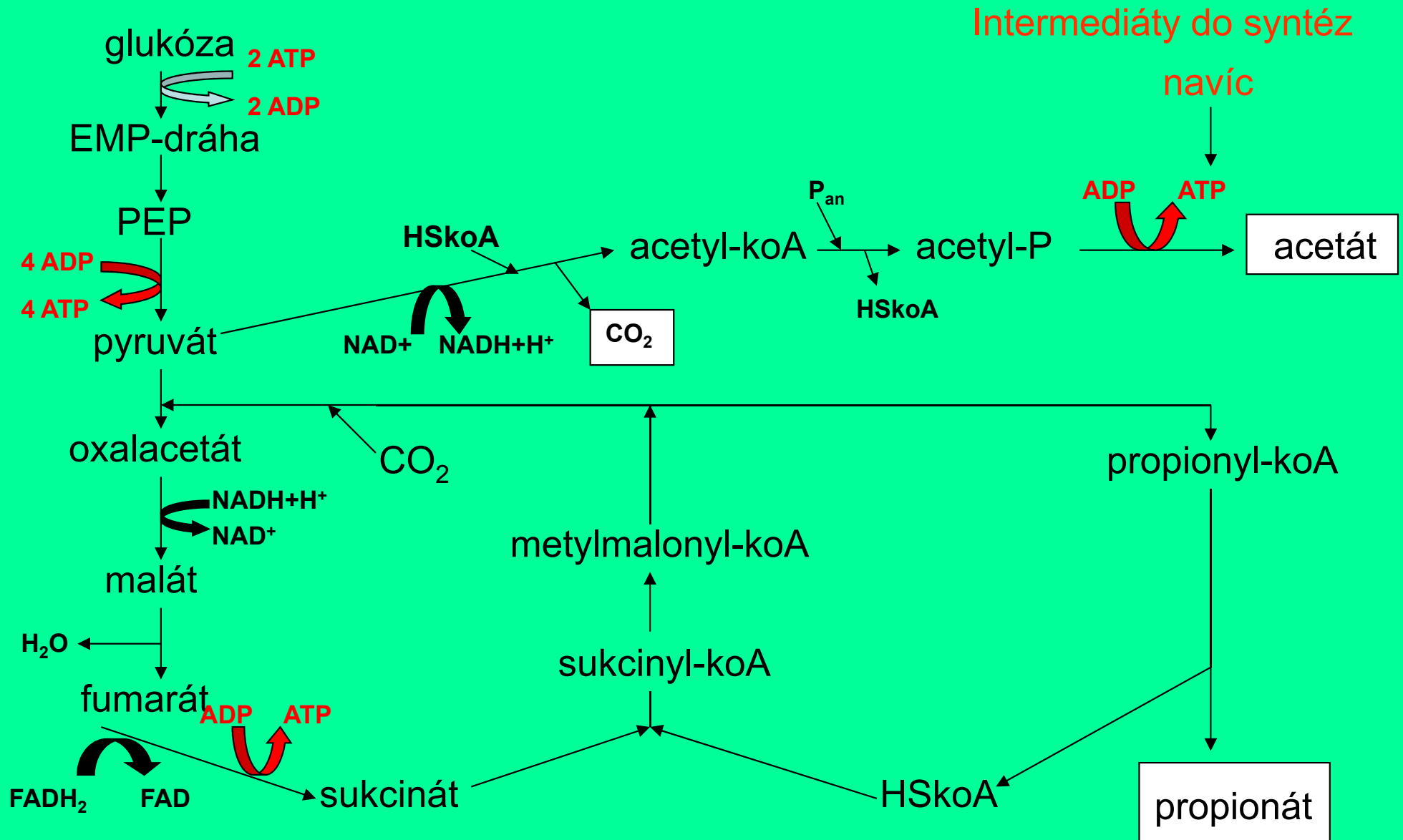
Heterofermentativní mléčné kvašení (fosfoketolázová dráha)



Čistý výtěžek : 2 ATP/mol glukózy

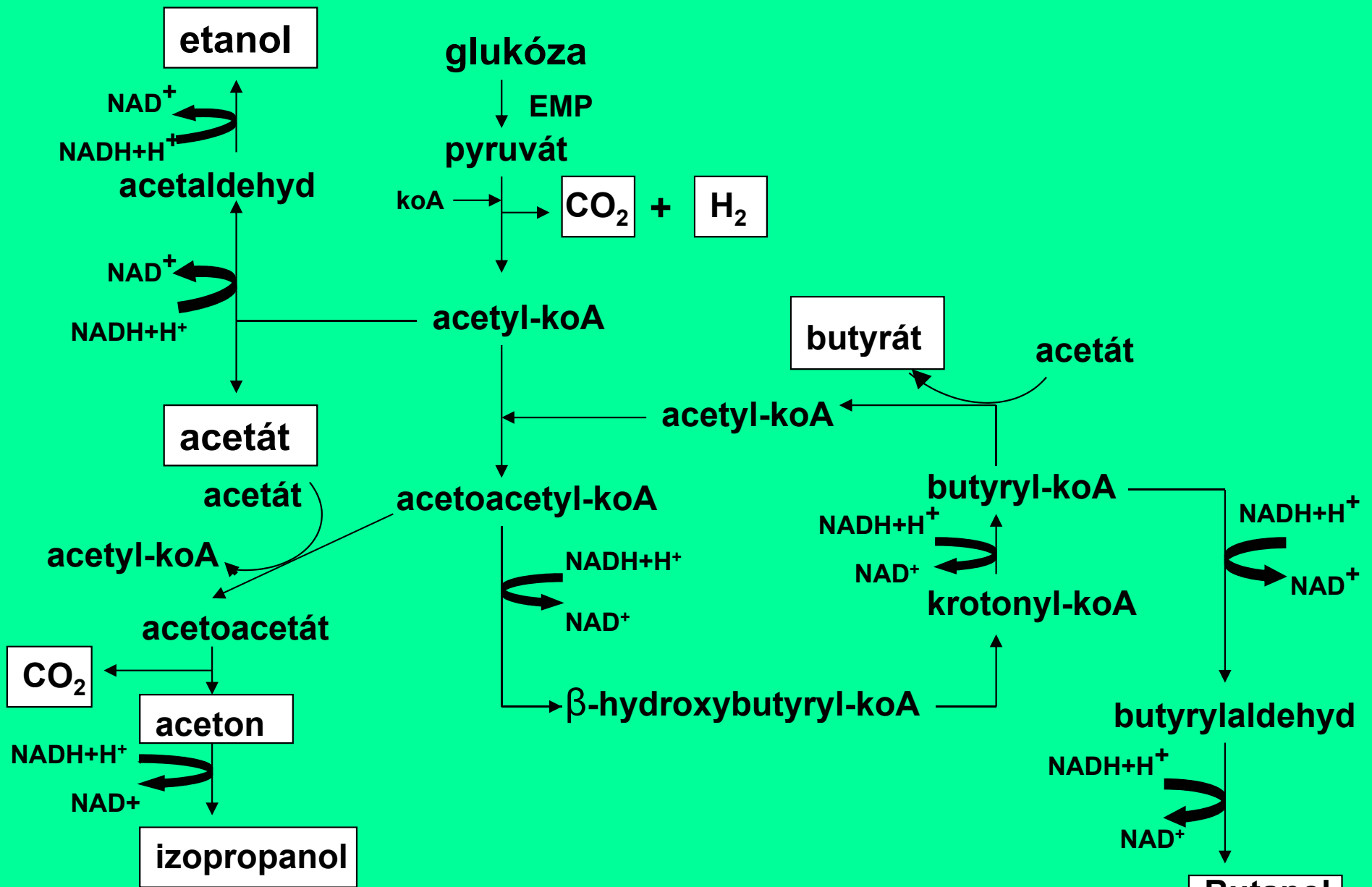
Organizmy : *Lactobacillus brevis*,
L.delbrueckii, *Leuconostoc mesenteroides*

Propionové kvašení



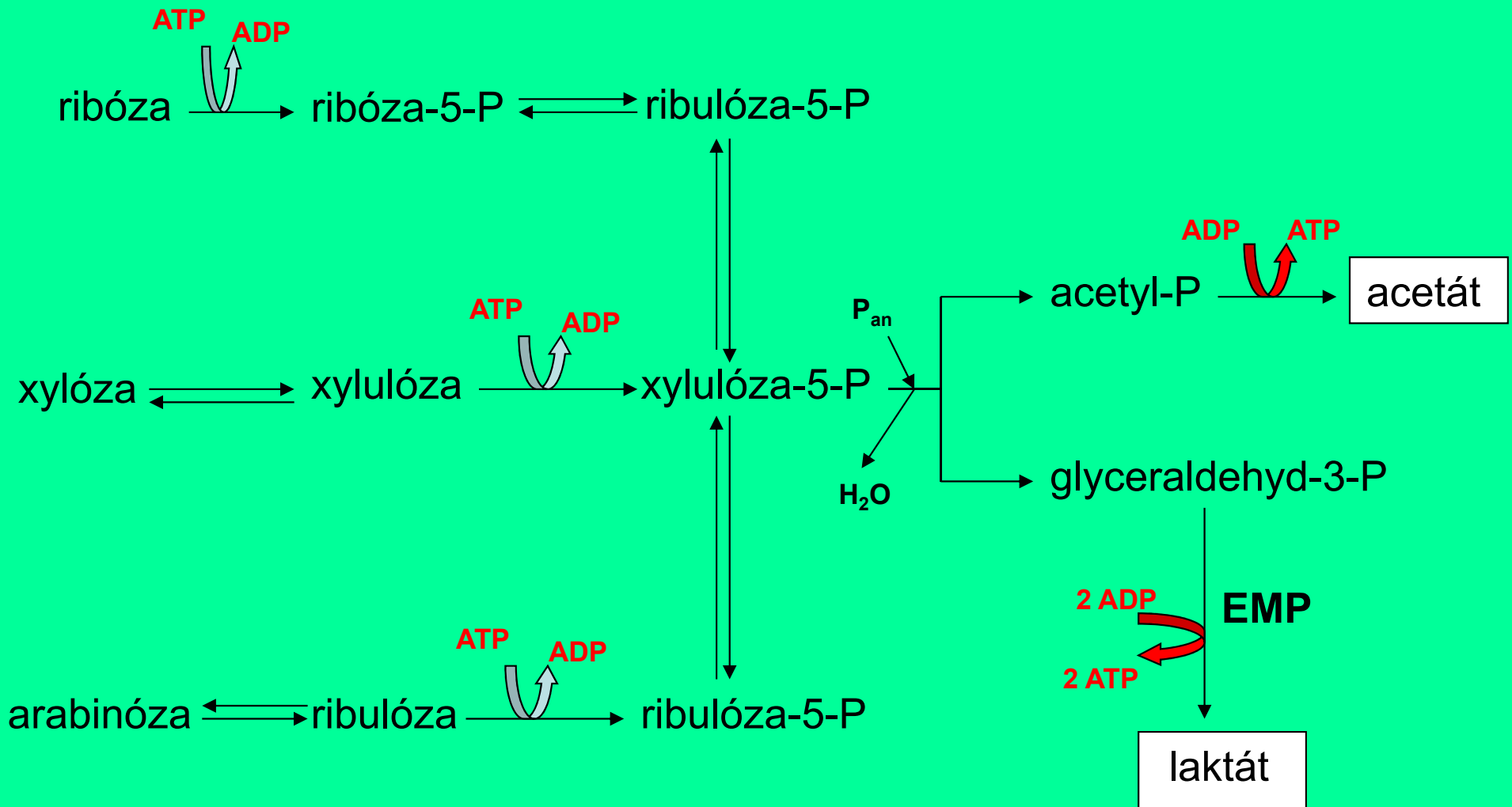
Organizmy: *Propionibacterium*, *Veillonella alcalescens*

Máselné kvašení



Organizmy: *Clostridium butyricum*, *C. butylicum*, *C. acetobutylicum*, *C. saccharoperbutylacetonicum*

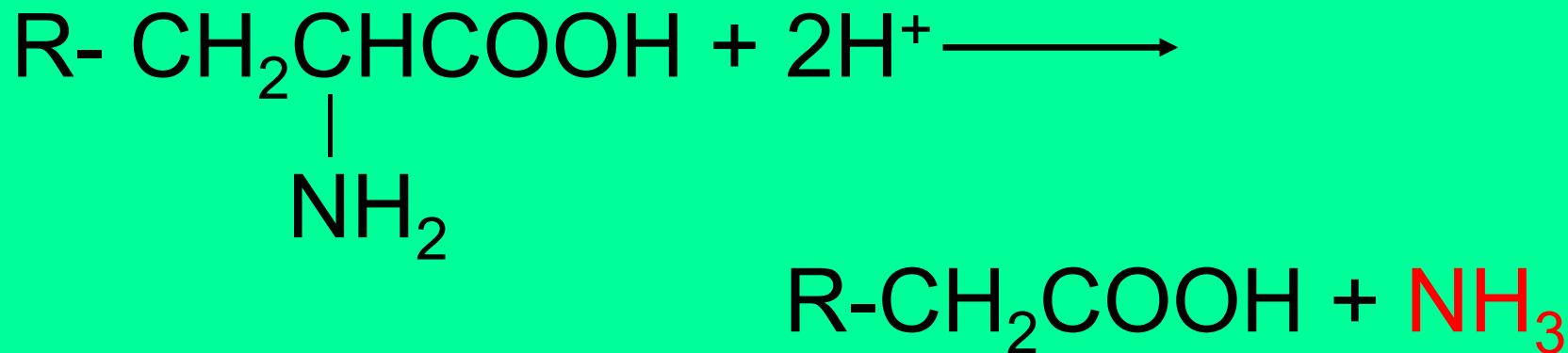
Kvašení pentóz



Organizmy: bakterie mléčného kvašení (výroba produktů mléčné výživy)

Kvašení aminokyselin I.

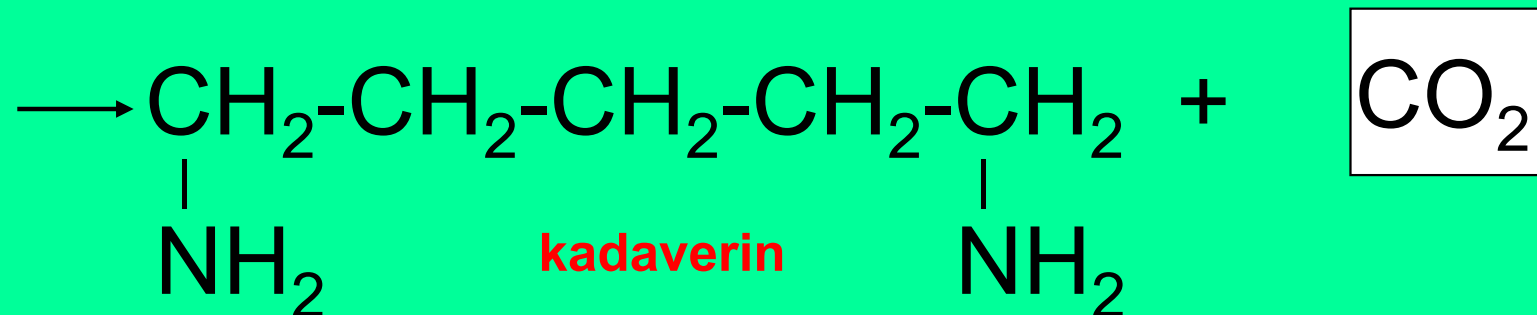
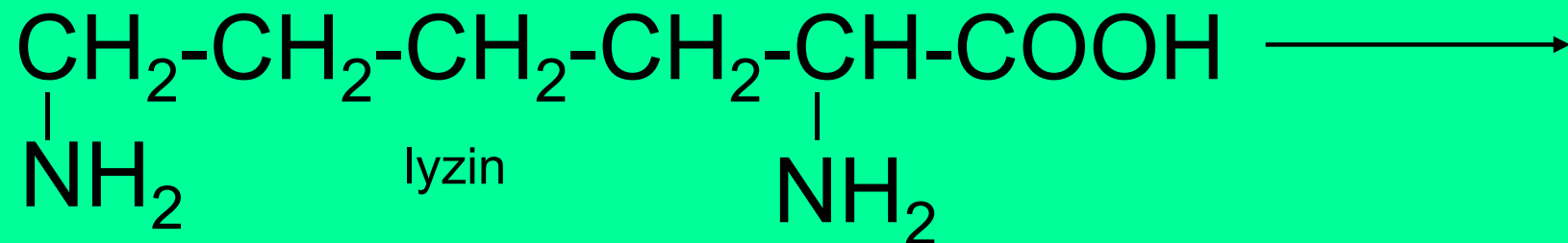
- Zkvašování jednotlivých aminokyselin
- Zahrnuje **reduktivní deaminaci** podle rovnice



Těmto procesům podléhají především: alanin, arginin, histidin, kys. glutamová, glycin, treonin, metionin, prolin, tryptofan

Kvašení aminokyselin II.

- **Anaerobní dekarboxylace** vedoucí k tvorbě aminů. Proces je katalyzován substrátově specifickými dekarboxylázami. Reakce jsou příznačné zvláště pro diaminokyseliny.



Kvašení dvojic aminokyselin

- **Sticklandovy reakce** (Stickland u *Clostridium* – r.1939)
- Energie je získávána oxidoredukací mezi dvěma vhodnými aminokyselinami
nebo
aminokyselinou a bezdusíkatou látkou

Kvašení polysacharidů

- Glykogen a škrob \longrightarrow *amylázy* \longrightarrow
oligosacharidy \longrightarrow maltóza \longrightarrow
maltáza \longrightarrow glukóza (*Clostridium*,
Bacillus)
- Celulóza \longrightarrow *celuláza* \longrightarrow celobióza
celobiáza \longrightarrow glukóza (*Clostridium*)
- Pektin \longrightarrow *protopektinázy* \longrightarrow celulóza +
protopektiny \longrightarrow kys. polygalatouronová \longrightarrow
pektináza \longrightarrow metanol +
kys. galaktouronová + arabinóza + galaktóza +
xylóza \longrightarrow kys. máselná + octová + CO₂ + H₂
(*Clostridium*, *Bacillus macerans*)

Tvorba energie na úrovni membrány

- **Aerobní respirace**
- Anaerobní respirace
- Fototrofie

Tvorba energie na úrovni membrány

- **Aerobní respirace**

- neúplná oxidace substrátu

- primárních alkoholů

- glukózy

- úplná oxidace substrátu

- Krebsův cyklus

- Cyklus dikarbonových kyselin

- Cyklus kyseliny glyoxalové

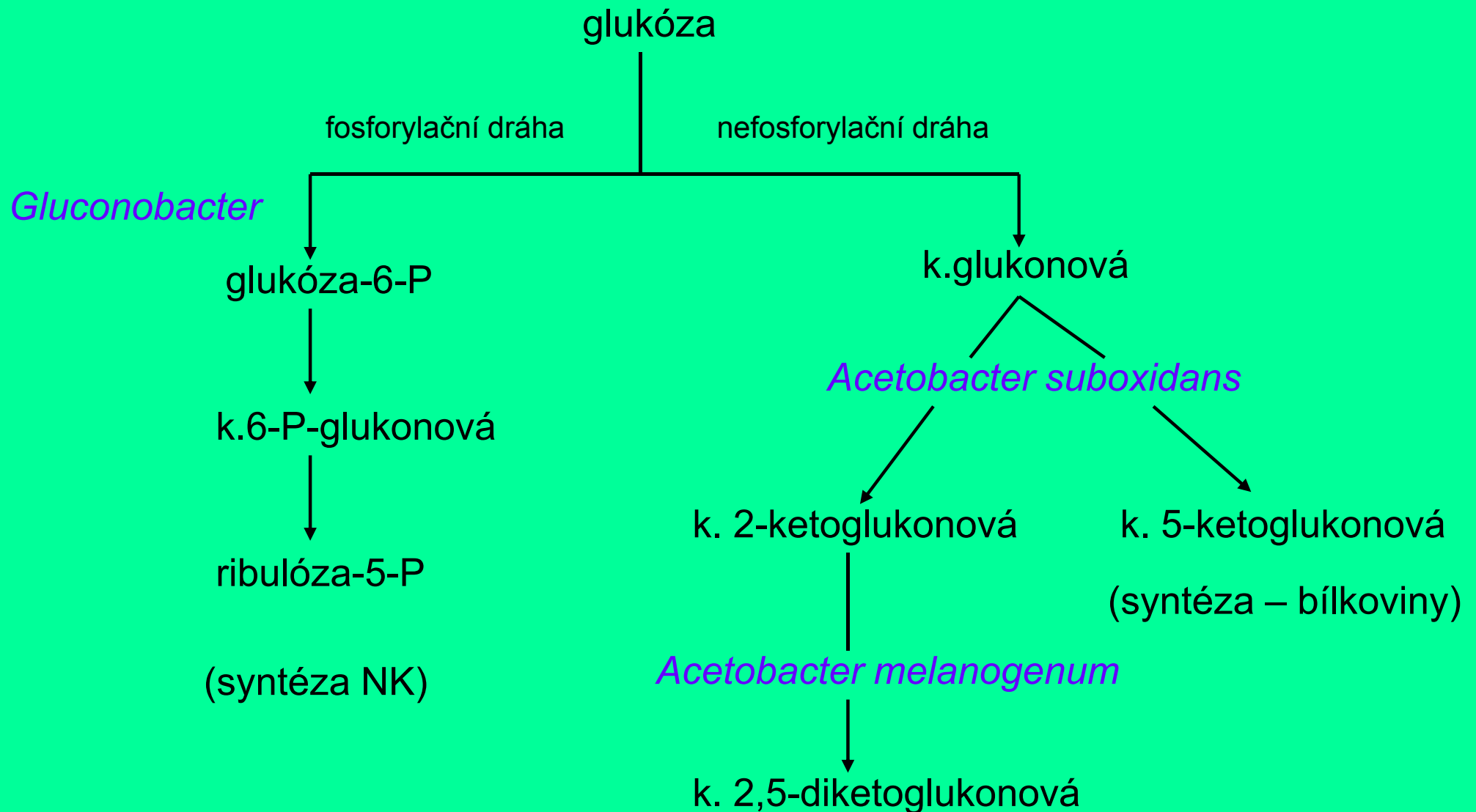
- Pentózový cyklus

- (hexózomonofosfátová dráha)

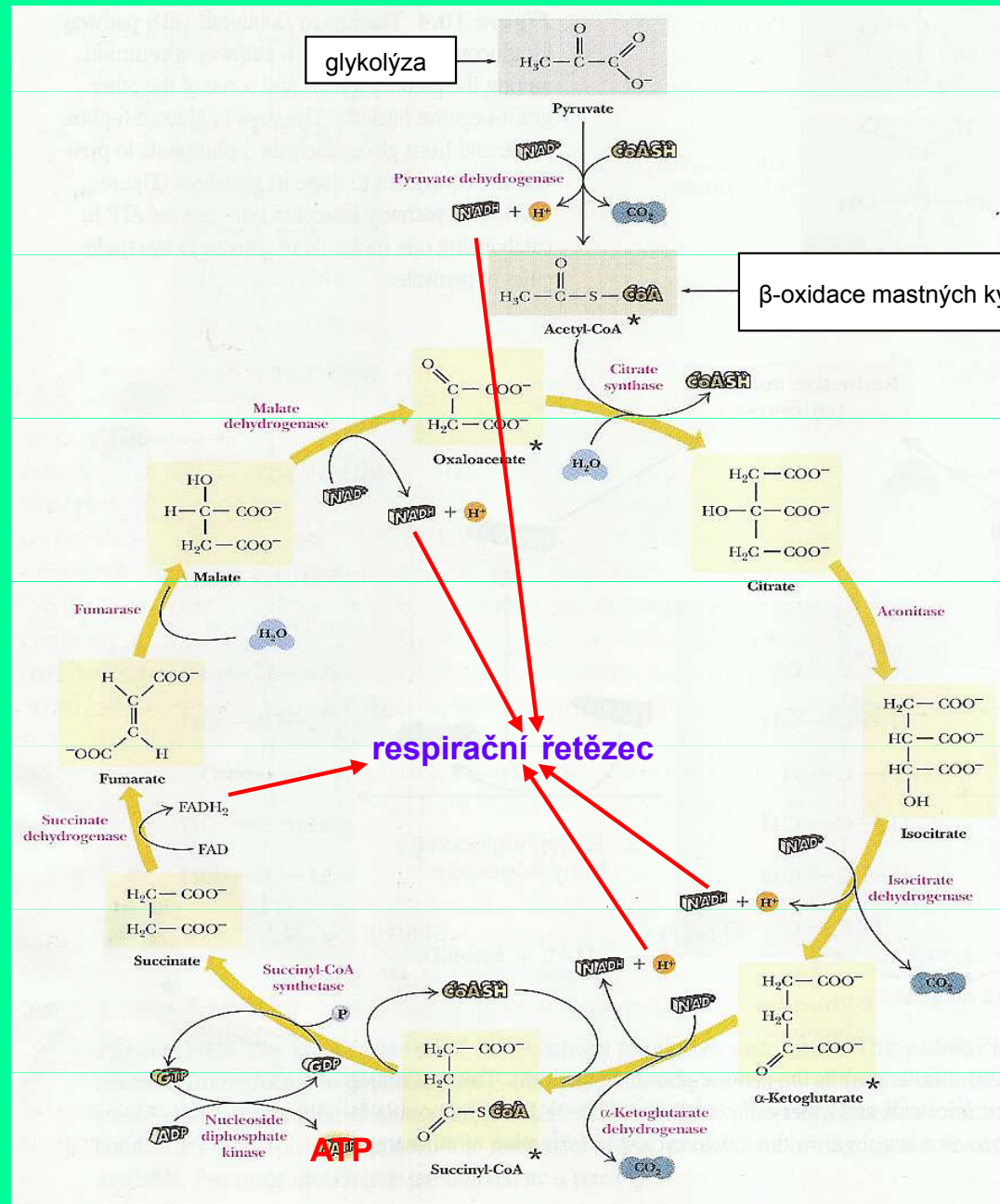
Neúplná oxidace alkoholů

- Oxidace primárních alkoholů \longrightarrow
kyseliny
- Oxidace sekundárních alkoholů \longrightarrow
ketony

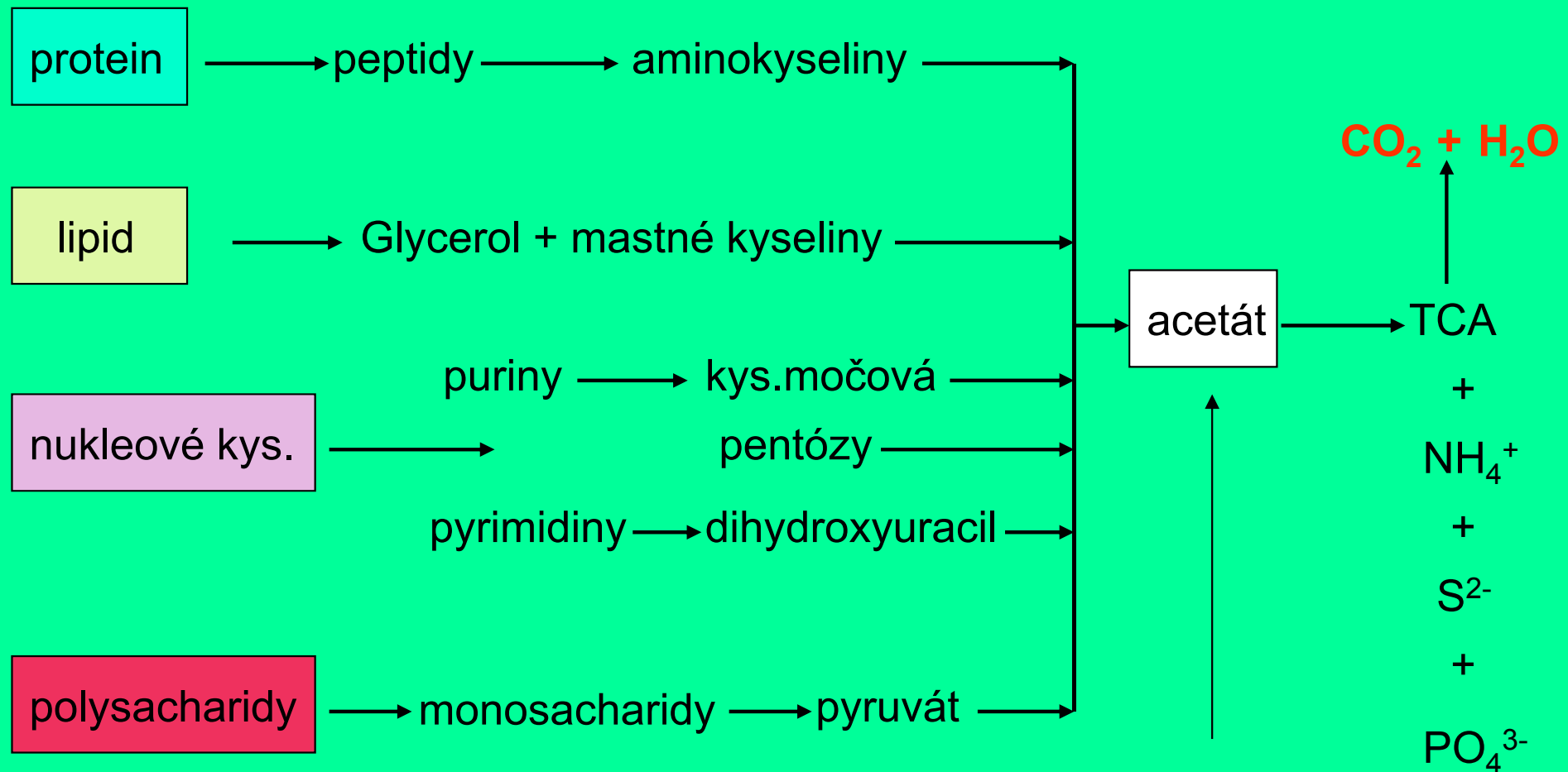
Neúplná oxidace glukózy



Úplná oxidace substrátu Krebsův cyklus



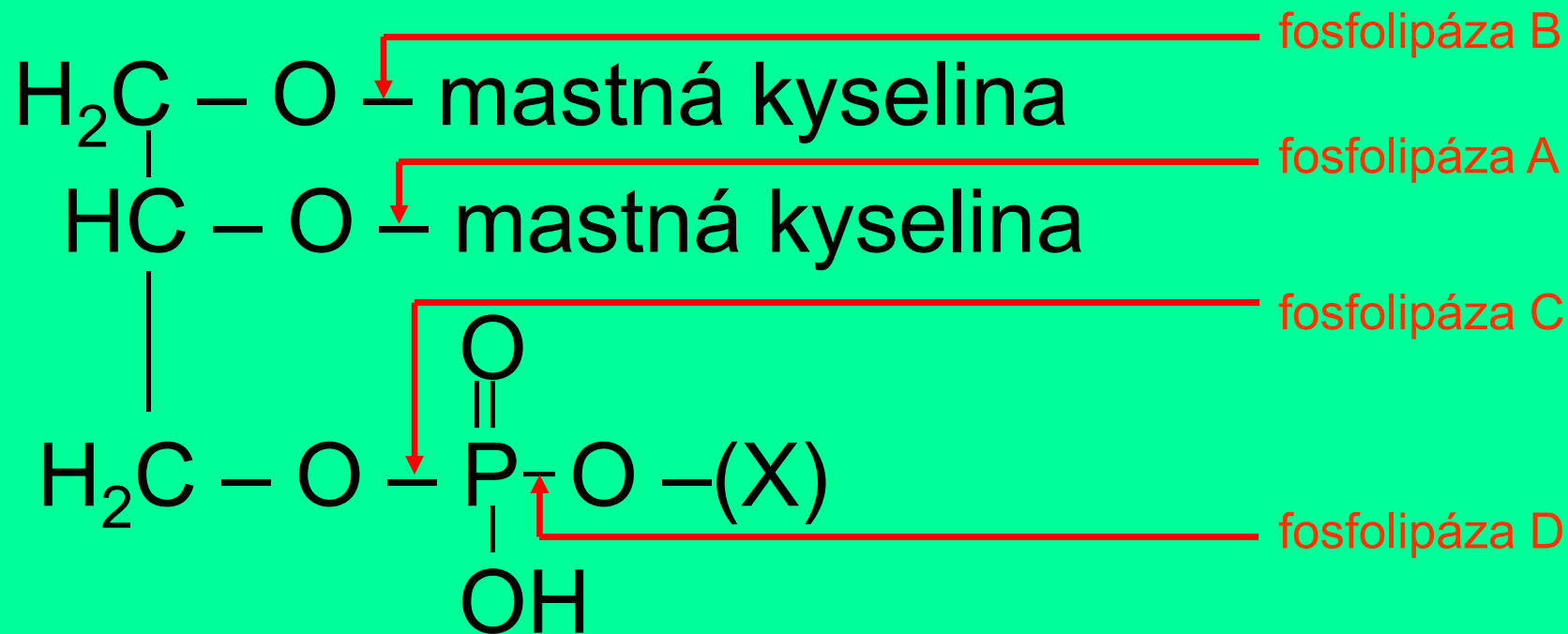
Oxidace biomolekul



Hydrolázy vně buňky

toto do buňky

Aerobní oxidace lipidů



Oxidace polysacharidů

- Prvním krokem je hydrolýza na mono- nebo di-sacharidy

Oxidace škrobu a glykogenu

- Škrob i glykogen je tvořen proměnlivým podílem

amylózy – lineární řetězec α -1,4-glukozid

a

amylopektinu – rozvětvený řetězec α -1,4-glukozid s větvením 1,6

*hydrolýza větvení vazby 1,6 → specifický enzym α -1,6-glukozidáza

- α -amyláza, β -amyláza, γ -amyláza
 - α -amyláza štěpí škrob na kterémkoliv místě
 - β -amyláza štěpí škrob z obou konců
 - γ -amyláza štěpí z neredukujícího konce po glukózových jednotkách
- α -amyláza + amylóza \longrightarrow dextrin
 \longrightarrow maltóza + glukóza (6:1)
- Účinek α -amylázy na amylopektin závisí na stupni větvení (vazby 1,6 nehydrolyzují)

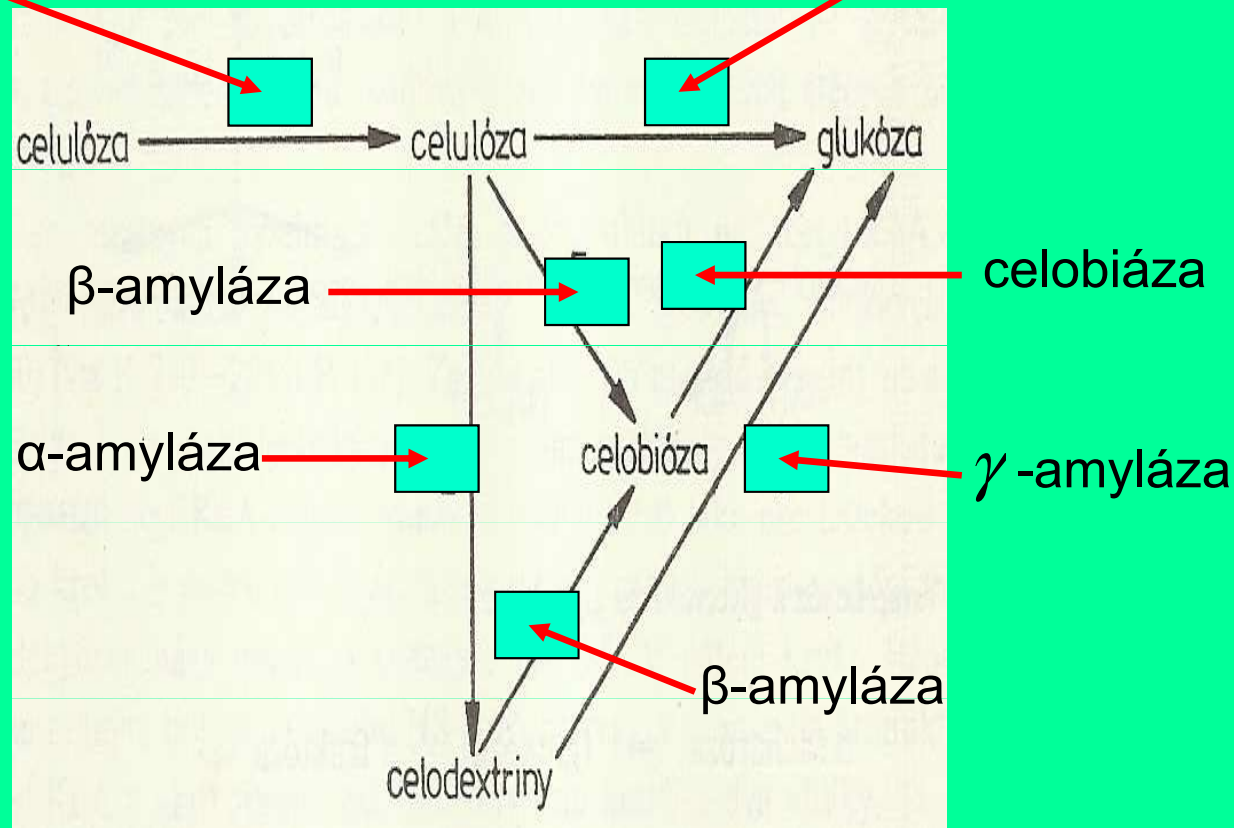
Oxidace škrobu a glykogenu

- Fosforolytické štěpení řetězce s vazbami 1,4
Začíná u neredukujícího konce působením
polysacharidfosforylázy →
 α -D-glukóza-1-fosfát →
fosfoglukomutáza →
glukóza-1,6-difosfát

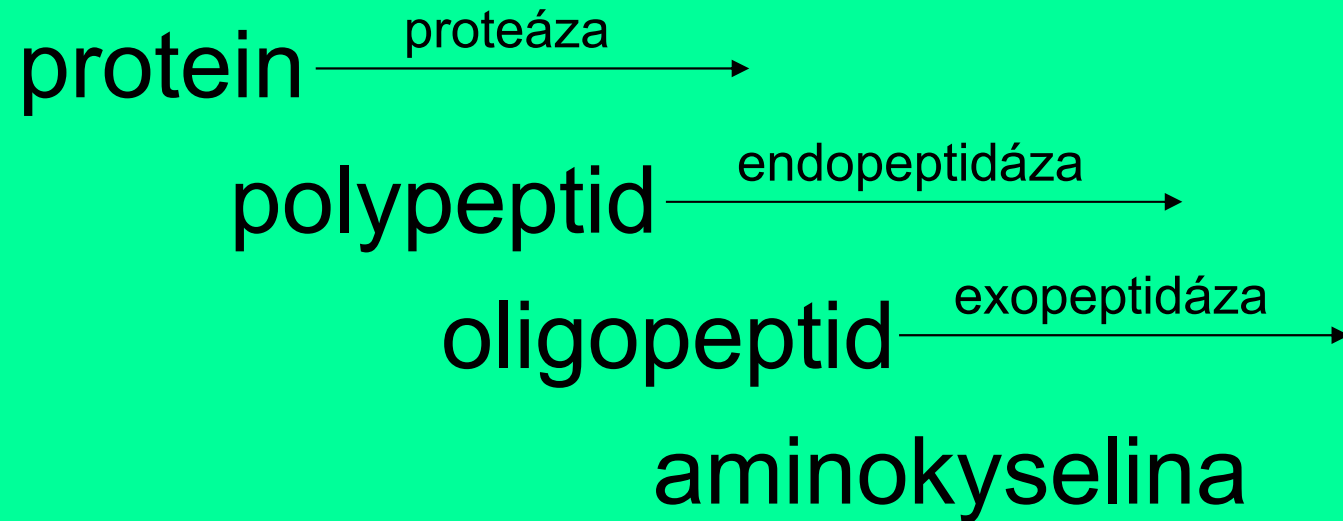
Štěpení celulózy (vazba 1,4) celulázovým komplexem

prehydratační faktor
(aktivační faktor,
bobtnací faktor)

γ -amyláza



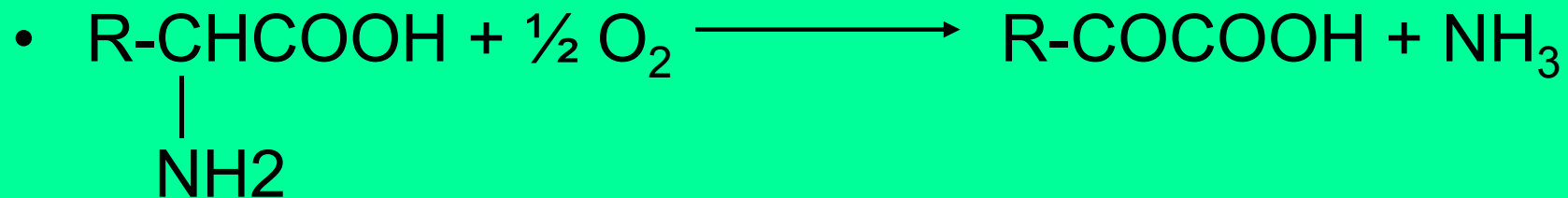
Štěpení bílkovin



Atak z aminového konce
bílkovinného řetězce

Oxidace aminokyselin

- Oxidace aminokyselin v aerobních podmínkách začíná **oxidativní deminací**



- Aminokyseliny mohou být oxidovány jednotlivě nebo několik současně

Anaerobní respirace

Anaerobní respirace

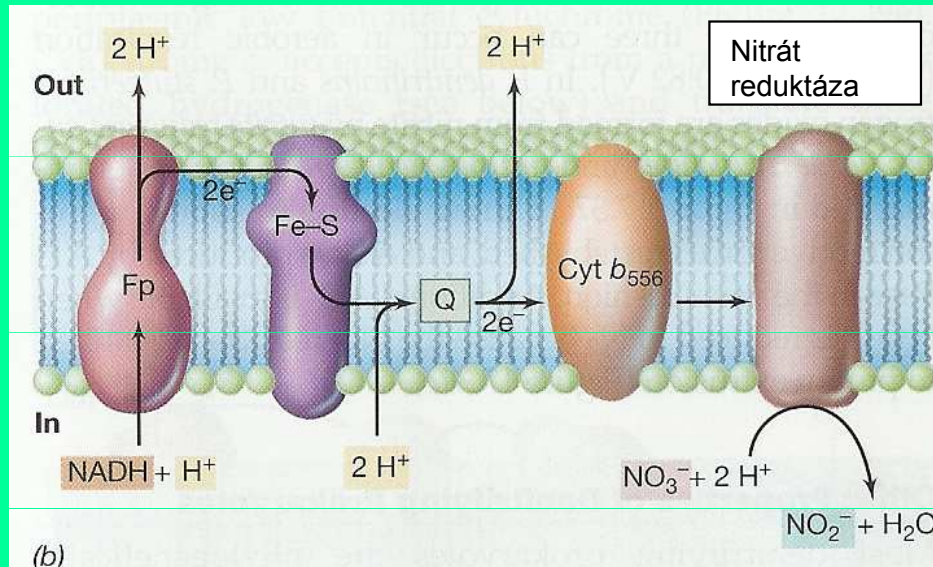
- Při anaerobní respiraci je organický substrát oxidován přenosem protonů a elektronů na kyslík vázaný v anorganické látce
- Elektrony na vázaný kyslík - uskutečňují příslušné cytochromreduktázy
- Tímto způsobem získávají energii chemoorganotrofní bakterie, vyjimečně chemolitotrofní
- U chemoorganotrofních bakterií je organická látka současně zdrojem energie i uhlíku

Anaerobní respirace

Procesy anaerobní respirace

- * redukce dusičnanů na dusitany
- * denitrifikace
- * desulfurikace
- * redukce CO_2 (metanové kvašení)

Redukce dusičnanů na dusitany



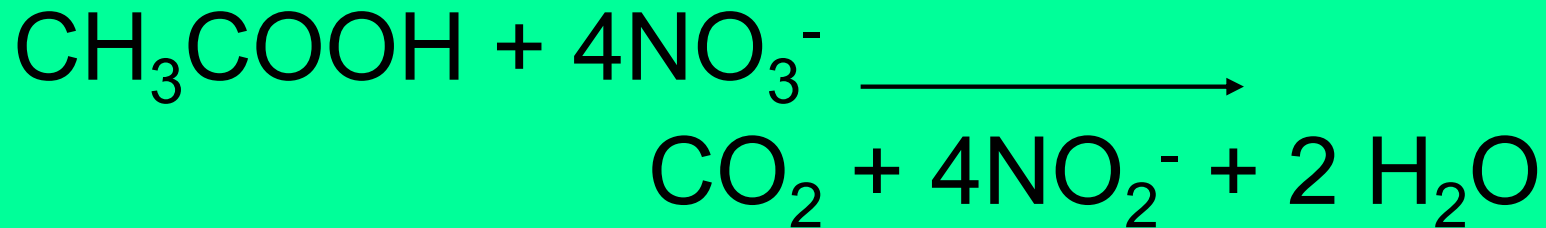
- Nitrát reduktáza je membránově vázaný enzym obsahující molybden
- Syntéza nitrát reduktázy je striktně blokována molekulovým kyslíkem
- Na 1 mol NO_3^- - 2 ATP
- Hromadění vytvořeného dusitanu potlačuje růst bakterií
- Organizmy: *E.coli*, *Proteus vulgaris*, *Staphylococcus aureus* a další fakultativně anaerobní bakterie

Fp - flavoprotein

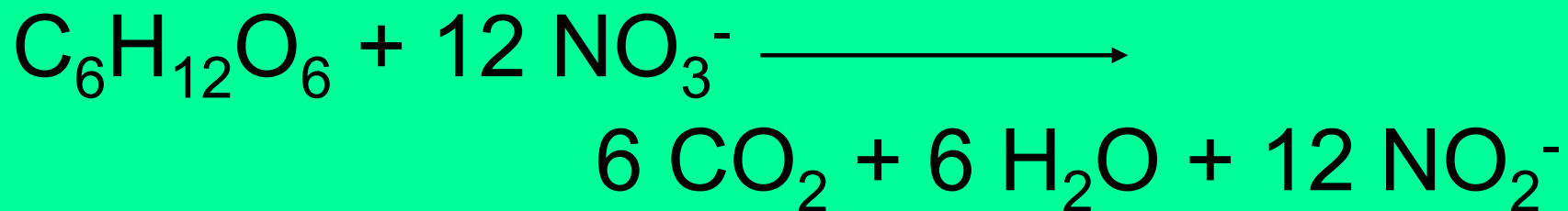
FeS – bílkovina s nehemově vázaným Fe-S

Redukce dusičnanů na dusitany

- Zdrojem vodíku a elektronů může být jakákoliv organická látka

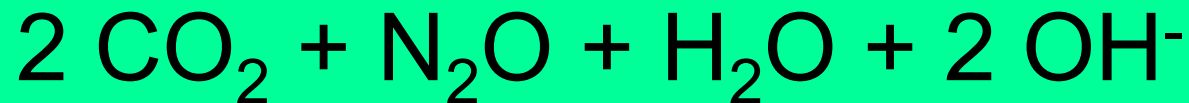
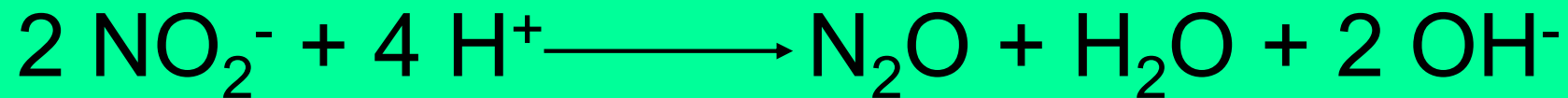


nebo



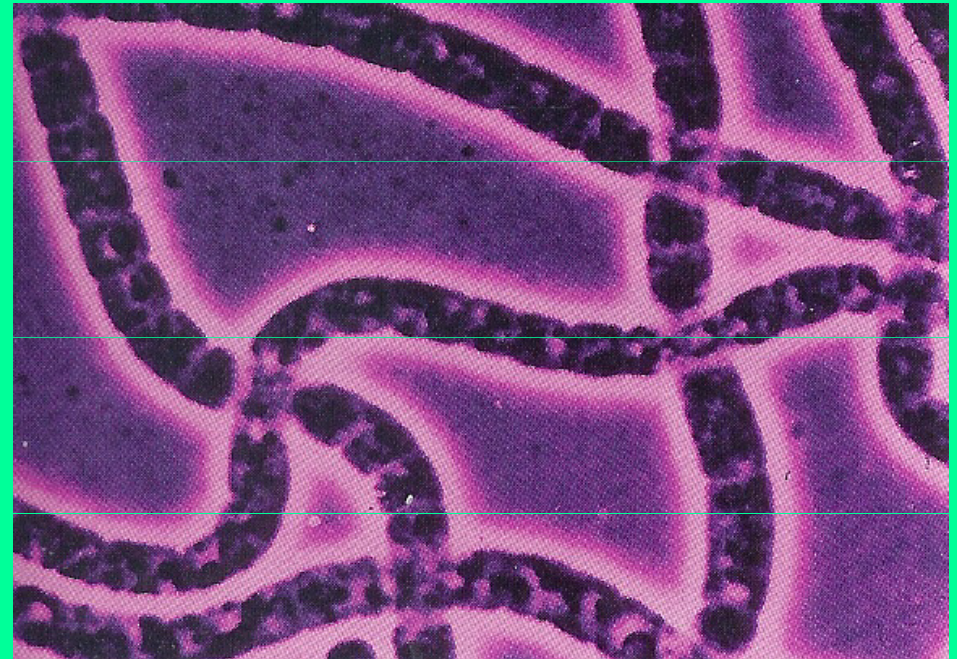
Denitrifikace

- **Denitrifikace** – proces redukce dusitanů na N_2 nebo N_2O nebo směs obou plynů



Desulfurikace

- Donorem elektronů a protonů je organická látka nebo plynný vodík
- Jako akceptor vystupuje síran, siřičitan, thiosíran, tetrathionát,
- Redukci těchto látek uskutečňují především anaerobní bakterie – zástupci rodů *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*, *Desulfosarcina*, *Desulfonema* a některé *Archeae*



Desulfonema sp.

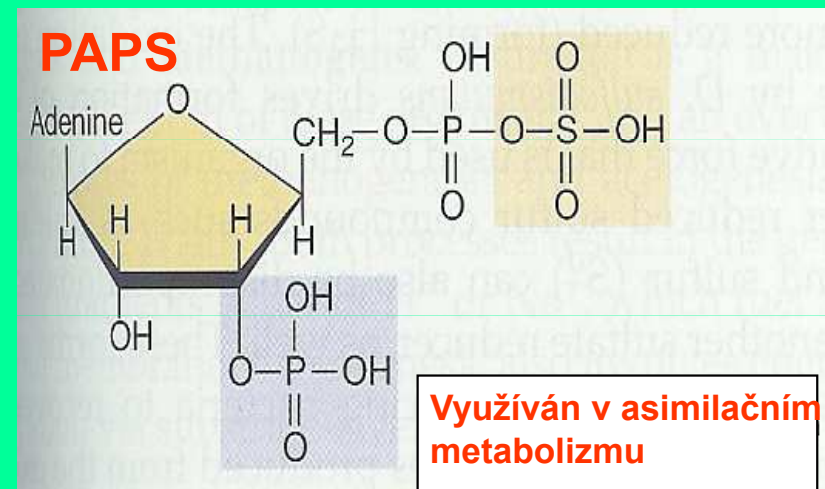
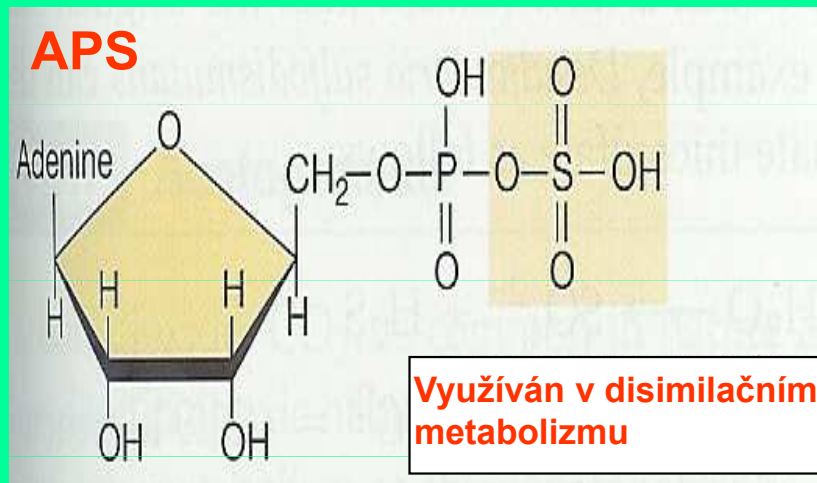
Desulfurikace

Při procesu desulfurikace vznikají energeticky bohaté sloučeniny

APS - adenosin 5'-fosfosulfát

a

PAPS – fosfoadenozin-5'-fosfosulfát



Redukce CO₂ a CO

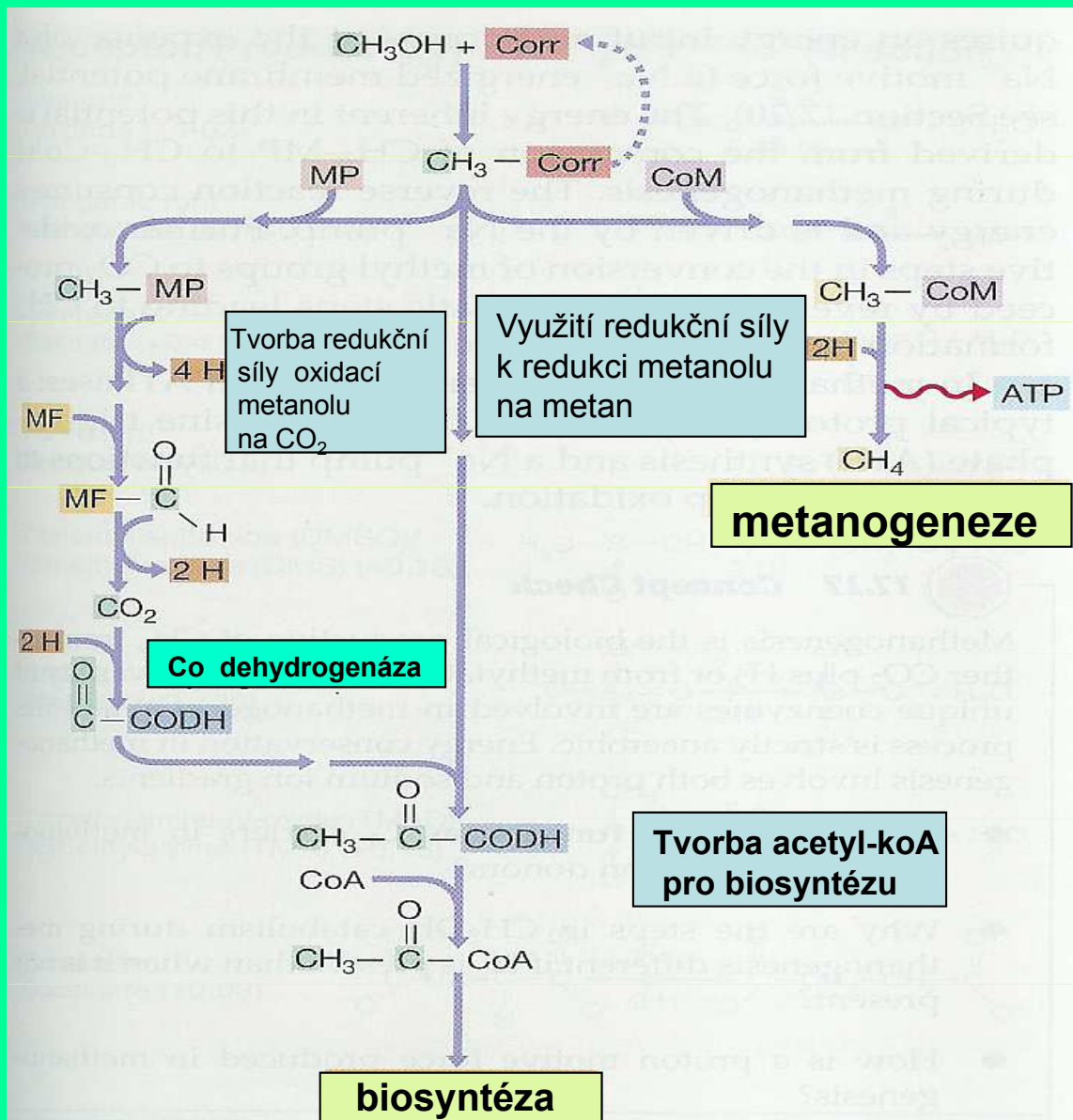
- Konečným produktem je metan
- Organizmy jsou **striktní** anaerobové (jsou podstatně citlivější ke kyslíku než denitrifikační nebo desulfurikační bakterie)
- Jsou dvě skupiny metanogenních organizmů využívajících jako akceptor protonů a elektronů CO₂

metanogenní

homoacetogenní

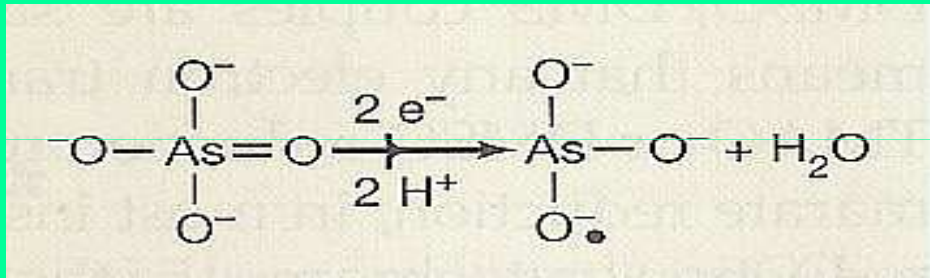
- Jako zdroj vodíku a elektronů **nikdy** nevyužívají cukry a aminokyseliny
- Jako substrát slouží H₂, nižší mastné kyseliny, primární alkoholy, izoalkoholy.

Redukce CO₂ - donor metanol *metanogeneze*

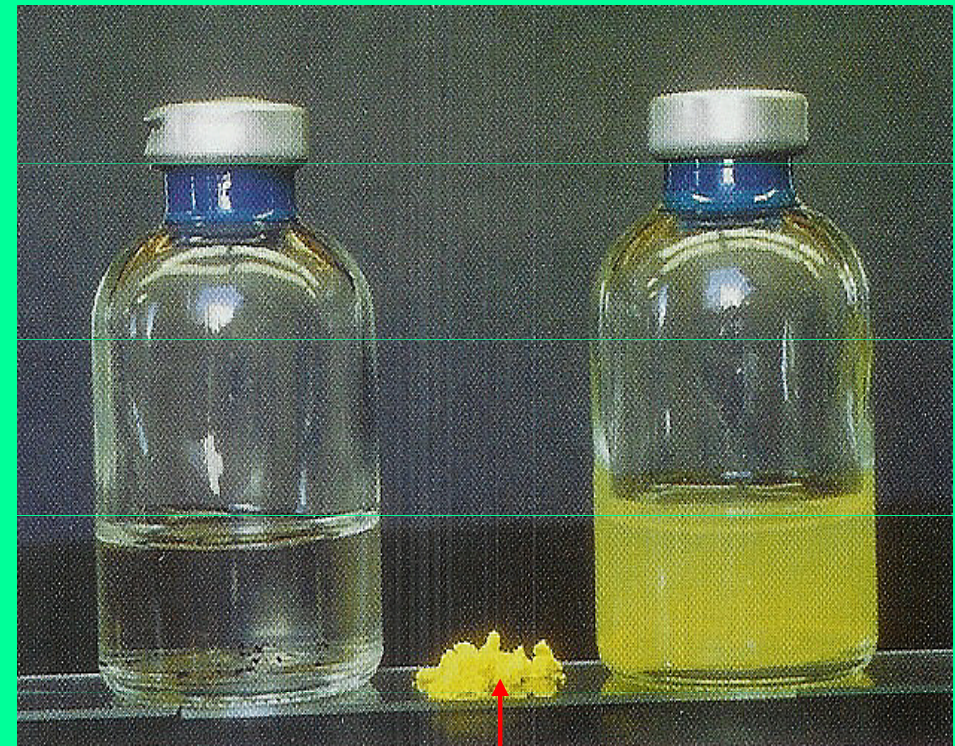


Corr – protein obsahující korrinoid
CODH – karbonmonooxid dehydrogenáza

Některé alternativní akceptory elektronů v anaerobní respiraci



- *Desulfotomaculum auripigmentum* redukuje arsenát v po redukcí síranů – As_2S_3 – je vytvářen intracelulárně i extracelulárně. Produkce “minerálů” se označuje jako **biomineralizace**.



As_2S_3

Tvorba As_2S_3 v prostředí je součástí detoxifikačních procesů v prostředí

Chemolitotrofní bakterie

Energetický metabolismus chemolitotrofních bakterií

- Chemolitotrofní bakterie získávají energii procesy aerobní respirace
- Zdrojem energie je redukovaná anorganická látka
- Konečným akceptorem vodíku a elektronů je molekulový kyslík
- Zdrojem uhlíku je CO_2

Energetický metabolismus chemolitotrofních bakterií

Podle povahy substrátu

Oxidace amoniaku (nitrifikace)

Oxidace sloučenin síry (sulfurikace)

Oxidace sloučenin železa

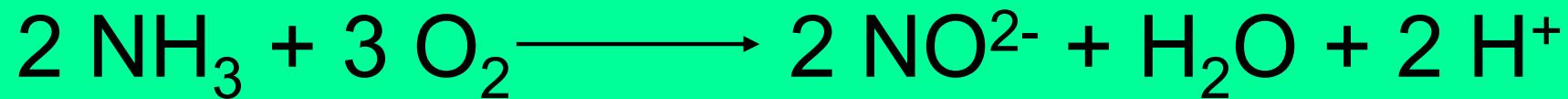
Oxidace vodíku

Oxidace metanu

Energetický metabolismus - nitrifikace

- Oxidace amoniaku probíhá ve dvou stupních

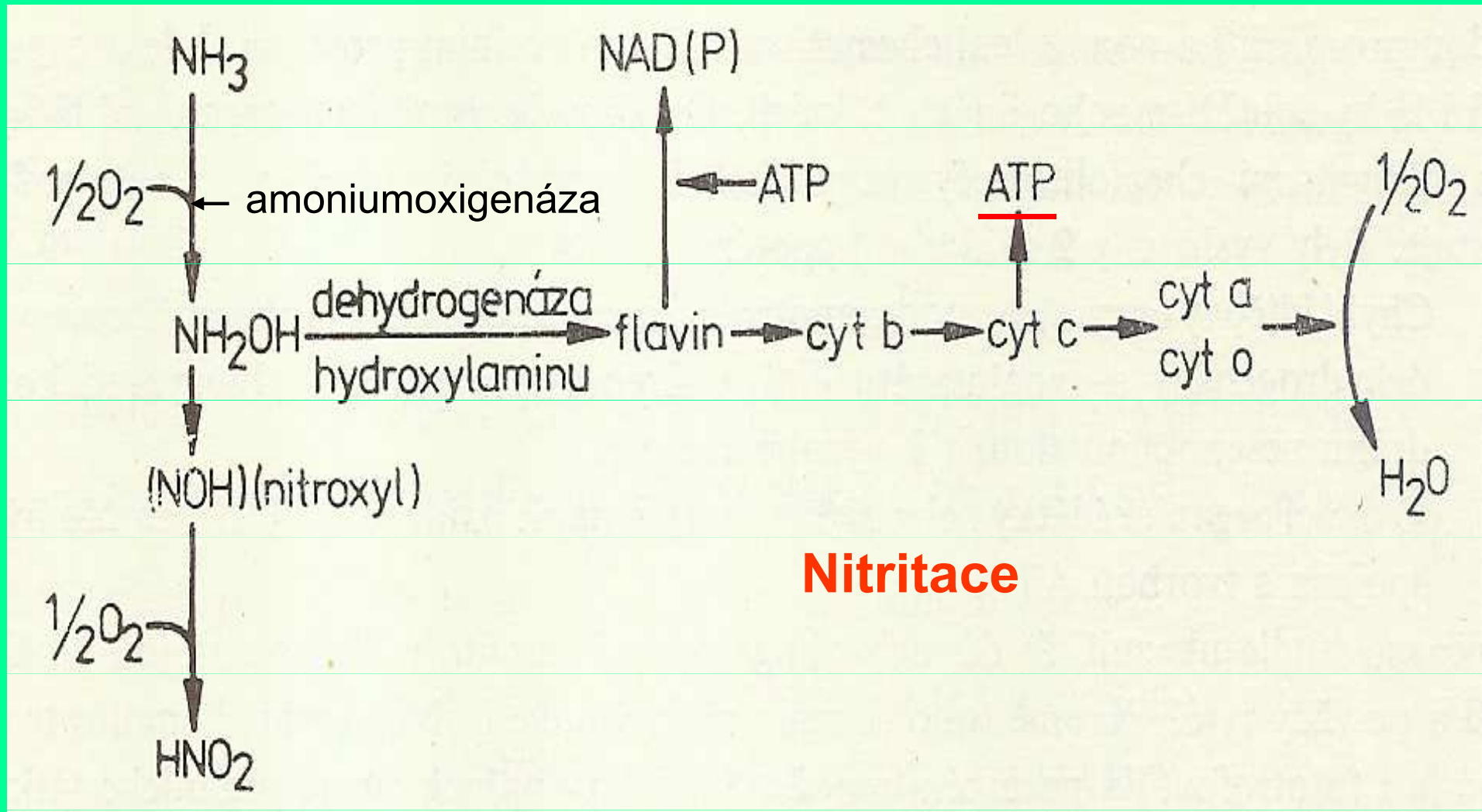
nitritace



nitratace



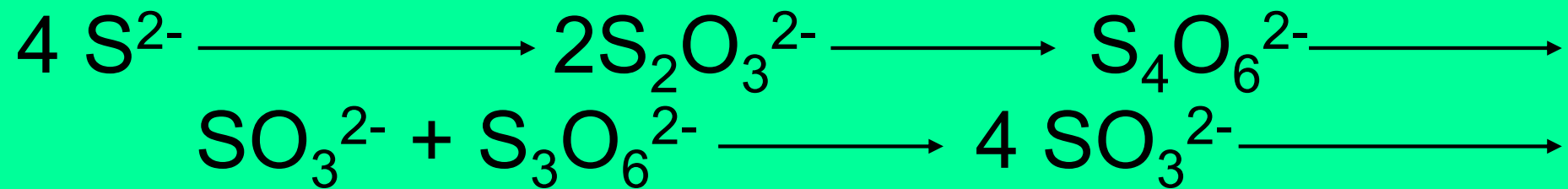
Energetický metabolismus - nitrifikace



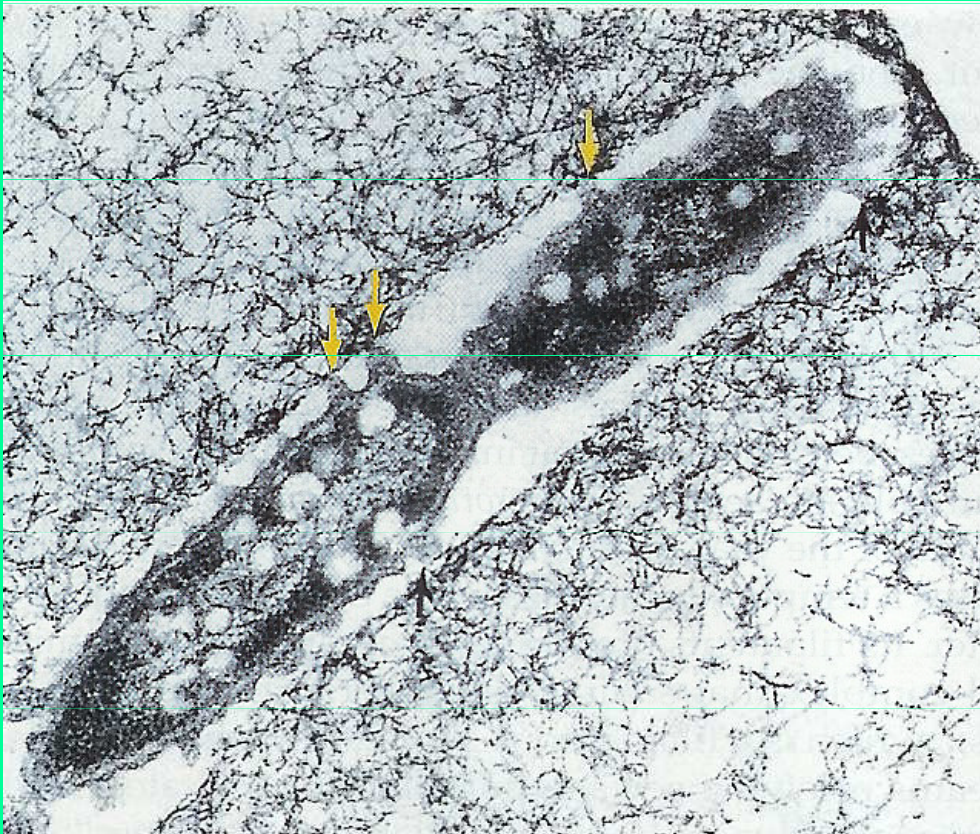
Organizmus: *Nitrosomonas* (obligatorní chemolitotrof a autotrof), *Nitrosococcus*

Energetický metabolismus - sulfurikace

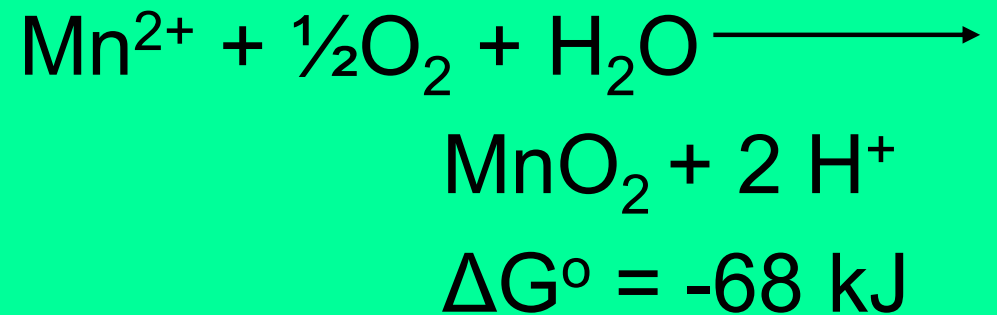
- Biochemizmus oxidace redukovaných sloučenin síry není dostatečně znám
- Sekvence reakcí



Energetický metabolismus – oxidace Fe



- *Leptothrix* je schopný oxidovat vedle železa i mangan



Energetický metabolismus

oxidace vodíku

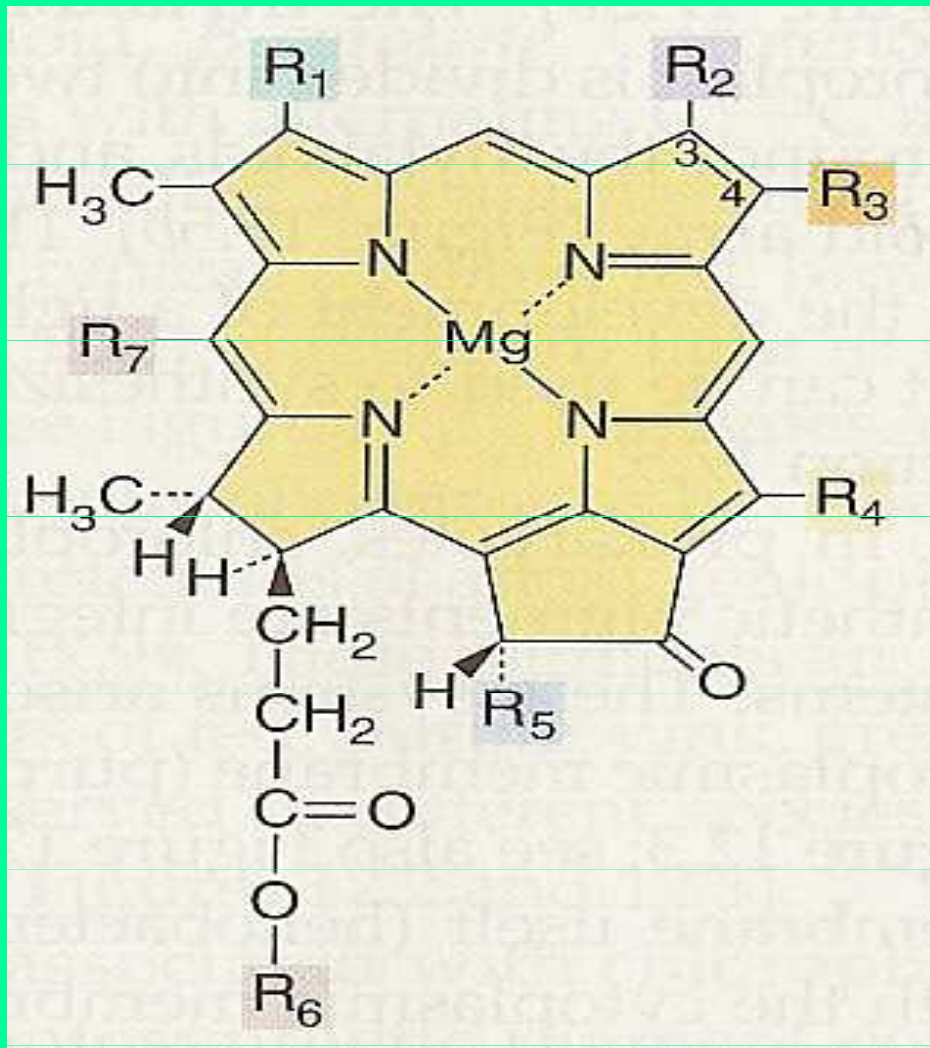
- Bakteriální dehydrogenázy plynného vodíku
- vodík:NAD⁺-oxidoreduktáza (dehydrogenáza vodíku) – rozpustná – tvorba redukčních ekvivalentů pro biosyntézu a membránově vázaná – oxidace vodíku za tvorby ATP
- vodík:ferricytochrom c₃-oxidoreduktáza (cytochrom c₃-hydrogenáza)-membránově vázaná, reagující na úrovni ubiquinon-cyt.b přes cyt. C (*Paracoccus denitrificans*)
- vodík:ferredoxin-oxidoreduktáza (ferredoxin-hydrogenáza). Vyskytuje se u řady fakultativně anaerobních bakterií (*E.coli*, *P. vulgaris*, ...)

Fototrofní bakterie

Energetický metabolismus fototrofních bakterií

- Fotofosforylace - proces transformace energie světelného kvanta do energie makroergické vazby
- Fototrofní mikroorganizmy
 - purpurové nesírné bakterie
 - heliobakterie
 - zelené sírné bakterie
 - purpurové sírné bakterie
 - cyanobakterie
 - halobakterie (bez bakteriochlorofylu)

Bakteriochlorofyl



Bakteriochlorofyl

a – purpurové (805, 830-890nm)

b – purpurové (835-850, 1020-1040)

c – zelené sírné (745-755)

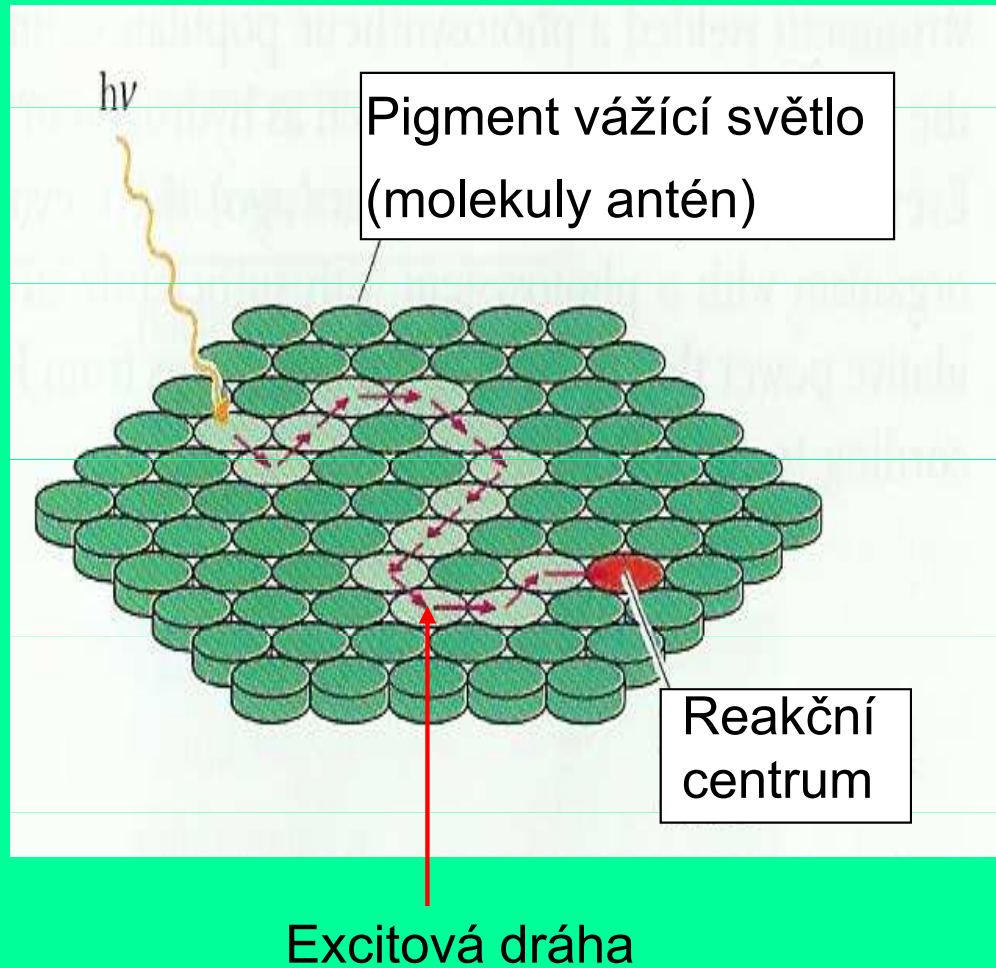
c_s – zelené nesírné (740)

d – zelené sírné (705-740)

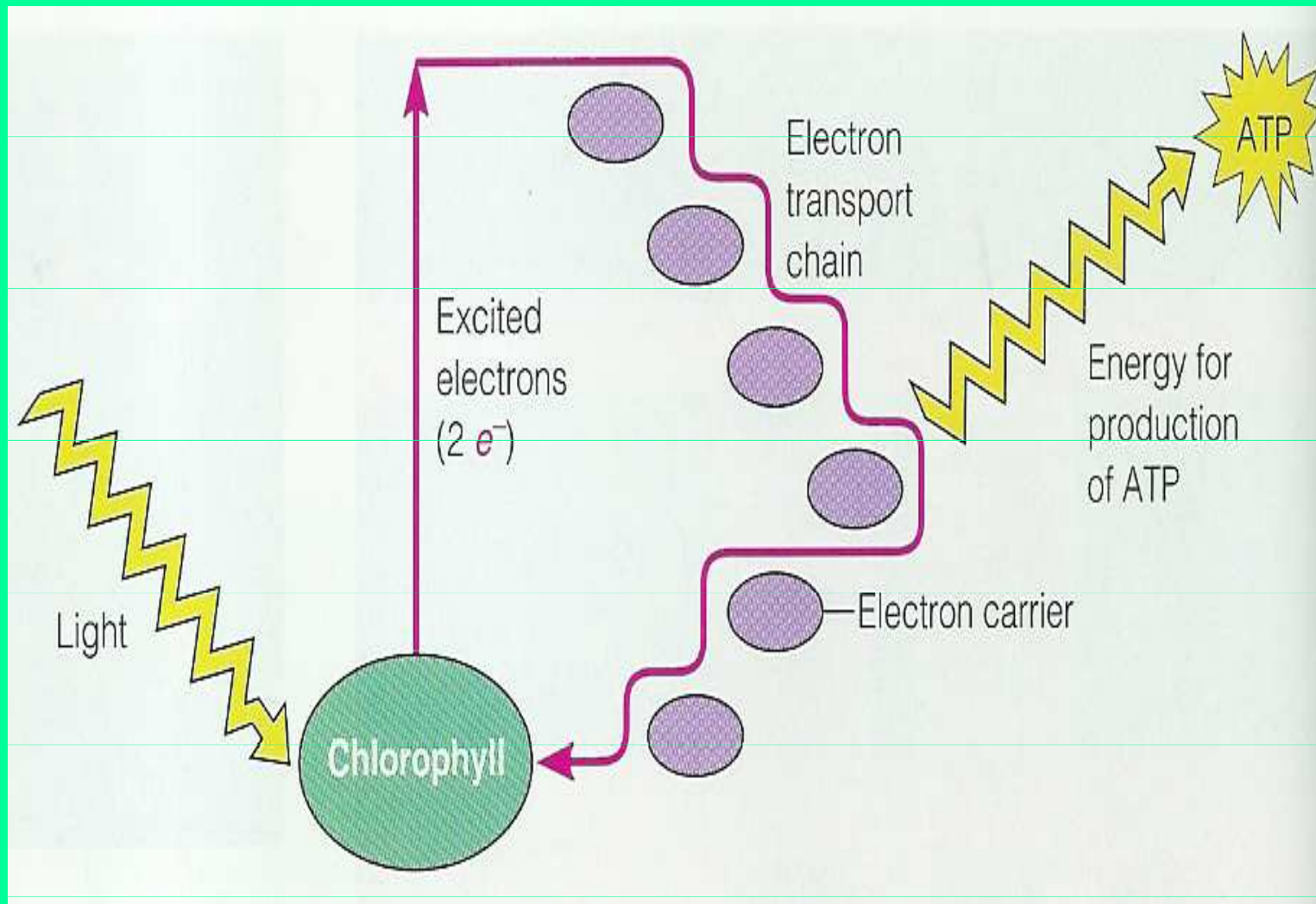
e – zelené sírné (719-726)

g – halobakterie (670, 788)

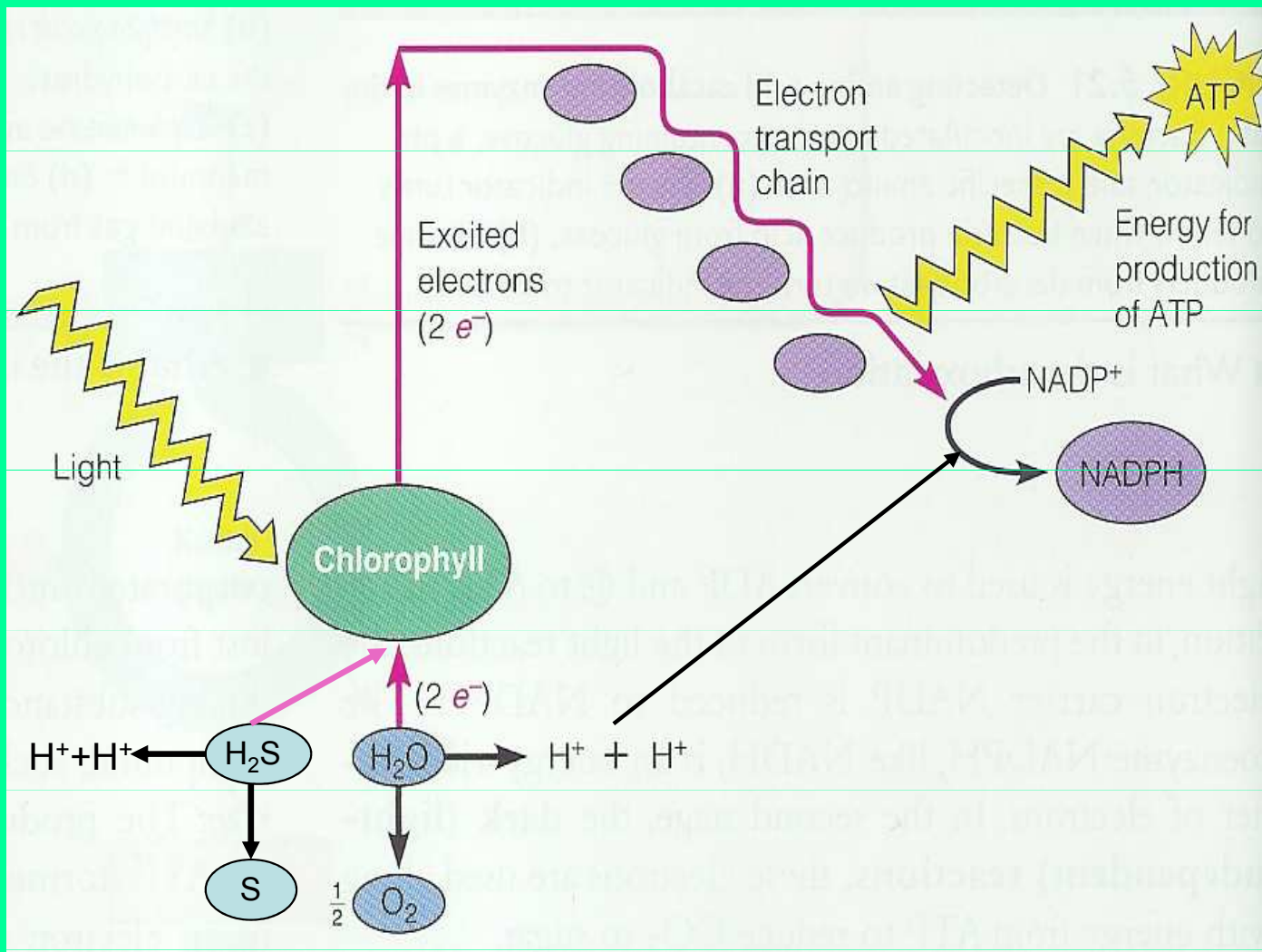
Fotosyntetická jednotka



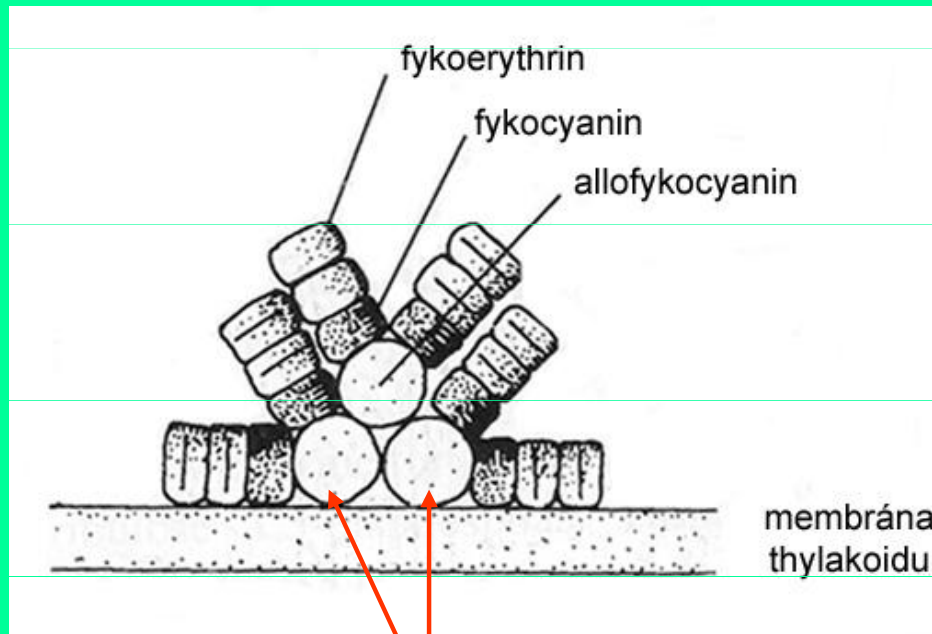
Cyklická fosforylace



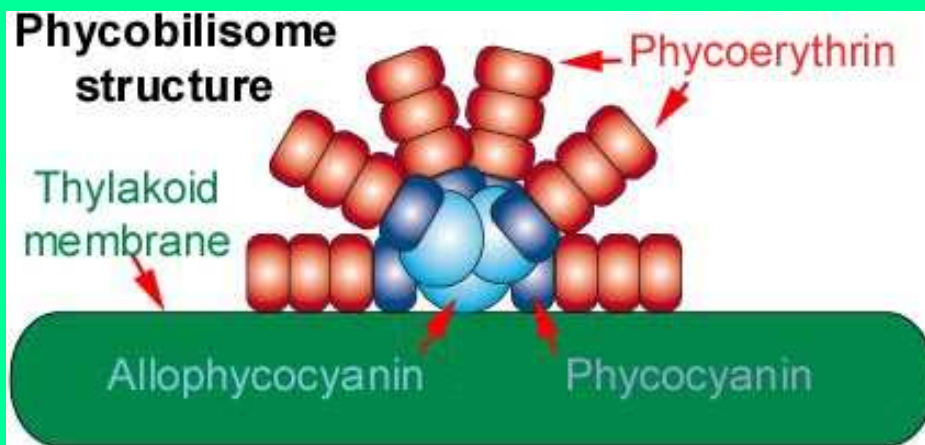
Necyklická fosforylace



Fotosyntéza u sinic



allofykocyaniny
(namodralé barvy)



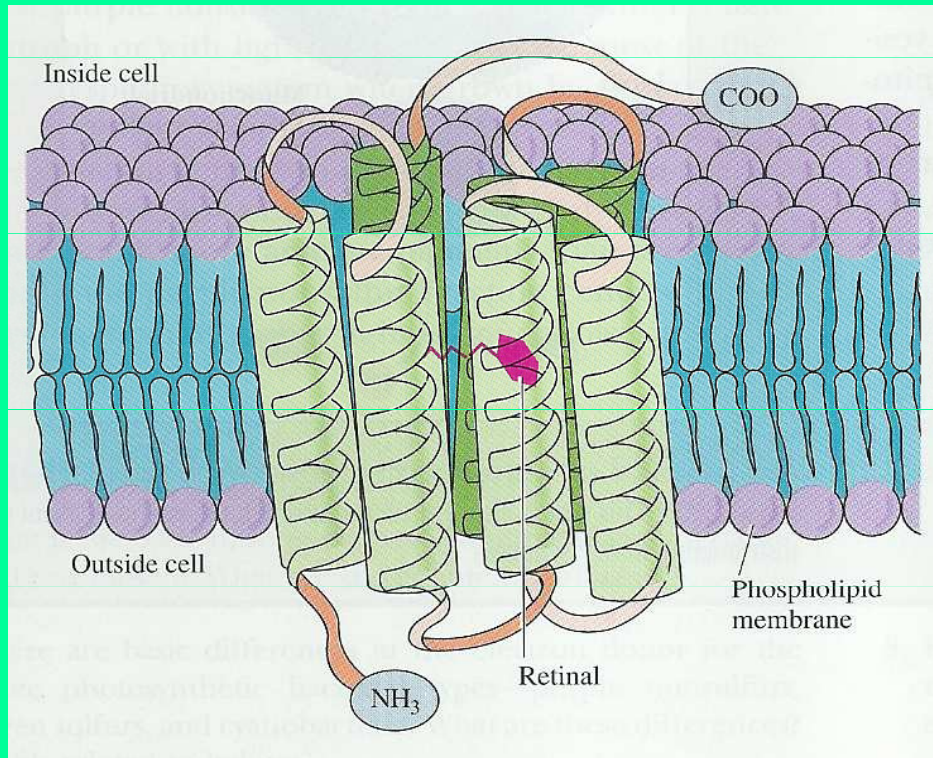
- na povrchu thylakoidálního váčku se nachází tzv. **fykobilizómy**
- jsou to drobné útvary (které obsahují specifická barviva, zvaná fykobiliny (fykobiliproteiny))
- v membráně thylakoidu jsou obsaženy chlorofyl **a**, α - i β -karoten a xanthofyly (echinenon, myxoxanthofyl, zeaxanthin)

Fotosyntéza bez chlorofylu

halobakterie

- Pokud halobakterie rostou při nízké tenzi kyslíku mohou syntetizovat “červené” skvrny v cytoplazmatické membráně - **bakteriorhodopsin**
- Skvrny obsahují 7 bílkovinných molekul (α helix). Na jednu molekulu je připojen retinal
- Bakteriorhodopsin (aldehyd vitamínu A) maximálně absorbuje při 570 nm

Fotosyntéza bez chlorofylu halobakterie



- Bakteriorhodopsin absorbuje maximální množství energie ze záření
- Mimo bakteriorhodopsinu halobakterie neobsahují další "foto" pigment
- **Tvorba energie není doprovázena tokem elektronů (protonový gradient)**

ANABOLIZMUS

BIOSYNTÉZA

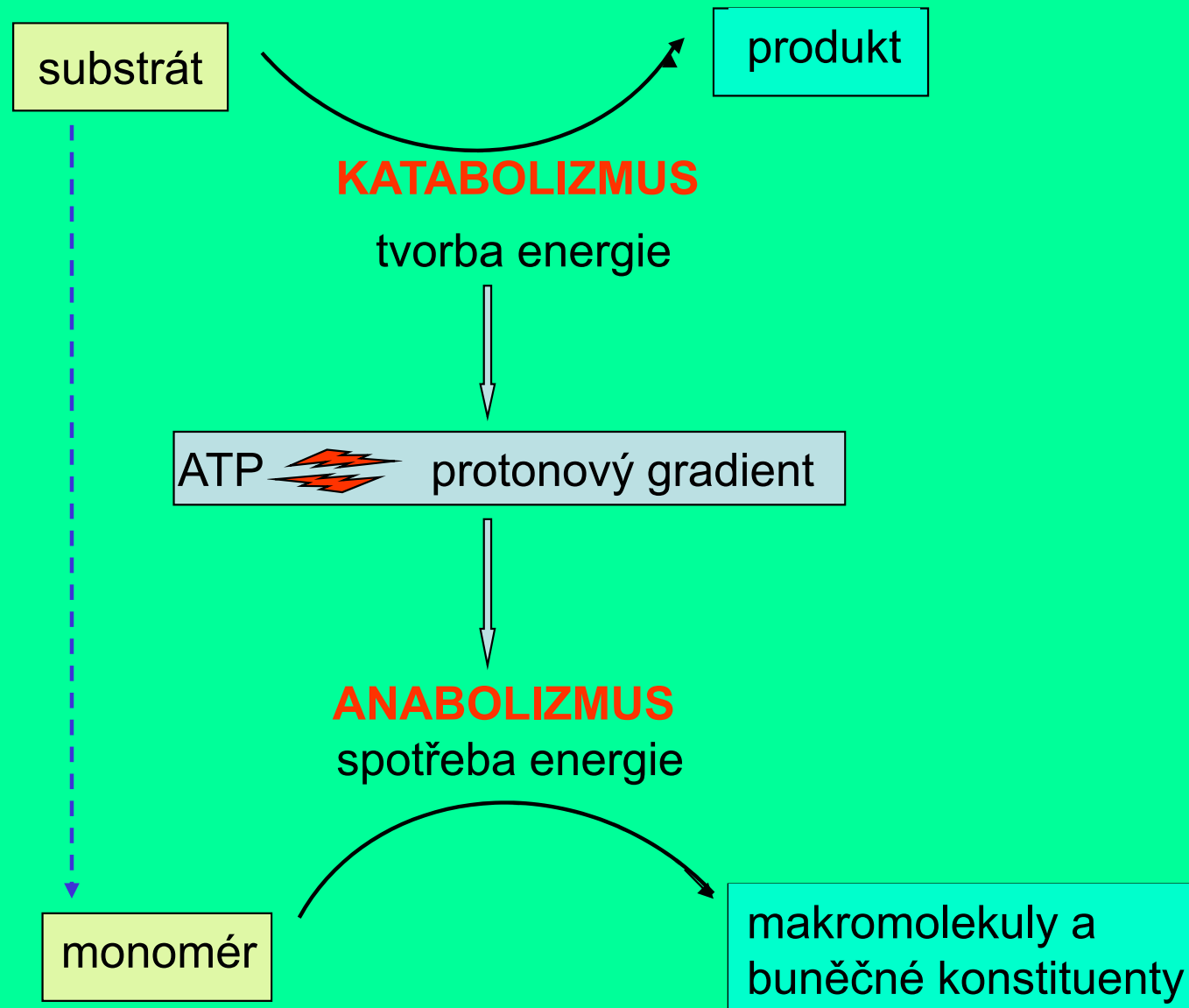
ANABOLIZMUS - BIOSYNTÉZA

- Při anabolizmu je ke tvorbě molekulových komplexů a struktur z malých molekul využívána volná energie získaná v procesech katabolizmu
- Procesy biosyntézy jsou regulovány tak, aby byla co nejefektivněji využívána energie a stavebního materiálu
- Katabolické a anabolické dráhy mají odlišné enzymy, kofaktory, donory vodíku a elektronů, regulaci, lokalizaci v buňce, ...
- Avšak řada enzymů se podílí na průběhu katabolických i biosyntetických drah

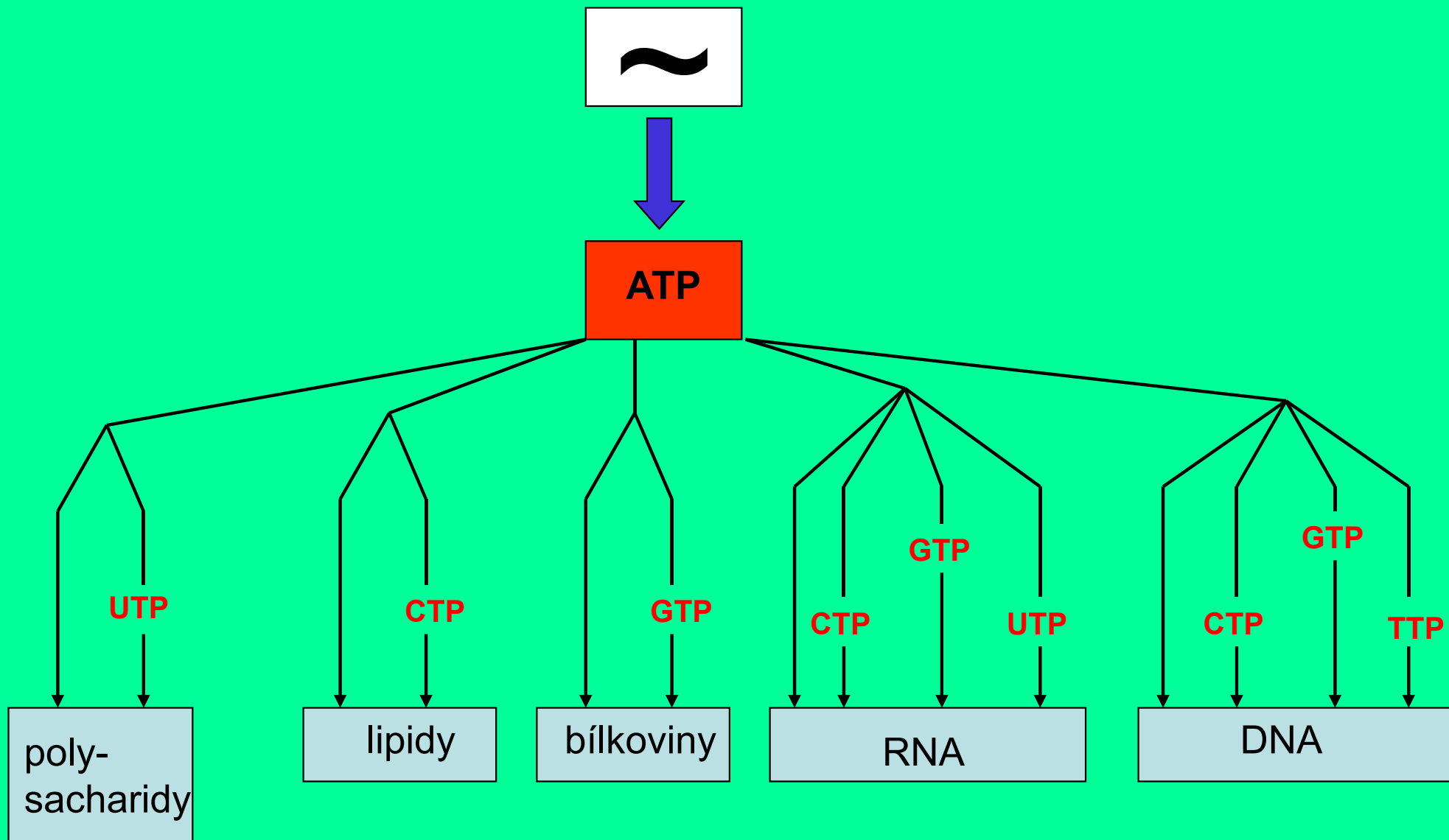
ANABOLIZMUS - BIOSYNTÉZA

- **Fosfor** ve formě fosfátu může být asimilován přímo
- Anorganický **dusík** a **síra** musí být většinou před inkorporací do buněčného materiálu redukován
- Autotrofové využívají v biosyntetických pochodech **ATP** a **NADPH** z fototrofie nebo oxidace anorganických látek pro redukci a inkorporaci CO_2 do organického materiálu

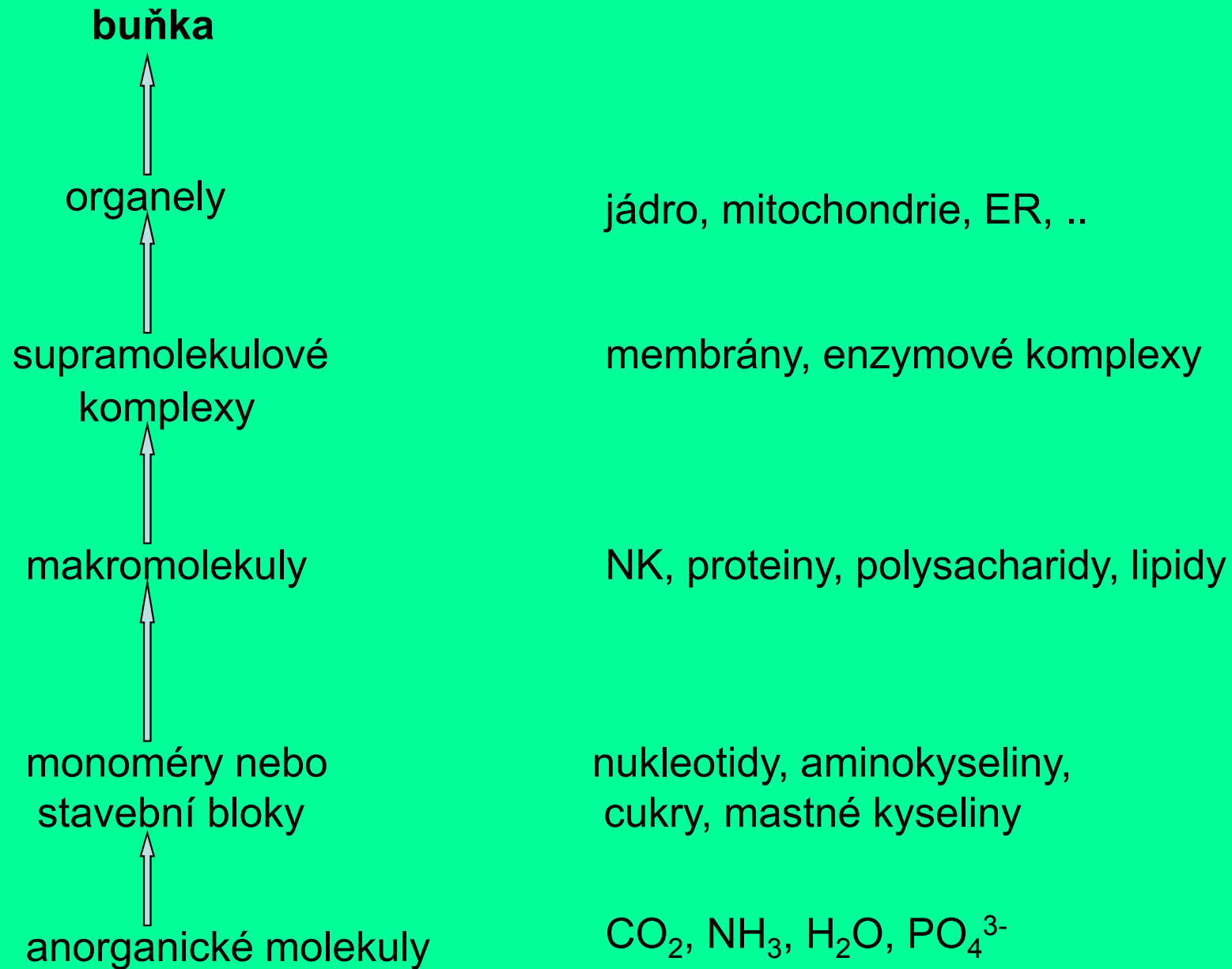
Role ATP a promotivní síly v integračních procesech



Tok energie do hlavních typů syntéz



Konstrukce buněk



Fixace CO₂ při metabolismu mikroorganismů

Fixace redukcí

NADPH₂-dependentní

izocitrát ←

malát ←

Feredoxin-dependentní

pyruvát ←

2-oxoglutarát ←

ATP

karbamyl-P

Fixace aktivní

Komplex enzym+biotin+CO₂

→ metylmalonyl-koA

→ malonyl-koA

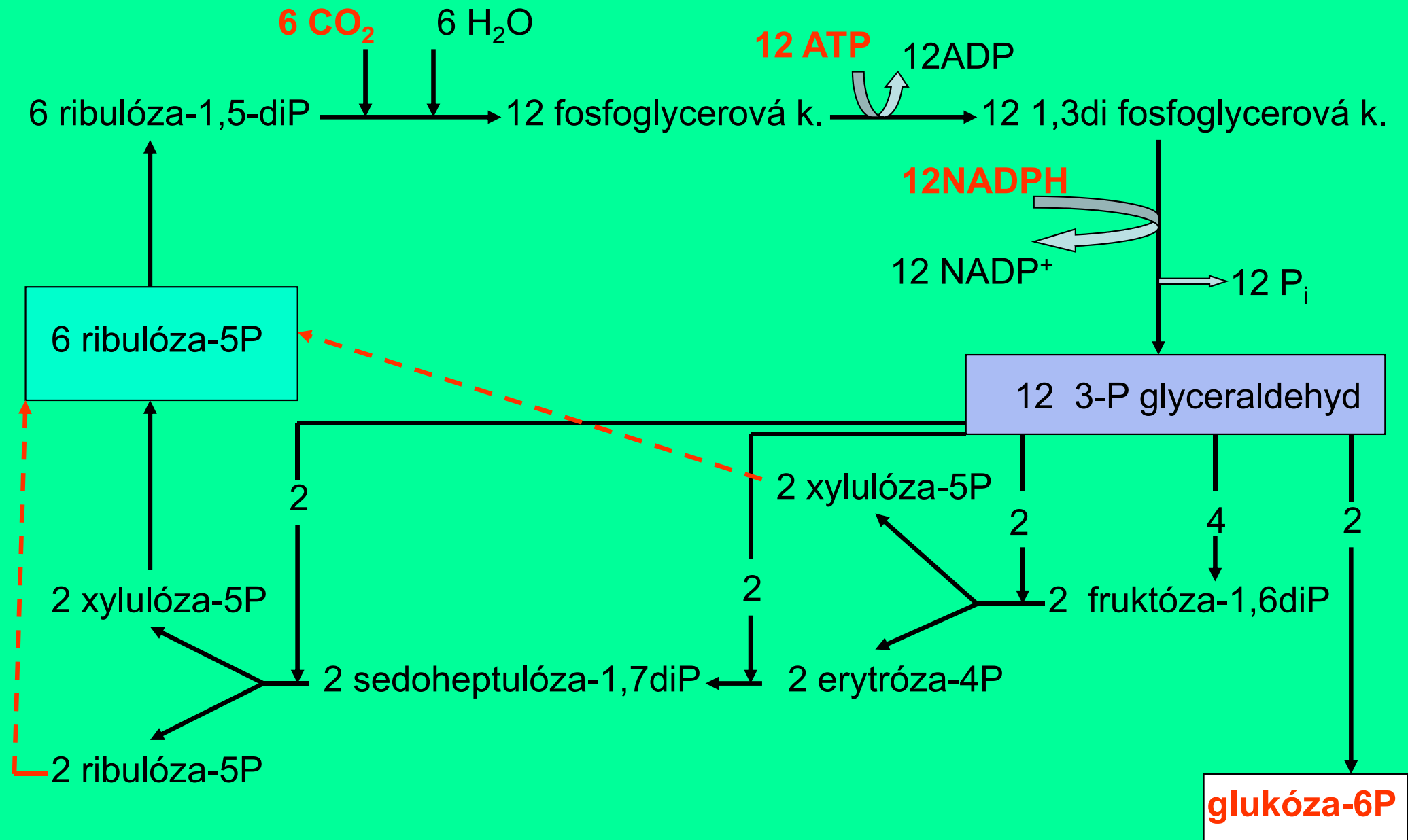
→ oxalacetát

PEP

oxalacetát

CO₂

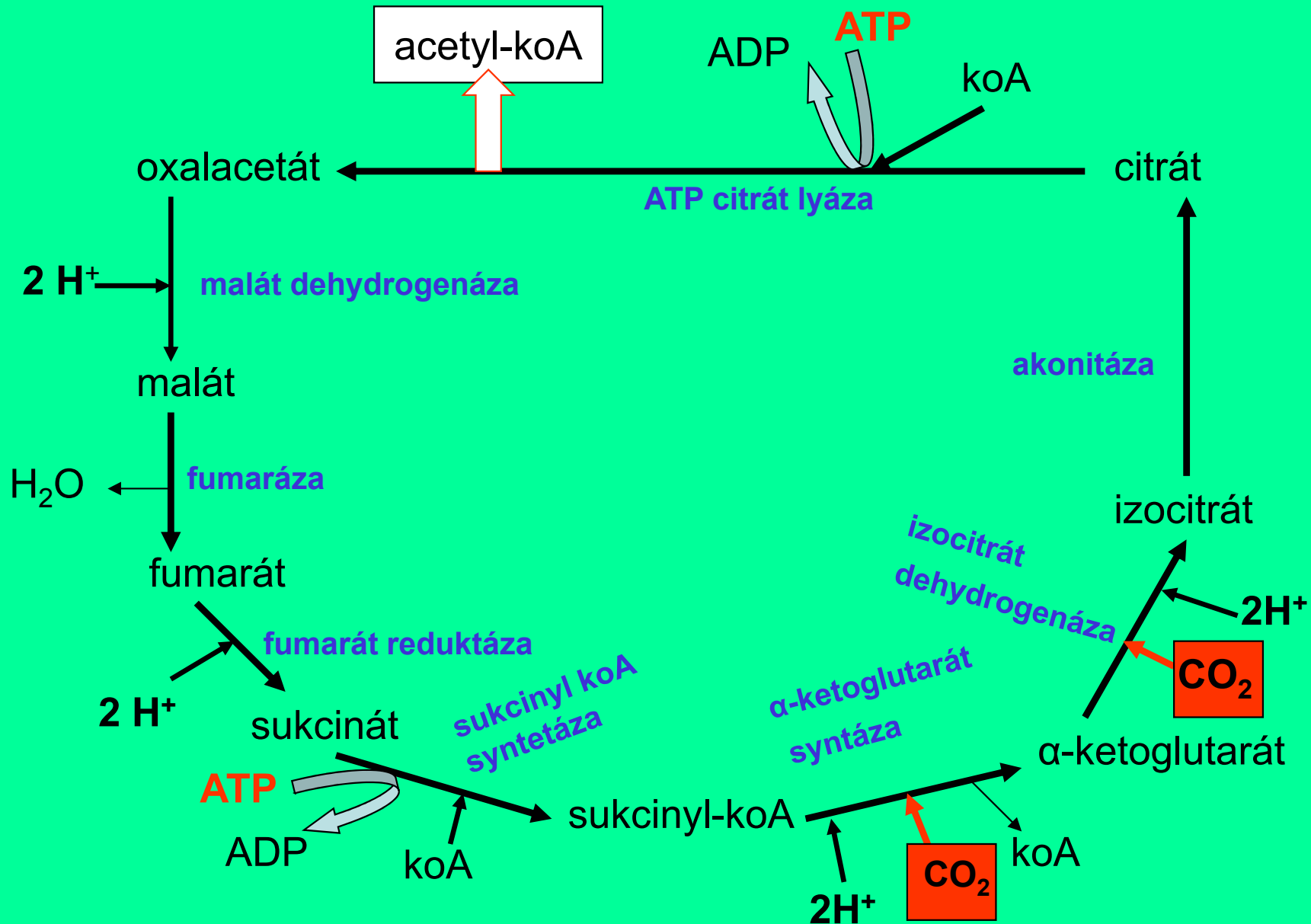
Calvinův cyklus



Nová dráha autotrofní fixace CO₂

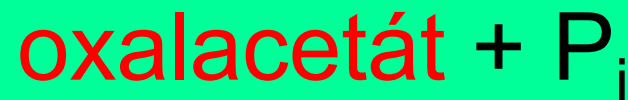
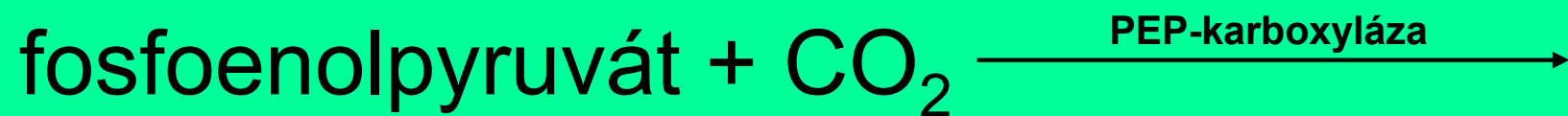
Chlorobium limicola, *Hydrogenobacter thermophilus*, *Desulfobacter hydrogenophilus*

(Litotrofové – nemají calvinův cyklus)

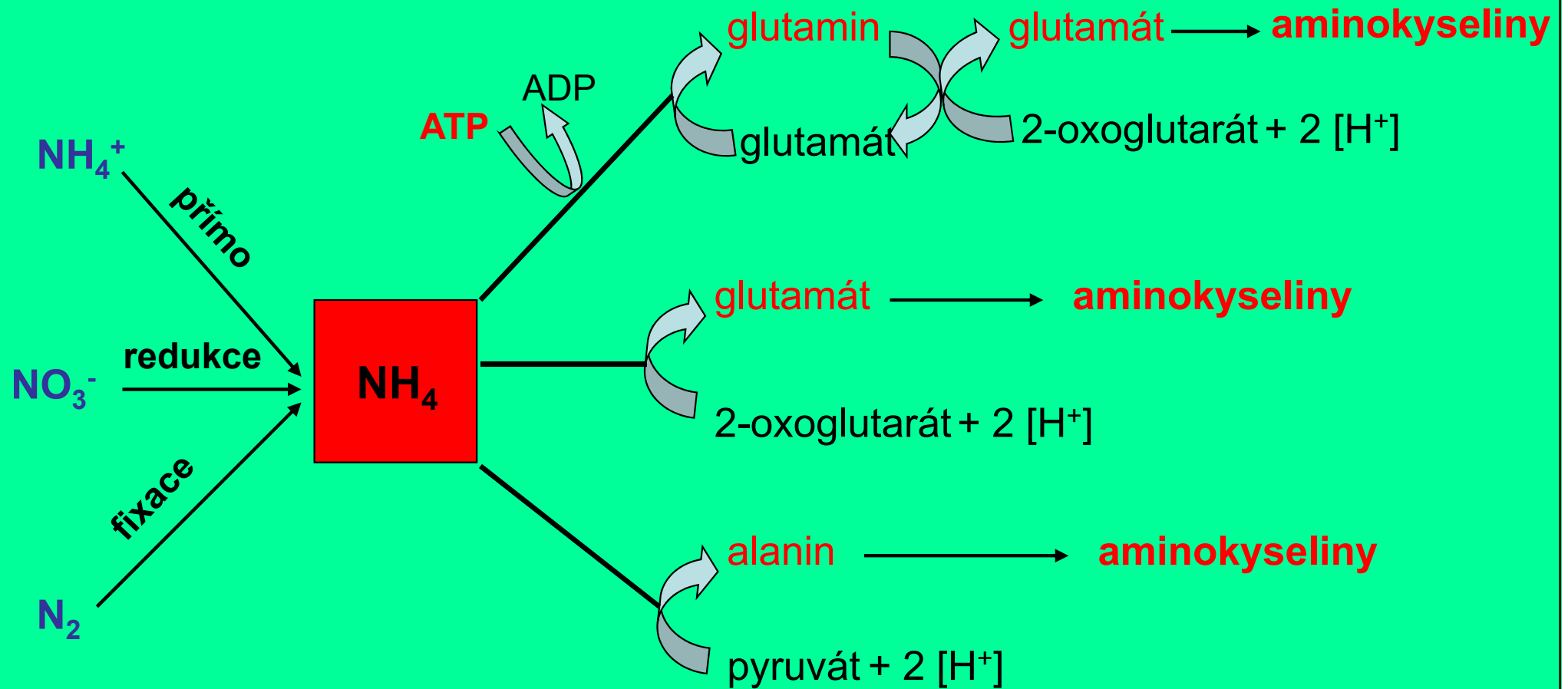


Fixace CO₂ heterotrofy

- Doplnování intermediátů Krebsova cyklu (anaplerotické reakce)



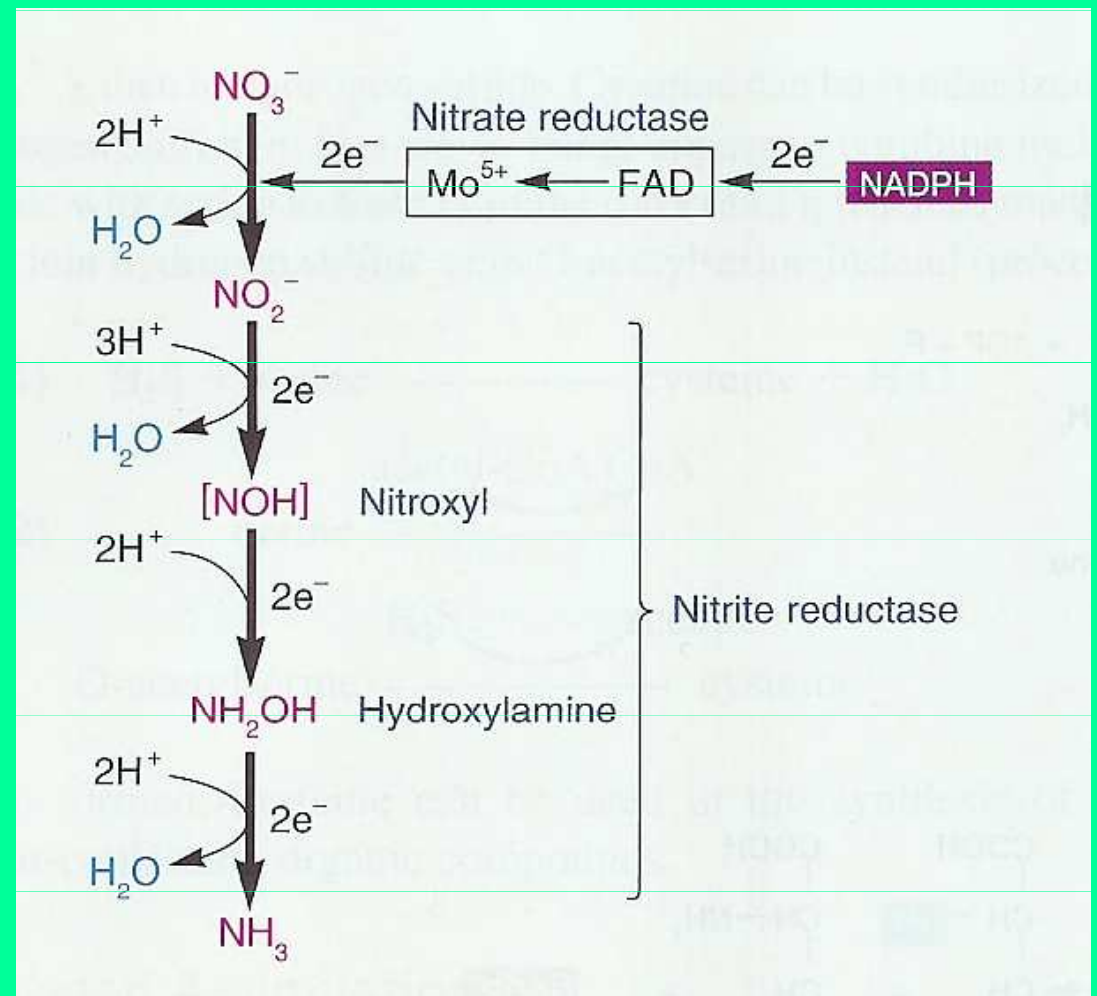
Asimilace dusíku



Asimilace dusíku

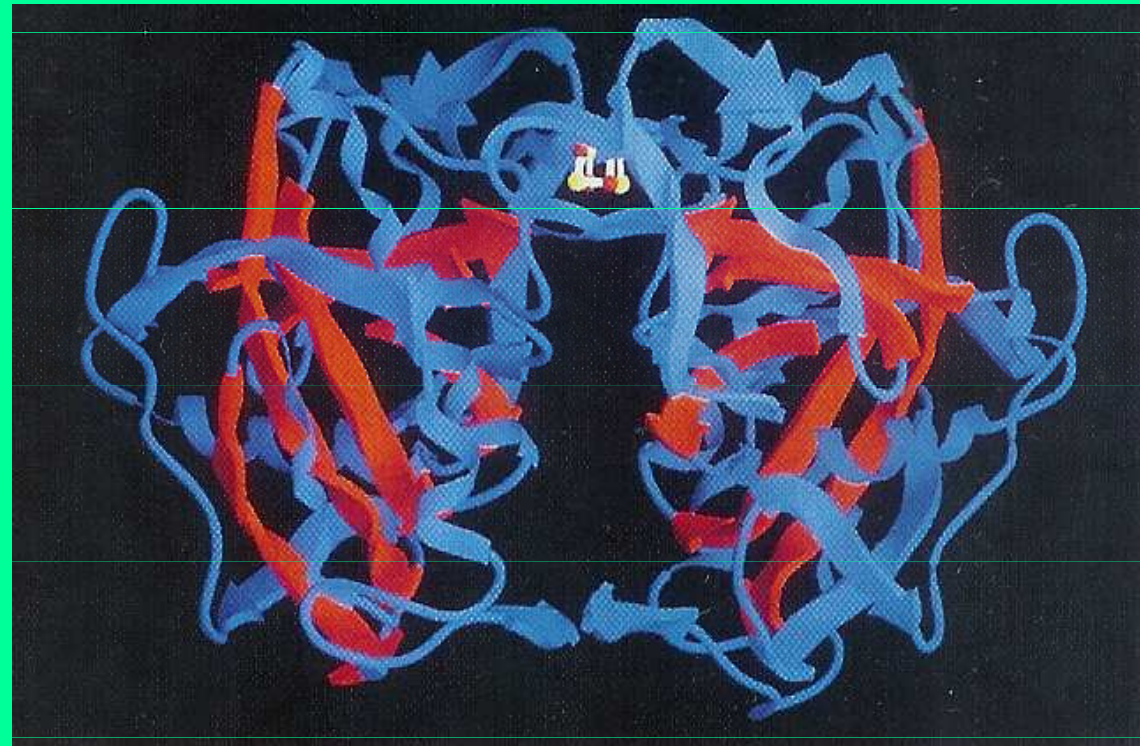
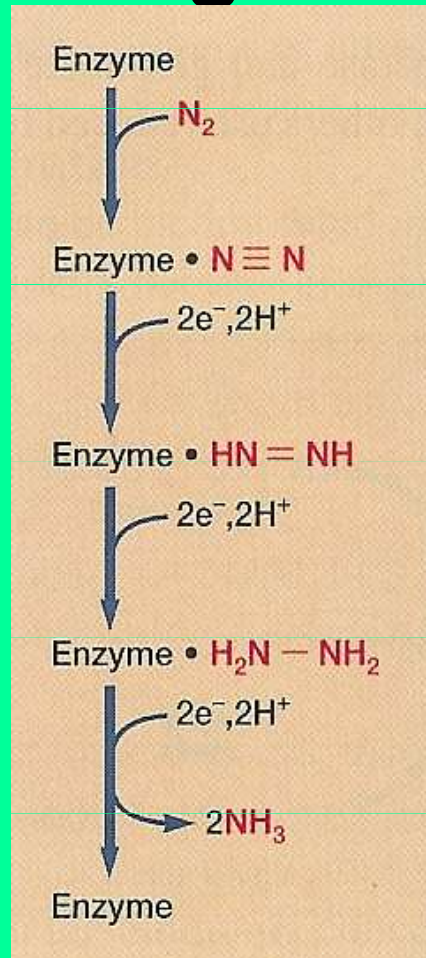
- Redukce dusičnanů – **asimilační redukce nitrátů** (neprobíhá však stejně jako redukce nitrátů při anaerobní respiraci)

Inkorporace nevyžaduje dodání energie
probíhá u bakterií, řas a hub



Asimilace dusíku

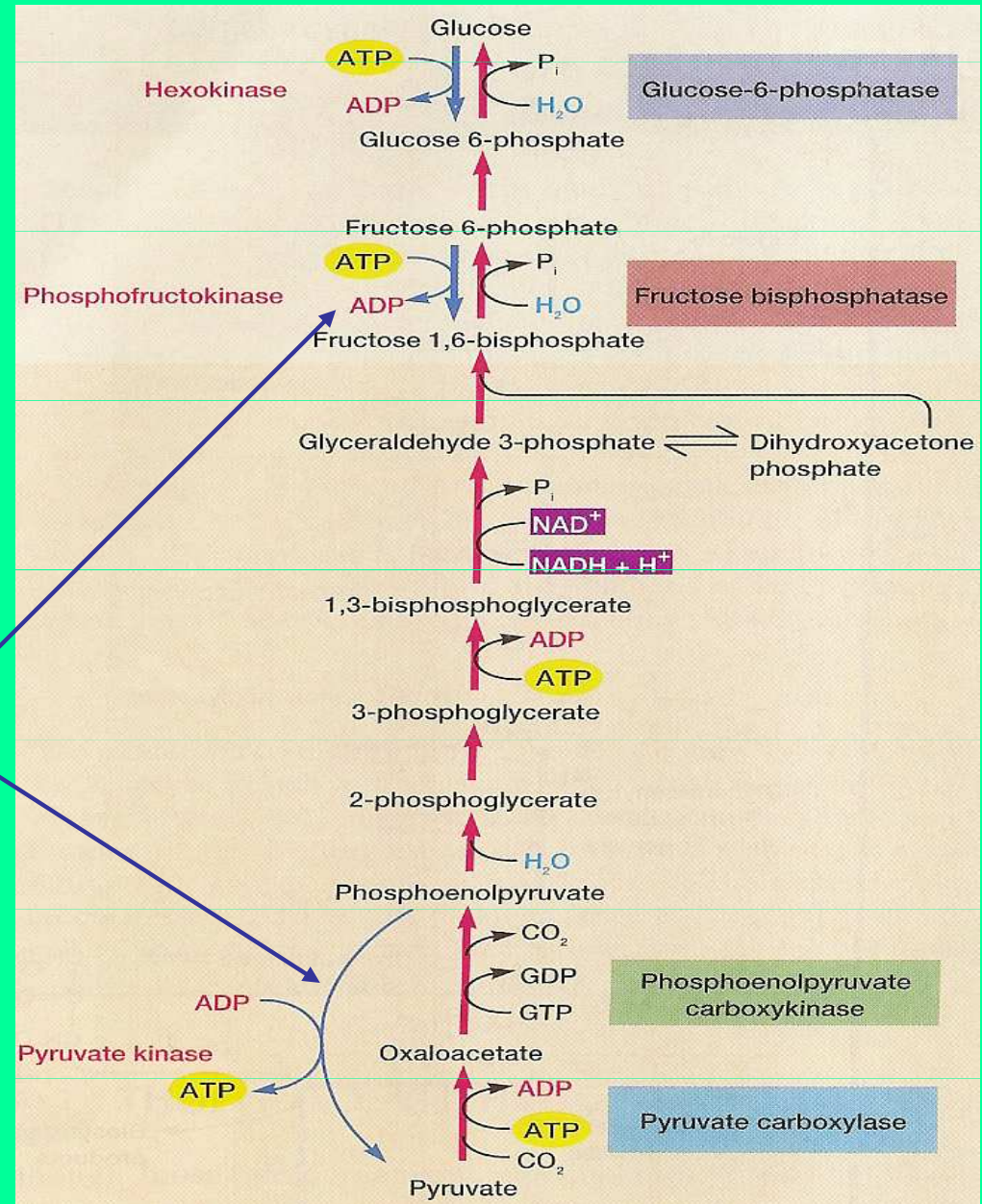
- Redukce N_2 (fixace molekulového dusíku) **nitrogenázou**



Nitrogenáza může redukovat látky obsahující trojnou vazbu – acetylen, kyanid, azid

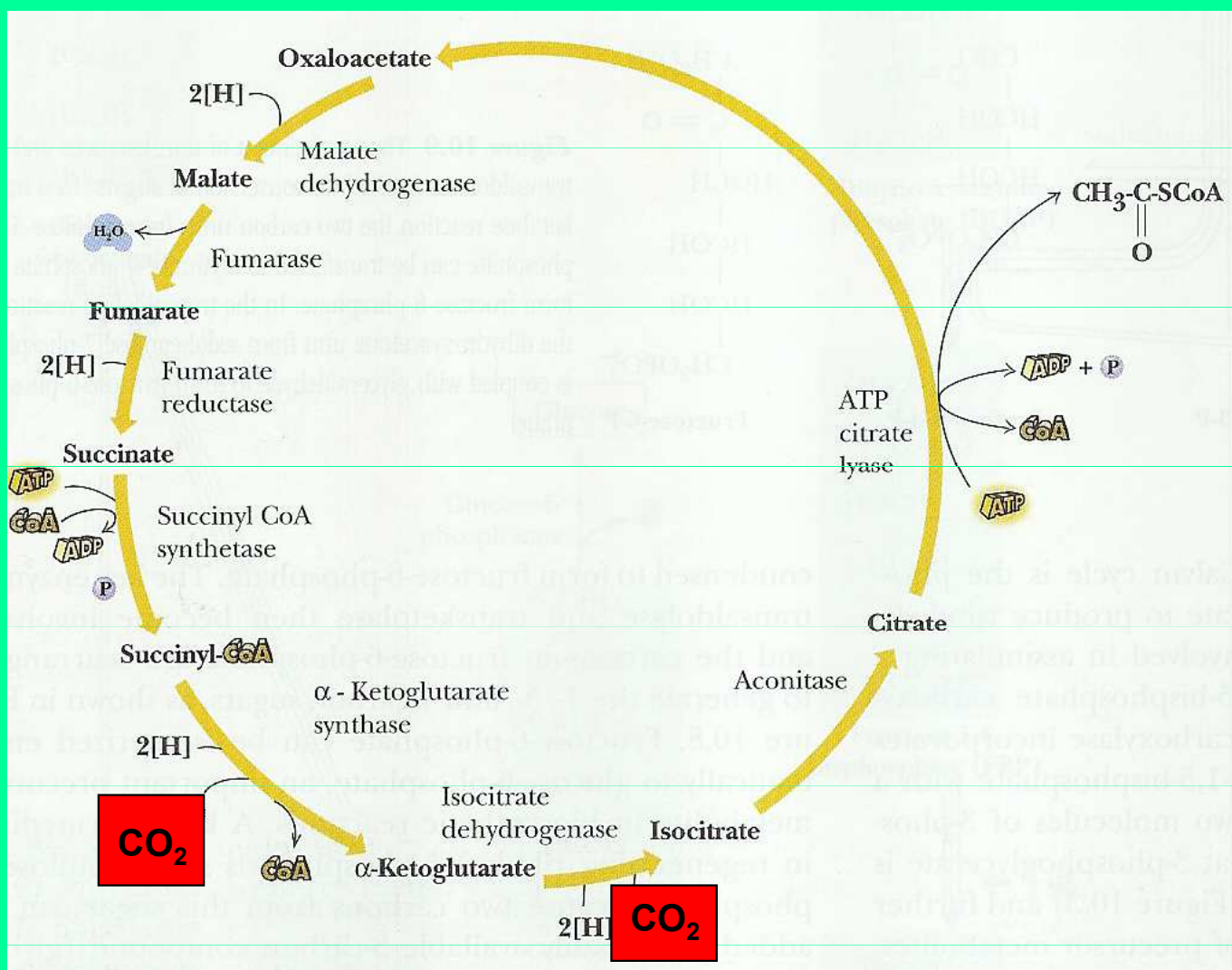
Syntéza monosacharidů

- **Glukoneogeneze** je využívána většinou mikroorganismů
- Jde o obrácenou glykolýzu (modré šipky naznačují průběh glykolýzy)

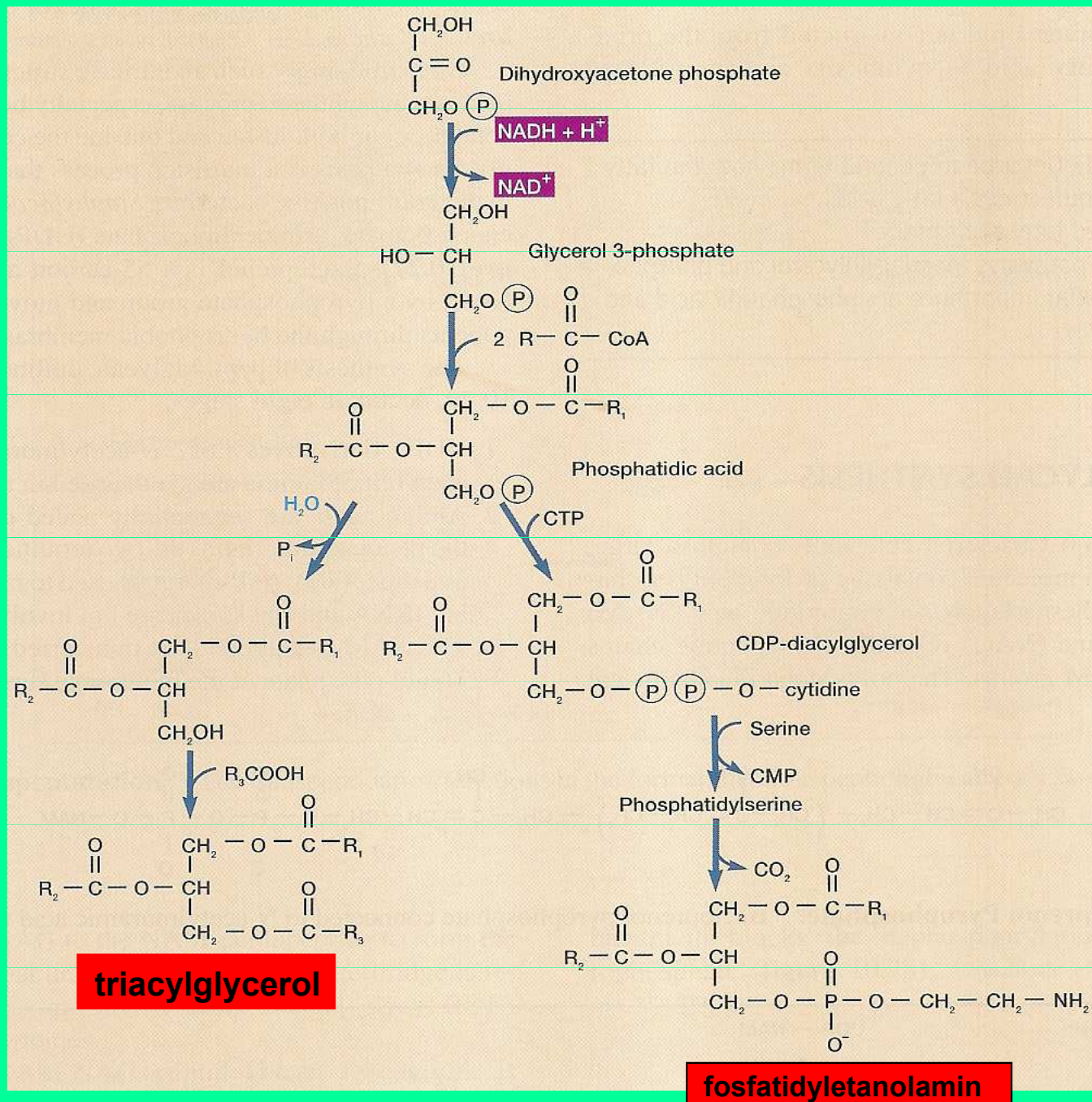


Syntéza monosacharidů

- Reduktivní cyklus trikarbonových kyselin



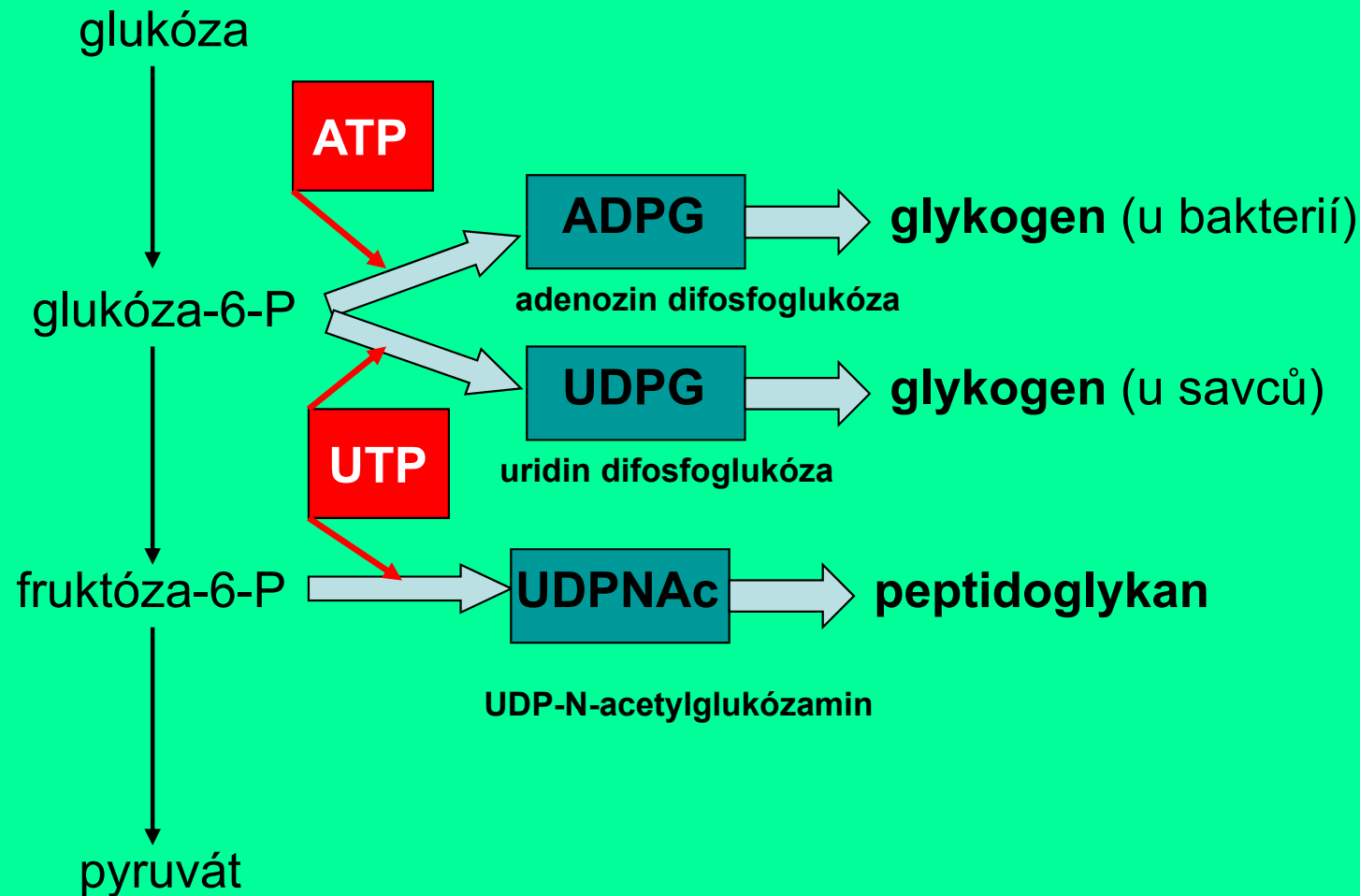
Syntéza lipidů a fosfolipidů



CDP – cytidin difosfát přenášející protein

Syntéza polysacharidů

glykolýza



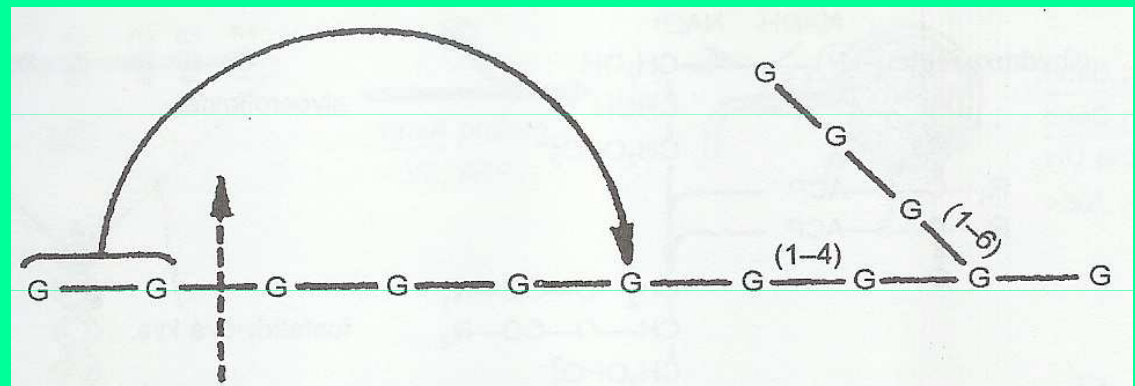
Syntéza polysacharidů

- Syntéza glykogenu

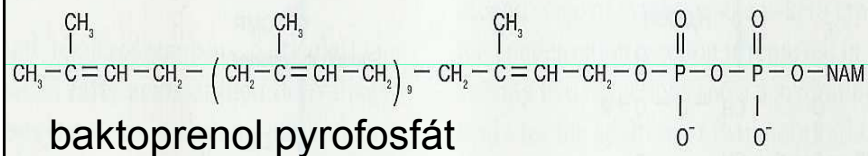
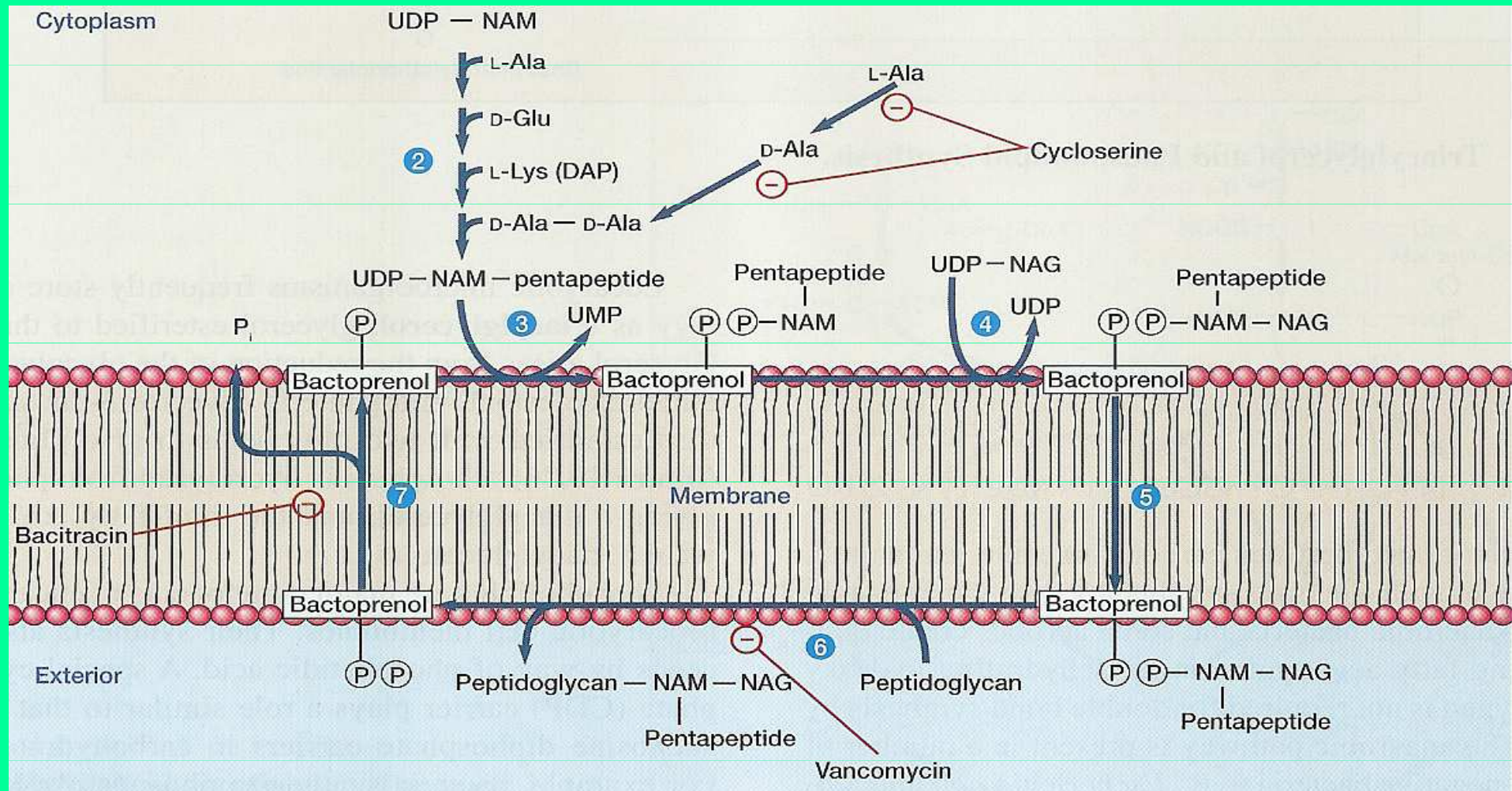


- Syntéza glykogenu vyžaduje přítomnost existující molekuly glykogenu (nejméně 4 monomery)

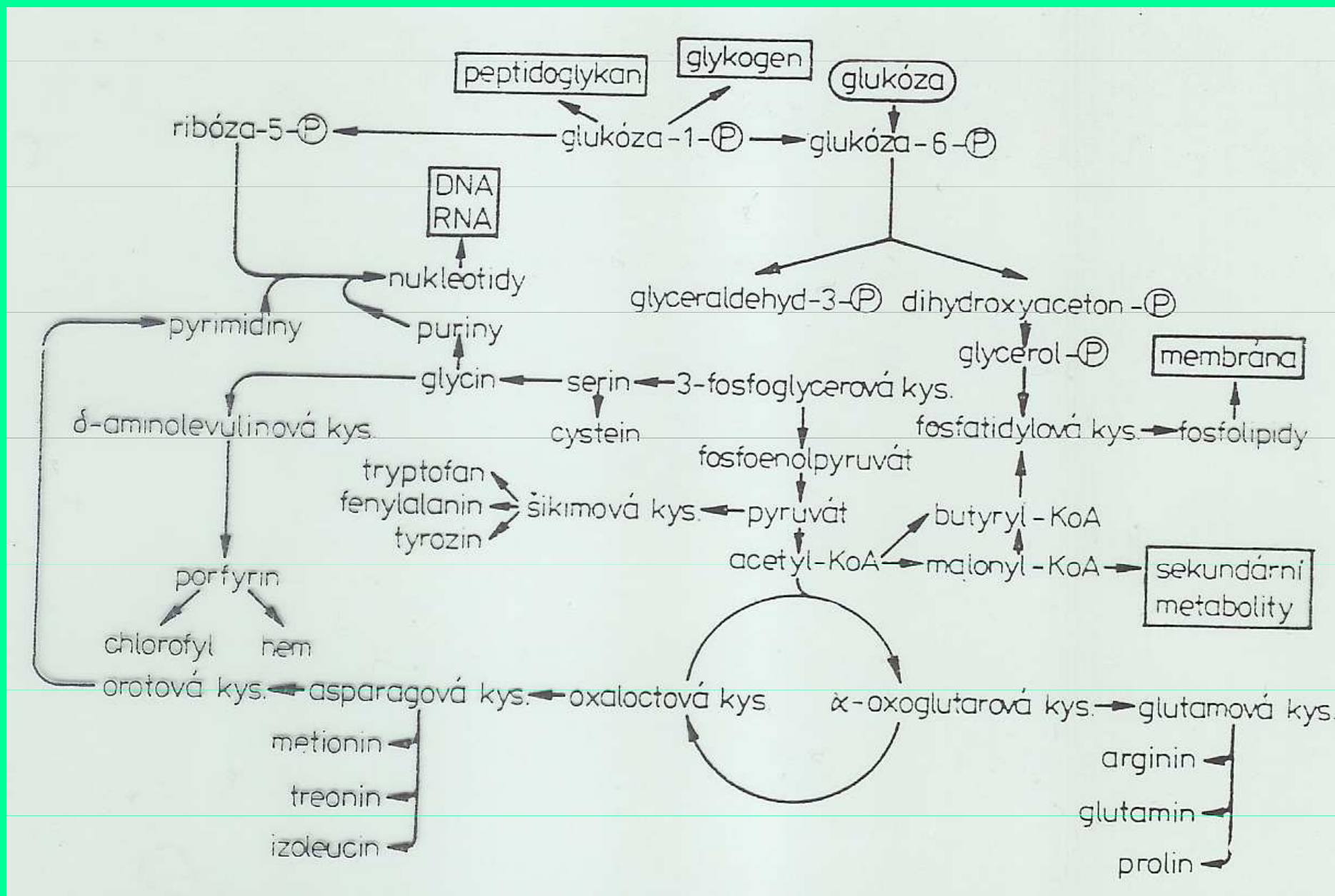
- Za větvení je zodpovědný specifický větvicí enzym



Syntéza peptidoglykanu



Shrnutí základních kroků biosyntézy



Regulace metabolismu

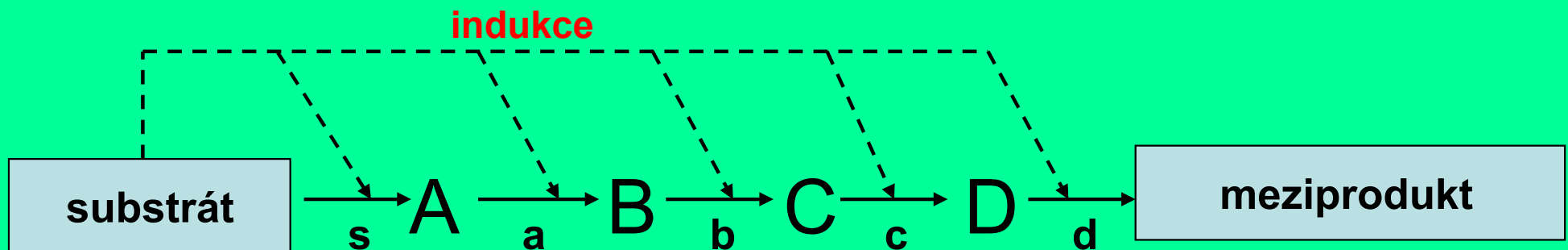
Regulace metabolismu

- Regulační systémy buňky
 - **Regulace syntézy enzymů** – zajistit odpovídající poměr mezi rychlostí syntézy enzymů a rychlostí syntézy celkové buněčné bílkoviny
 - **Regulace na úrovni aktivity enzymu** – je vlastní pouze klíčovým enzymům metabolismu
- Oba typy regulace ovlivňují “výkonnost“ dané metabolické dráhy

Regulace syntézy enzymů

- **Indukce** se uplatňuje především při katabolických procesech

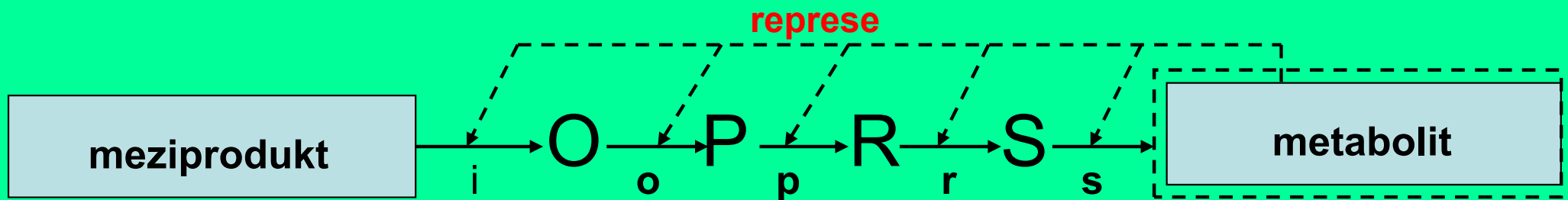
Syntetizovány jsou pouze enzymy podílející se na využívání substrátu a to pouze v případě, že substrát je přítomen



Regulace syntézy enzymů

- **Represe** – je využívána především v anabolických procesech

Energeticky je výhodné, aby enzym nebyl syntetizovaný v době, kdy je přítomen jeho produkt



Regulace syntézy enzymů

Represe

- Přítomnost konečného produktu v nadlimitní koncentraci, snižuje rychlost syntézy enzymu předchozího kroku nebo všech enzymů dráhy
- **Represe konečným produktem**
- Jestliže je však enzym nutný pro syntézu esenciální struktury buňky bude se syntetizovat nepřetržitě, ale jeho syntéza může být zpomalena

Regulace syntézy enzymů

Represe

- **Katabolická represe** – pokud jsou v prostředí dva substráty. Buňka dává přednost energeticky výhodnějšímu substrátu. Tento substrát potom vyvolá represí enzymů, které jsou nutné pro využívání substrátu druhého (diauxie)

Regulace na úrovni aktivity enzymu

- Katalytická aktivita enzymů se může
 - ~ **zvyšovat** – působením pozitivního efektoru
 - ~ **snižovat** – působením negativního efektoru
 - ~ **při inhibici konečným produktem** – produkt snižuje aktivitu prvního enzymu

