ZÁKLADNÍ METABOLICKÉ TYPY

(doplňky, poznámky, zajímavosti a komentáře)

+ "VELKÉ CYKLY PRVKŮ”

ÚVODNÍ SLOVO

Z dějin studia metabolismu je patrné, že se biochemici v počátku soustředili na dva organismy: bakterii *Escherichia coli* a samozřejmě, z přirozeného antropocentrismu, na druh *Homo sapiens*; samozřejmě je od začátku zajímaly i zelené buňky rostlin a jejich zázračná fotosyntéza. Teprve později začali studovat i další metabolické typy (viz další slide). Přitom je v poslední době stále zřejmější, že pro biosféru platí pravidlo “Co není termodynamicky zakázáno, určitě je někde k nalezení!“ a ostatní, zejména bakteriální druhy jsou tedy mimořádně zajímavé jak z hlediska obecného poznání světa (základního výzkumu), tak i z hlediska praktického využití (biotechnologie atd.).

VŠCHT PRAHA
Nepřihlášený host (1)

Cílem této prezentace je umožnit studentům nahlédnout to těchto často zdánlivě podivných metabolických krkolomností, zopakovat si při tom základy metabolismu jako takového a uvědomit si téměř strašidelnou propojenost chemických dějů v biosféře. Úkol na začátek: pečlivě si zopakujte základní rozdělení organismů podle trofiky (učebnice odst. 7.1, str. 223).

Ještě jedna poznámka: Mluvíme-li o metabolických typech, máme obvykle na mysli celé organismy. Jenže v rámci jednoho organismu mohou buňky fungovat s odlišnou „trofikou“. Například u vyšších rostlin jsou fotolithotrofní zelené buňky listů, ostatní jsou aerobně chemoorganotrofní. Podobně červené krvinky savců využívají (anaerobní) fermentativní typ metabolismu, zatímco organismy jako takové jsou aerobní chemoorganotrofové.

Na závěr prezentace jsou zařazeny tzv. velké cykly prvků, na nichž je toto propojení velmi dobře patrné.

Typ metabolismu	Zdroj C	Hlavní způsob výroby NADPH	Zdroj H (e^-)	Konečný akcept. H (e^-)	Hlavní způsob výroby ATP	Příklady organismů
FOTOLITHO-TROFY (autotrofní)	CO_2	oxygenní fotosynthesa	H_2O	CO_2	membránová fosforylace ve světlé fázi	vyšší zelené rostliny, sinice, prochlorobakterie
		anoxygenní fotosynthesa	H_2S, H_2, S			sirné purpurové a zelené bakterie
FOTOORGANO-TROFY (heterotrofní)	organ. látky	anoxygenní fotosynthesa	organické látky (mastné kys., sukcinát)	různé organické látky	fotosynthesy	bezsirné purpurové bakterie
		viz chemoorganotrofy			membránová fosforylace (bakteriorhodopsin)	*Halobacterium halobium*
CHEMOLITHO-TROFY (autotrofní)	CO_2 (fixace v Calvin. cyklu)	redukce $NADP^+$ za užití ATP	Fe^{2+}, NH_4^+, NO_2^-, S^{2-}, S, H_2, CH_4	O_2 (aerobní)	membránová fosforylace	železité, nitrifikační a bezbarvé sirné bakterie
		redukce $NADP^+$ na úkor proton-motivní síly	H_2	CO_2, S, Fe^{3+} (anaerobní)		methanogenní b., desulfurisační b.
CHEMOORGANO-TROFY (heterotrofní)	organ. látky	pentosový cyklus + "pomocné" reakce: isocitrátdehydrog. malátdehydrog. (jablečný enzym) glutamátdehydrog. + redukce $NADP^+$ pomocí NADH na úkor PMF	organické látky ("živiny")	O_2 (aerobní)	aerobní membránová fosforylace	živočichové, plísně, octové bakterie ..
				jiné extracelulární akceptory (NO_3^-, SO_4^{2-}, CO_2, fumarát) (anaerobní)	anaerobní membránová fosforylace	denitrifikační, desulfurizační, acetogenní a sukcinogení bakterie
				meziprodukty metabolismu (pyruvát, acetaldehyd,...) (fermentující)	substrátová fosforylace (pouze)	laktobacily, kvasinky, škrkavky, klostridia

VŠCHT PRAHA
Nepřihlášený host (1)

FOTOLITHOTROFY

(klíčové slovo: fotosyntéza)

světlá fáze

$h\nu \rightarrow$ PMF $\rightarrow$ ATP-synthasa

$$\mathbf{ADP + P_i \longrightarrow ATP + H_2O}$$

$h\nu \rightarrow$ PS I $\rightarrow$? PS II

$$\mathbf{NAD(P)^+ + H_2D \longrightarrow NAD(P)H + H^+ + D}$$

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

D = kyslík: oxygenní (PS I + PS II; šlo by to s jedním PS?)

= jiný donor elektronů (H_2S, H_2 ..): anoxygenní (1 PS)

Světlá fáze fotosyntézy je celkem pečlivě vysvětlena v odst. 8.4.2 a 8.4.3 (učebnice str. 259 – 264).
Pojem anoxygenní fotosyntéza (učebnice str. 263) vysvětluje použití značky D v dolní části slidu.

Pozn.: Lithos je řecky kámen; lithotrofy získávají vodík (redukční činidlo) z anorganických látek a umějí si syntetizovat organické látky z CO_2. (v tomto smyslu jsou pojmy lithotrofní a autotrofní téměř identické).

temná fáze

***sumárně*:**

$CO_2 + 2\ (NAD(P)H + H^+) + nATP \rightarrow (HCOH) + 2\ NAD(P)^+ + nADP + nP_i$

tři fáze *(schematicky = bez ATP):*

- fixace: $C_5 + CO_2 \rightarrow 2\ C_3$

ribulosa-1,5-bisfosfát 3-fosfoglycerát

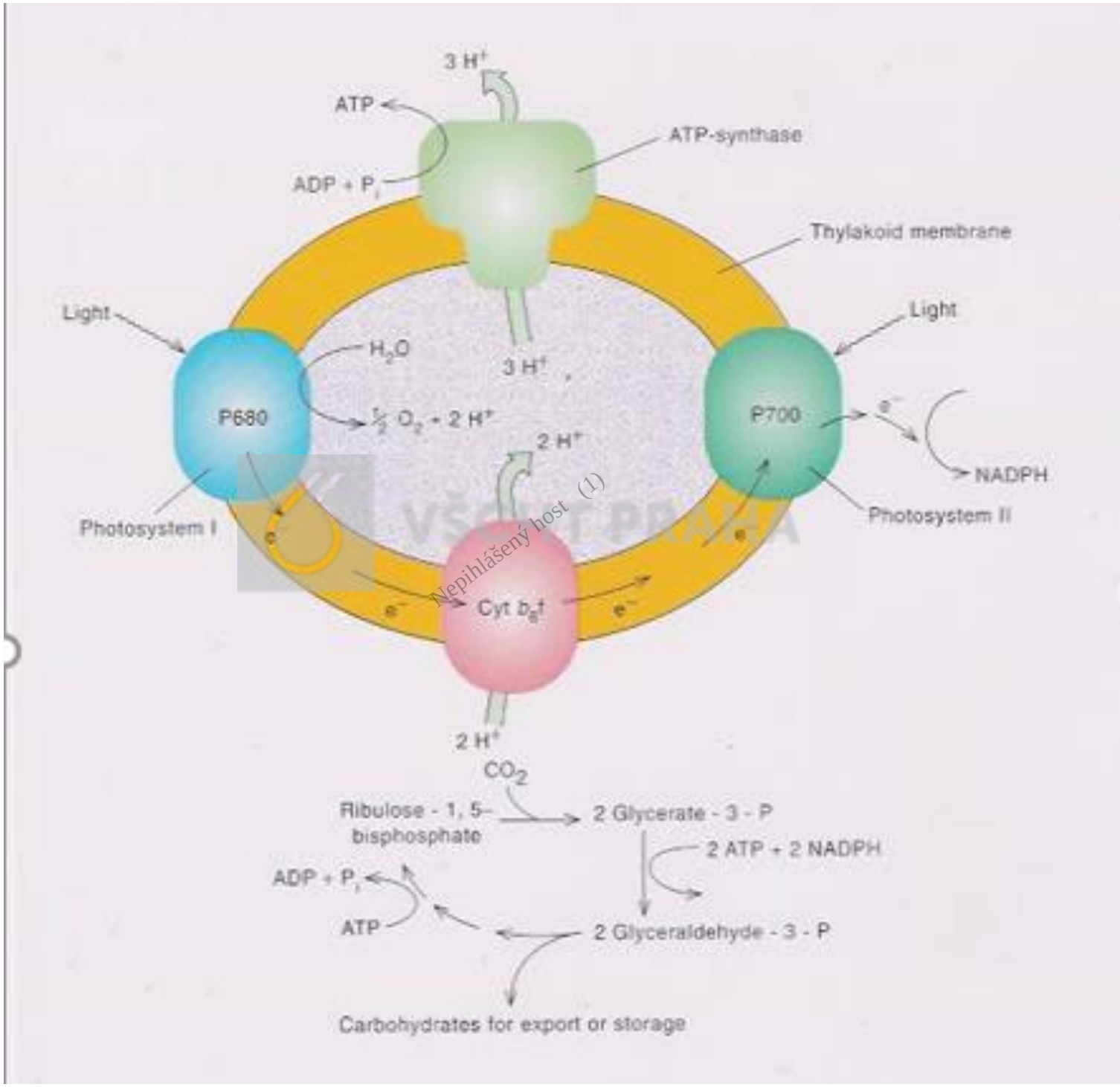
VŠCHT PRAHA
Nepřihlášený host (1)

- synthesa C_6 (analogie glukogenese): $2\ C_3 + 2\ (NAD(P)H + H^+) \rightarrow C_6$

- regenerace akceptoru: $5\ C_3 \rightarrow 3\ C_5$ (Calvinův cyklus)

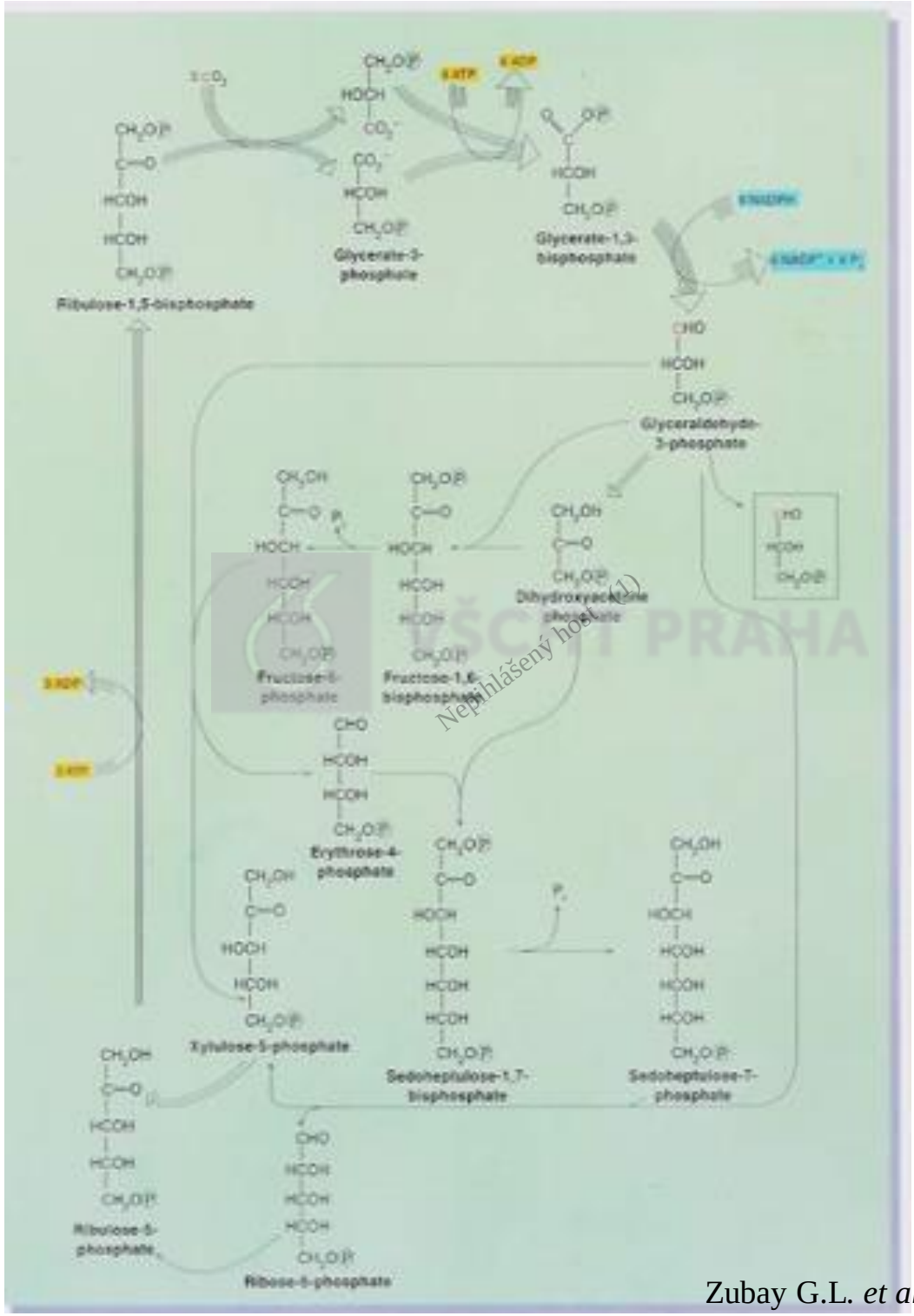
Temná fáze fotosyntézy podrobně popsána v odst. 10.10 (učebnice str. 315, následující dva slidy jsou pouze opakovací).

HCOH: Tento podivný útvar, za starých časů zvaný „monosová jednotka“, je sumární rozdíl mezi triosou a tetrosou, mezi pentosou a hexosou atd.; jinými slovy: je to strukturní forma zabudovaného uhlíku v sacharidech



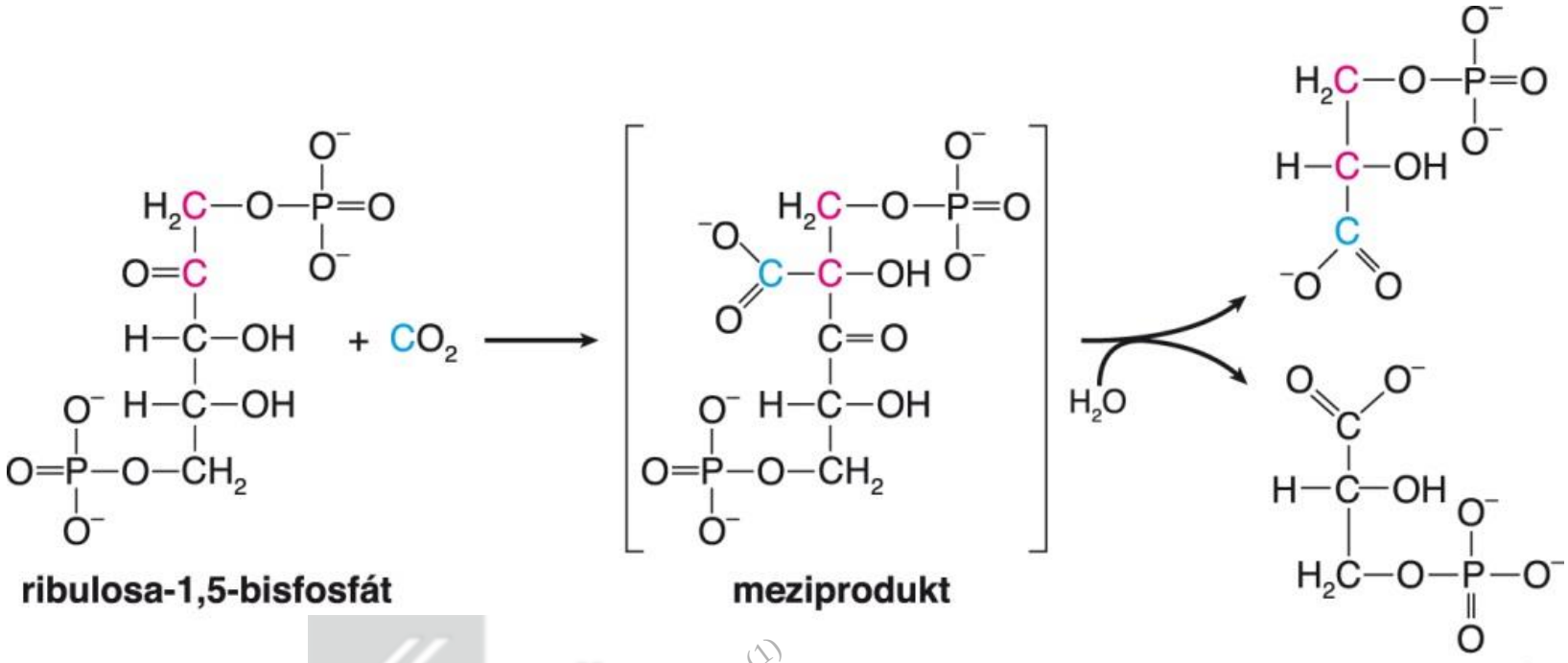
Nepihlášený host (1)

Zubay G.L. *et al*: Principles of Biochemistry, 1995



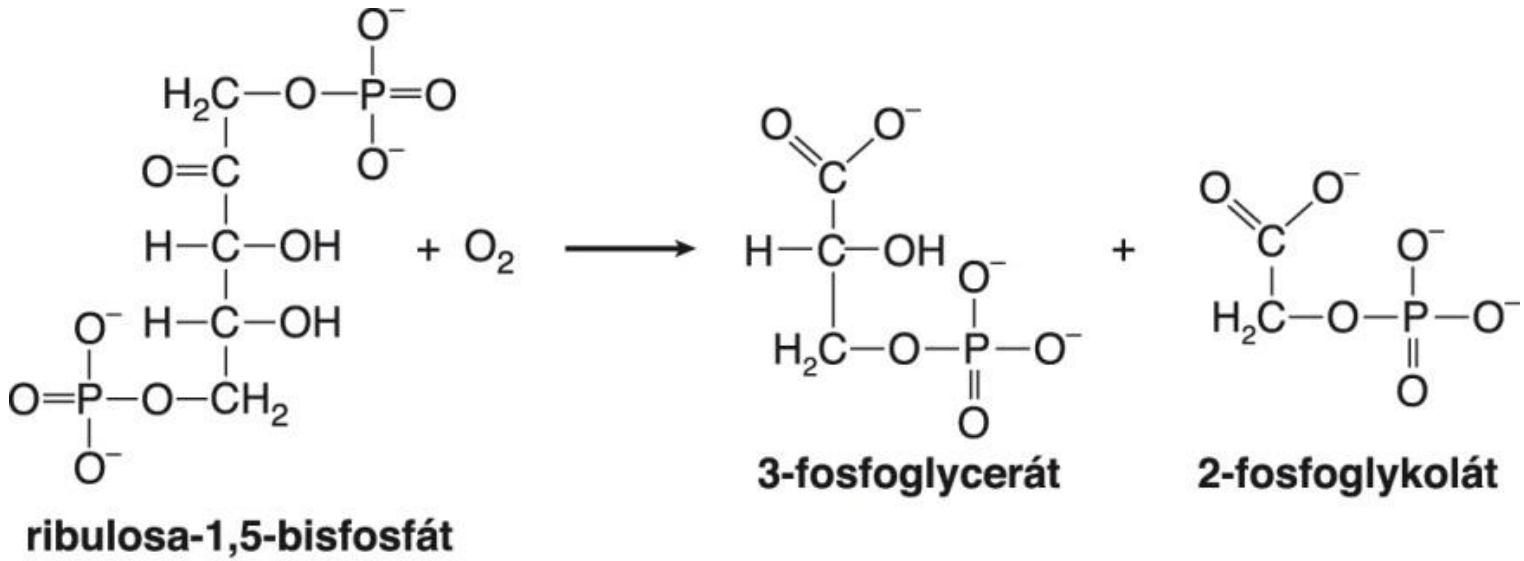
VŠCHT PRAHA
Nepřihlášený host (1)

Zubay G.L. *et al*: Principles of Biochemistry, 1995



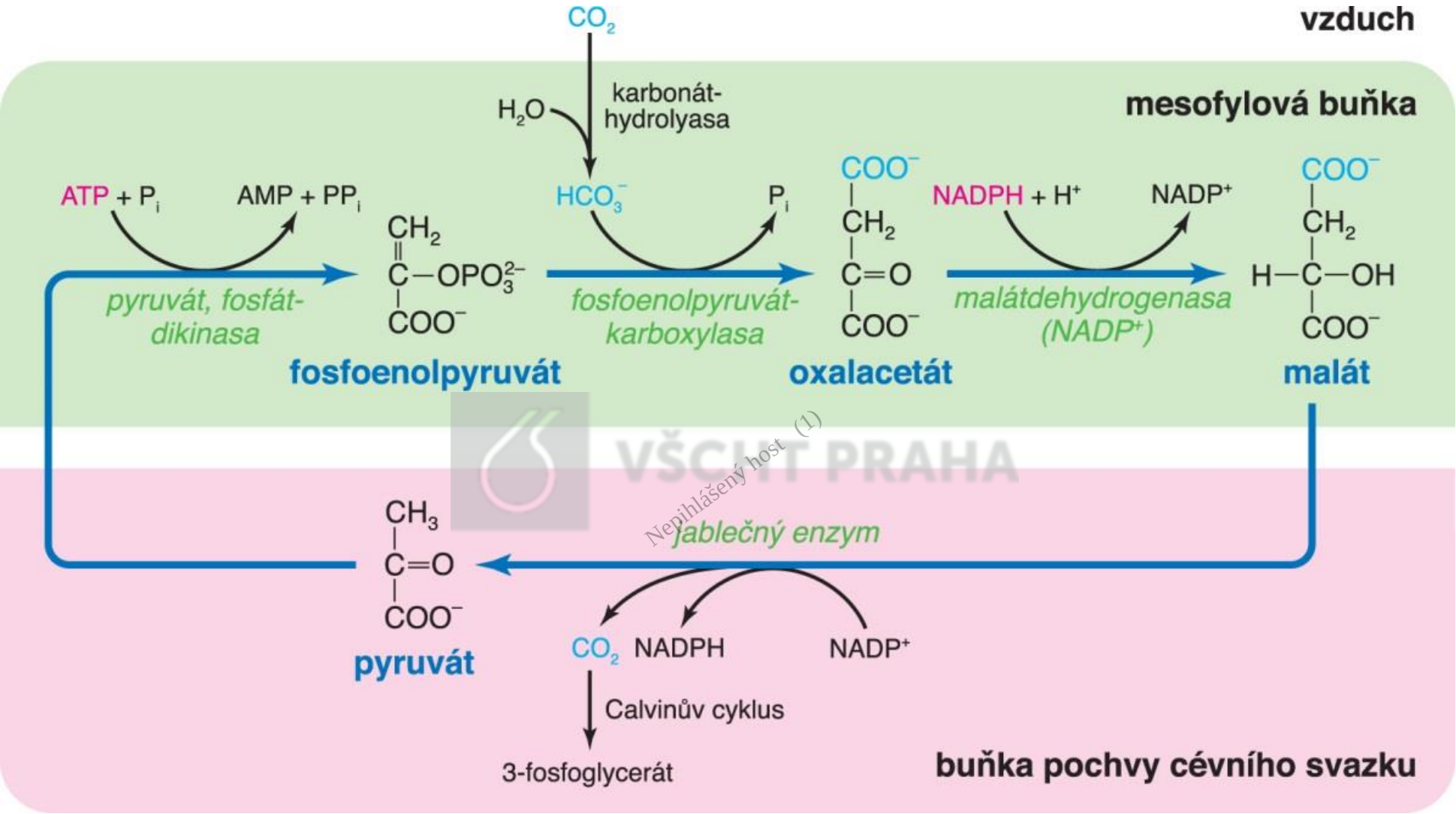
zachycení CO_2 katalyzované Rubiscem

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)



fotorespirace

C4-rostliny (oddělení v prostoru)



VŠCHT PRAHA
Nepřihlášený host (1)

CAM-rostliny (oddělení v čase)

přes den (dost ATP a NADPH): výroba škrobu z malátu (uložen ve vakuolách)

přes noc: štěpení škrobu na fosfoenolpyruvát a syntéza malátu (fixace CO_2)

Vsuvka: Sekundární metabolismus

Definice: *Primární metabolismus*: děje nezbytné pro zajištění energie a syntézu základních složek; u všech organismů více-méně stejný.

Sekundární metabolismus: syntéza produktů, nemajících základní význam v ekonomice organismu; významný zejména u rostlin a mikroorganismů

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

Příklady sekundárních matabolitů:

alkaloidy (dusíkaté látky rostlin): zásobárna dusíku pro nepříznivá období
ochrana rostlin (silné a specifické účinky na živočišné organismy)
využití v medicíně, ale také jedy a návykové látky

barviva: anthokyaniny, karotenoidy, pyrrolová barviva (hem, cholesterol)

chinoidní látky: ubichinon, plastochinon, vitamin K

lignin: polymer (methoxyfenylpropanové jednotky), v jehličnanech až 50 % hmotnosti dřeva

kaučuk, antibiotika a tisíce dalších

Typ metabolismu	Zdroj C	Hlavní způsob výroby NADPH	Zdroj H (e^-)	Konečný akcept. H (e^-)	Hlavní způsob výroby ATP	Příklady organismů
FOTOLITHO-TROFY (autotrofní)	CO_2	oxygenní fotosynthesa	H_2O	CO_2		vyšší zelené rostliny, sinice, prochlorobakterie
		anoxygenní fotosynthesa	H_2S, H_2, S		membránová fosforylace ve světlé fázi	sirné purpurové a zelené bakterie
FOTOORGANO-TROFY (heterotrofní)	organ. látky	anoxygenní fotosynthesa	H_2 organické látky (mastné kys., sukcinát)	různé organické látky	fotosynthesy	bezsirné purpurové bakterie
		viz chemoorganotrofy			membránová fosforylace (bakteriorhodopsin)	*Halobacterium halobium*
CHEMOLITHO-TROFY (autotrofní)	CO_2 (fixace v Calvin. cyklu)	redukce $NADP^+$ za užití ATP	Fe^{2+}, NH_4^+, NO_2^-, S^{2-}, S, H_2, CH_4	O_2 (aerobní)	membránová fosforylace	železité, nitrifikační a bezbarvé sirné bakterie
		redukce $NADP^+$ na úkor proton-motivní síly	H_2	CO_2, S, Fe^{3+} (anaerobní)		methanogenní b., desulfurisační b.
CHEMOORGANO-TROFY (heterotrofní)	organ. látky	pentosový cyklus + "pomocné" reakce: isocitrátdehydrog. malátdehydrog. (jablečný enzym) glutamátdehydrog. + redukce $NADP^+$ pomocí NADH na úkor PMF	organické látky ("živiny")	O_2 (aerobní)	aerobní membránová fosforylace	živočichové, plísně, octové bakterie ..
				jiné extracelulární akceptory (NO_3^-, SO_4^{2-}, CO_2, fumarát) (anaerobní)	anaerobní membránová fosforylace	denitrifikační, desulfurizační, acetogenní a sukcinogení bakterie
				meziprodukty metabolismu (pyruvát, acetaldehyd,...) (fermentující)	substrátová fosforylace (pouze)	laktobacily, kvasinky, škrkavky, klostridia

VŠCHT PRAHA
Nepřihlášený host (1)

Fotolithotrofní mikroorganismy

U prokaryot: světlá fáze v cytoplasmové membráně, temná v cytosolu (kde taky jinde?)

bakteriochlorofyl (mírně odlišný od chlorofylu zelených rostlin, schopnost absorpce: 450 - 550 nm a v blízké IČ - 870 nm)

anoxygenní fotosyntéza: příklad: sirné bakterie (stačí jeden fotosystém):

při dostatku H_2S: $CO_2 + 2\ H_2S \rightarrow$ <HCOH> $+ 2\ S + H_2O$ (S se ukládá jako zásobní do vakuol)

při nedostatku H_2S: $2\ CO_2 + H_2S + 2\ H_2O \rightarrow 2$ <HCOH> $+ H_2SO_4$ (chemická frajeřina: z jednoho atomu síry zisk 8-mi elektronů)

nebo ze zásob S: $3\ CO_2 + 2\ S + 5\ H_2O \rightarrow 3$ <HCOH> $+ 2\ H_2SO_4$

u některých bakterií: redukce $NADP^+$ „zpětným tokem" e^- ETC (slide č. 13)

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

Fotoorganotrofy

synthesa ATP ve světlé fázi (jako všichni fototrofové); žijí tam, kde je dost organických látek (např. ve vrstvě vody pod hladinou moří, kam klesají látky z odumřelého planktonu), tak proč by se namáhali s jejich syntézou?

„bezchlorofylová fotosyntéza": u archeí, v membráně mají **bakteriorhodopsin** (aktivní transport H^+, čímž vytvářejí proton-motivní sílu – zdrojem energie světlo, viz předcházející prezentace o aktivním transportu), syntéza ATP pomocí ATP-synthasy; organotrofy: nepotřebují redukční činidlo (NADPH nebo NADH pro redukco CO_2)

u extremních halofilů (vysoké pH a $[Na^+]$): bakteriorhodopsin pumpuje z buňky místo H^+ Na^+; místo protonmotivní síly „sodnomotivní síla"

Typ metabolismu	Zdroj C	Hlavní způsob výroby NADPH	Zdroj H (e^-)	Konečný akcept. H (e^-)	Hlavní způsob výroby ATP	Příklady organismů
FOTOLITHO-TROFY (autotrofní)	CO_2	oxygenní fotosynthesa	H_2O	CO_2	membránová fosforylace ve světlé fázi	vyšší zelené rostliny, sinice, prochlorobakterie
		anoxygenní fotosynthesa	H_2S, H_2, S			sirné purpurové a zelené bakterie
FOTOORGANO-TROFY (heterotrofní)	organ. látky	anoxygenní fotosynthesa	H_2 organické látky (mastné kys., sukcinát)	různé organické látky	fotosynthesy	bezsirné purpurové bakterie
		viz chemoorganotrofy			membránová fosforylace (bakteriorhodopsin)	*Halobacterium halobium*
CHEMOLITHO-TROFY (autotrofní)	CO_2 (fixace v Calvin. cyklu)	redukce $NADP^+$ za užití ATP	Fe^{2+}, NH_4^+, NO_2^-, S^{2-}, S, H_2, CH_4	O_2 (aerobní)	membránová fosforylace	železité, nitrifikační a bezbarvé sirné bakterie
		redukce $NADP^+$ na úkor proton-motivní síly	H_2	CO_2, S, Fe^{3+} (anaerobní)		methanogenní b., desulfurisační b.
CHEMOORGANO-TROFY (heterotrofní)	organ. látky	pentosový cyklus + "pomocné" reakce: isocitrátdehydrog. malátdehydrog. (jablečný enzym) glutamátdehydrog. + redukce $NADP^+$ pomocí NADH na úkor PMF	organické látky ("živiny")	O_2 (aerobní)	aerobní membránová fosforylace	živočichové, plísně, octové bakterie ..
				jiné extracelulární akceptory (NO_3^-, SO_4^{2-}, CO_2, fumarát) (anaerobní)	anaerobní membránová fosforylace	denitrifikační, desulfurizační, acetogenní a sukcinogení bakterie
				meziprodukty metabolismu (pyruvát, acetaldehyd,...) (fermentující)	substrátová fosforylace (pouze)	laktobacily, kvasinky, škrkavky, klostridia

VŠCHT PRAHA
Nepřihlášený host (1)

CHEMOLITHOTROFY

Aerobní

Bakterie	Donor e^-	Produkt	$\Delta G^{o\prime}$ (kJ/mol)	Poznámka
oxidující H_2	H_2	H_2O	-237	
bezbarvé sírné	H_2S S, $S_2O_3^{2-}$	(S zásoba) H_2SO_4	-795	biometalurgie, koroze trubek
nitrifikační	NH_4^+ NO_2^-	NO_2^- NO_3^-	-271 -77	koloběh N v přírodě
železité	Fe^{2+}	Fe^{3+}	-44	ucpávání trubek, vznik železirých hornin
methanotrofní	CH_4	CO_2		oxidují pouze jednouhl. látky

VŠCHT PRAHA
Nepřihlášený host (1)

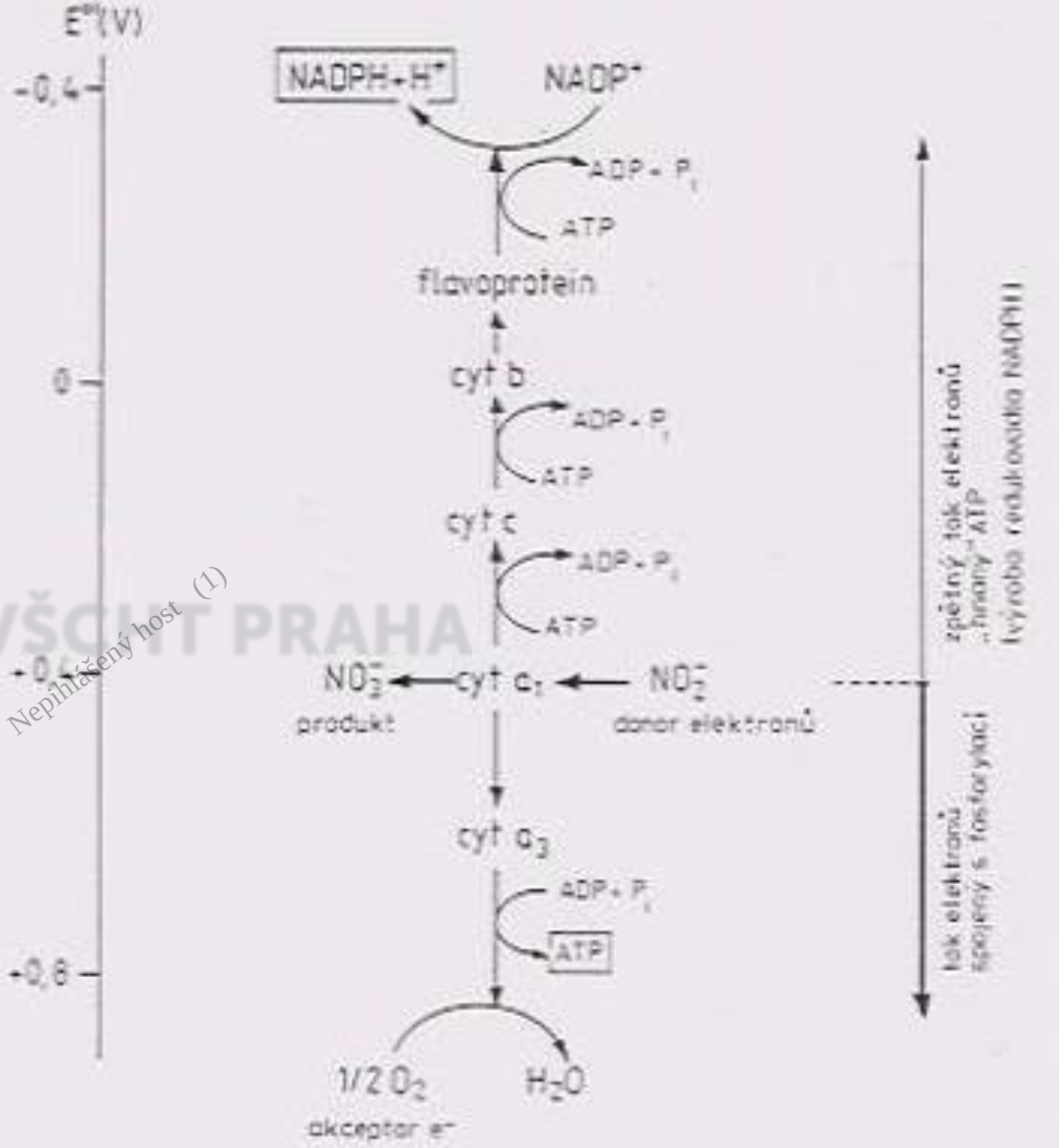
Parádní chemická finta: Pomocí kyslíku tyto organismy oxidují nějaké redukční činidlo (zde „donor elektronů“), čímž získají jak energii (exergonická reakce, viz **$\Delta G^{o\prime}$**) pro aktivní transport protonů (vznik PMF) a následnou membránovou fosforylaci, tak i elektrony pro redukci $NAD(P)^+$ za vzniku NAD(P)H, potřebného pro redukci CO_2 a syntézu organických látek.
Musejí samozřejmě žít tam, kde redukční činidlo i O_2 jsou k disposici; na druhé straně, v takovýchto nikách není velká konkurence ostatních organismů.

Synthesa NADPH:

opačný tok elektronů ETC

(elektron-transportním

řetězcem) hnaný ATP



Respirační řetězec a opačný tok elektronů „hnaných" ATP u *Nitrobacter*

VŠCHT PRAHA
Nepřihlášený host (1)

Jedna z fint, jak získat NADPH:
Dusitanové ionty se oxidují na dusičnanové. Část elektronů putuje po spádu redoxního potenciálu (na obr. dolů), aby posléze zredukovaly kyslík; energie tohoto transportu je využita k aktivnímu transportu H^+, vzniku PMF a následné membránové fosforylaci; vzniká tak ATP.

Jiné elektrony postupují z hlediska redoxního potenciálu opačným směrem (zde nahoru). Přes přenašeče elektronů (zde cytochromy c a b a flavoprotein) dospějí až k $NADP^+$, který zredukují na NADPH. Tento tok elektronů je endergonický; k jeho „pohonu" se využívá ATP, vzniklé při výše popsané membránové fosforylaci. *Kdo tohle vymyslel, musel fyzikální chemii dost umět!!*

Vodrážka Zd.: Biochemie, 1993

Anaerobní

donorem e^- (redukčním činidlem) je vždy plynný H_2 => žijí v konsorciích s bakteriemi produkujícími H_2 (viz slide 21)

produkce NADPH: redukce $NADP^+$ na úkor proton-motivní síly (viz předchozí slide)

Bakterie	**Akceptor e^-**	**Produkt**	**Poznámky**
methanogenní	CO_2	CH_4	mohou též redukovat CH_3COO^- a $HCOO^-$ anaerobní čištění odpadních vod
bezbarvé sirné	SO_4^{2-}	H_2S, S	
železité	Fe^{3+}	Fe^{2+}	

VŠCHT PRAHA
Nepřihlášený host

Typ metabolismu	Zdroj C	Hlavní způsob výroby NADPH	Zdroj H (e^-)	Konečný akcept. H (e^-)	Hlavní způsob výroby ATP	Příklady organismů
FOTOLITHO-TROFY (autotrofní)	CO_2	oxygenní fotosynthesa	H_2O	CO_2	membránová fosforylace ve světlé fázi	vyšší zelené rostliny, sinice, prochlorobakterie
		anoxygenní fotosynthesa	H_2S, H_2, S			sirné purpurové a zelené bakterie
FOTOORGANO-TROFY (heterotrofní)	organ. látky	anoxygenní fotosynthesa	H_2 organické látky (mastné kys., sukcinát)	různé organické látky	fotosynthesy	bezsirné purpurové bakterie
		viz chemoorganotrofy			membránová fosforylace (bakteriorhodopsin)	*Halobacterium halobium*
CHEMOLITHO-TROFY (autotrofní)	CO_2 (fixace v Calvin. cyklu)	redukce $NADP^+$ za užití ATP	Fe^{2+}, NH_4^+, NO_2^-, S^{2-}, S, H_2, CH_4	O_2 (aerobní)	membránová fosforylace	železité, nitrifikační a bezbarvé sirné bakterie
		redukce $NADP^+$ na úkor proton-motivní síly	H_2	CO_2, S, Fe^{3+} (anaerobní)		methanogenní b., desulfurisační b.
CHEMOORGANO-TROFY (heterotrofní)	organ. látky	pentosový cyklus + "pomocné" reakce: isocitrátdehydrog. malátdehydrog. (jablečný enzym) glutamátdehydrog. + redukce $NADP^+$ pomocí NADH na úkor PMF	organické látky ("živiny")	O_2 (aerobní)	aerobní membránová fosforylace	živočichové, plísně, octové bakterie ..
				jiné extracelulární akceptory (NO_3^-, SO_4^{2-}, CO_2, fumarát) (anaerobní)	anaerobní membránová fosforylace	denitrifikační, desulfurizační, acetogenní a sukcinogení bakterie
				meziprodukty metabolismu (pyruvát, acetaldehyd,...) (fermentující)	substrátová fosforylace (pouze)	laktobacily, kvasinky, škrkavky, klostridia

VŠCHT PRAHA
Neprihlásený host (1)

CHEMOORGANOTROFY

Aerobní: prototyp: savčí buňky, také aerobní kvasinky, plísně apod. (učebnice odst. 7.3, str. 228 – zcela povinné!)

v nadbytku živin někdy nedospějí až k CO_2 a H_2O (tzv. „nepravé fermentace“, využíváno v biotechnologiích, základní živina: glukosa)

např.: výroba kys. citronové a fumarové (povinná úvaha: naznačte metabolickou dráhu glc → citrát, vzpomeňte si na pyruvát-malátový cyklus)

výroba kys. glukonové (odhadněte metabolickou dráhu!)

octové kvašení: $CH_3CH_2OH + O_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$ (výroba octa, nepřítel všech vinařů)

VŠCHT PRAHA
Nepřihlášený host (1)

Anaerobní respirující: jiný extracelulární akceptor H (e^-) než O_2: (anaerobní respirace, učebnice odst. 8.3, str. 255)

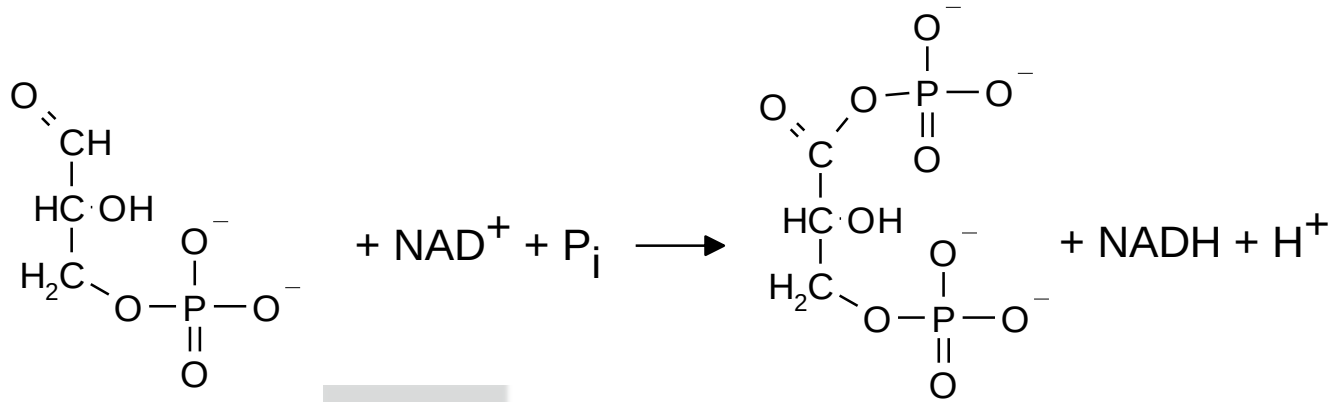
$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow N_2O \rightarrow N_2 \rightarrow NO_3^-$	denitrifikační bakterie
$SO_4^{2-} \rightarrow S \rightarrow H_2S$	desulfurizační bakterie
CO_2 (HCO_3^-) $\rightarrow CH_3COO^-$	acetogenní bakterie
fumarát → sukcinát	sukcinogenní bakterie

Fermentující (v biochemickém pojetí)**:** anaerobní chemoorganotrofové, kteří:

- nepřijímají oxidační (ani redukční) činidla z vnějšího prostředí (probíhají zde samozřejmě vzájemné oxidačně-redukční reakce meziproduktů metabolismu)
- neprovozují membránovou fosforylaci (nemají ETC) → ATP vzniká pouze substrátovou fosforylací

Problém fermetujících buněk: jak reoxidovat NADH vzniklý v glykolyse

Jinými slovy: jak regenerovat regenerace NAD^+ pro reakci (bez ní by glykolysa neběžela):



Možnosti této regenerace (zajímavé příklady):

VSCHT PRAHA
Nepřihlášený host (1)

<u>mléčná (laktátová) fementace</u> (závěr tzv. anaerobní glykolsy, učebnice obr. 10.5 str.299):

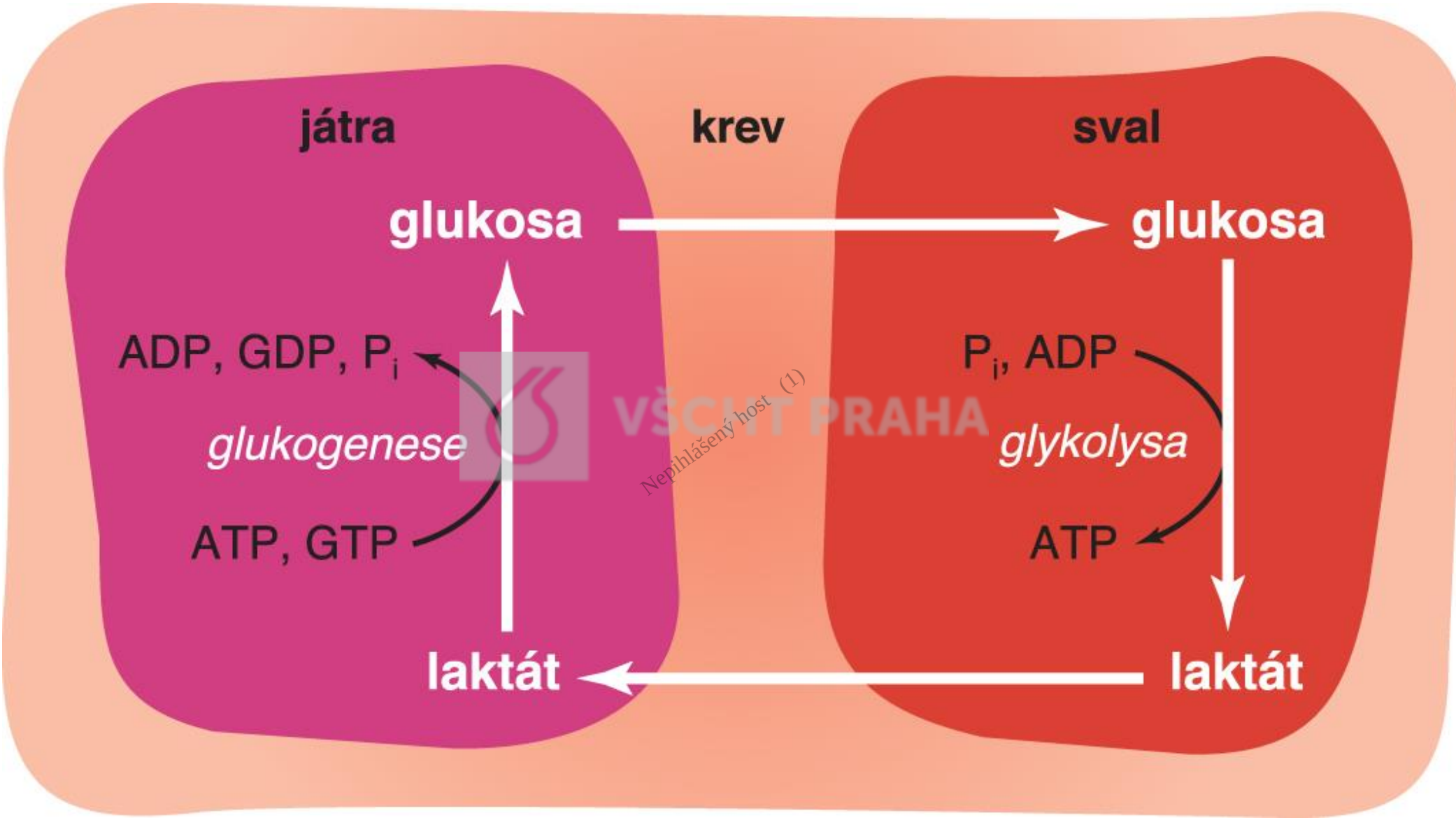
$$CH_3\text{-}CO\text{-}COO^- + NADH + H^+ \xrightarrow{\text{laktátdehydrogenasa}} \mathbf{CH_3\text{-}CHOH\text{-}COO^-} + NAD^+$$

mléčné bakterie (laktobacily) – specialisté, laktátová fermentace je jejich hlavní katabolická dráha, výroba kyselého zelí apod.

některé buňky aerobních chemoorganotrofů (využívají Coriho cyklus):

- svalové buňky při nedostatku O_2
- červené krvinky („pseudobuňky“ bez mitochondrie, vsuvka 6/10, str. 192)

CORIHO CYKLUS



VŠCHT PRAHA
Nepřihlášený host (1)

Viz učebnice str. 305, totéž platí samozřejmě pro červené krvinky
Rozvažte, jak je tato šaráda (dráha od glukosy ke glukose) z energetického hlediska celkově výhodná (či nevýhodná); energetické nároky membránového transportu pro tuto chvíli zanedbejte!

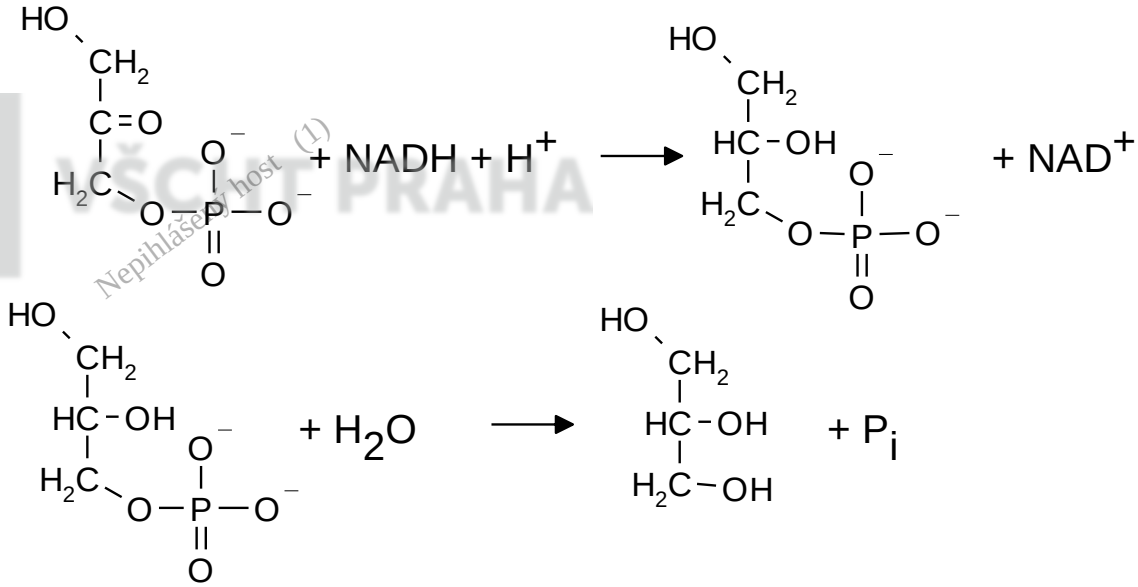
ethanolová fermentace (alkoholové kvašení, nejstarší a nejvýznamnější biotechnologie (světově 75 % zisku tohoto průmyslového odvětví, učebnice obr. 10.5 str.299):

$CH_3\text{-}CO\text{-}COO^- + H^+ \rightarrow CH_3\text{-}CHO + CO_2$ (pyruvátdekarboxylasa)

$CH_3\text{-}CHO + NADH + H^+ \rightarrow \mathbf{CH_3\text{-}CH_2OH} + NAD^+$ (alkoholdehydrogenasa)

za anaerobních podmínek zajišťují vinné (též pivní) kvasinky *Saccharomyces cerevisiae*, za aerobních podmínek tyto kvasinky glukosu plně zoxidují (jsou fakultativně anaerobní)

glycerolová fermentace:



VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

Neubergův typ nefysiologické fermentace (kvasinka *S. cerevisiae*)

V prostředí přítomen disiřičitan sodný ($Na_2S_2O_5$), který reaguje s acetaldehydem a zabrání jeho dehydrogenaci (viz výše)

klasická metoda výroby glycerolu (dnes synthesou a jako odpad při zpracování triacylglycerolů)

fermentace vycházející z acetyl-CoA

CH_3-CO-COO^- + HSCoA $\rightarrow$ **CH_3-CO-SCoA** + CO_2 + H_2

uvolňování vodíku - viz anaerobní chemolithotrofy (slide 15), většina střevních bakterií

dále dvě možnosti:

A: CH_3-CO-SCoA + NADH + H^+ + H_2O $\rightarrow$ CH_3-CHO + HSCoA + NAD^+

CH_3-CHO + NADH + H^+ $\rightarrow$ CH_3-CH_2OH + NAD^+

Jedna molekula acetyl-CoA umožní oxidaci dvou molekul NADH $\rightarrow$ jeden acetyl-CoA lze použít na substrátovou fosforylaci (acetylCoA-ligasa, srov. sukcinylCoA-ligasovou reakci z citrátového cyklu):

acetyl-SCoA + ADP + P_i $\rightarrow$ CH_3-COO^- + HSCoA + ATP

B: kondensace 2 acetyl-SCoA $\rightarrow$ acetoacetyl-SCoA (jen naznačeno)

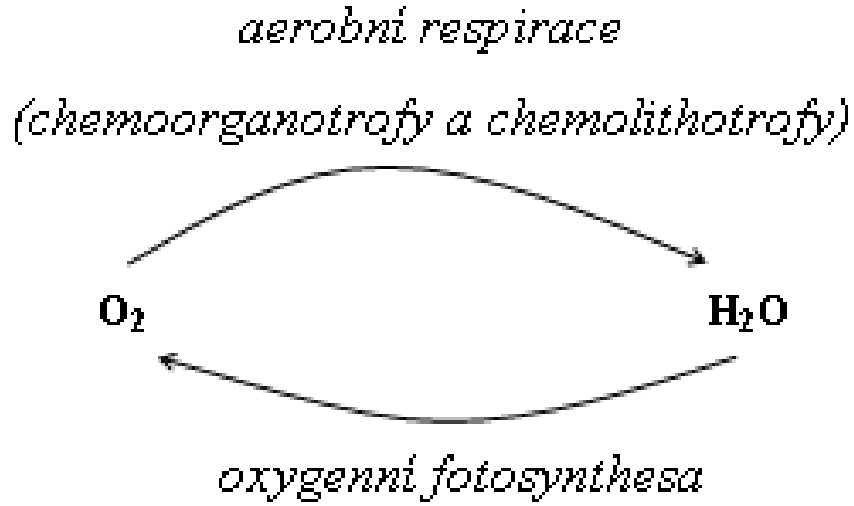
poté redukce za vzniku různých produktů: kys. máselné, 1-butanolu, acetonu, 2-propanolu apod.

výroba organických rozpouštědel, zejména v 1. pol. 20.století (dnes hlavně petrochemicky)

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

KOLOBĚH PRVKŮ V PŘÍRODĚ

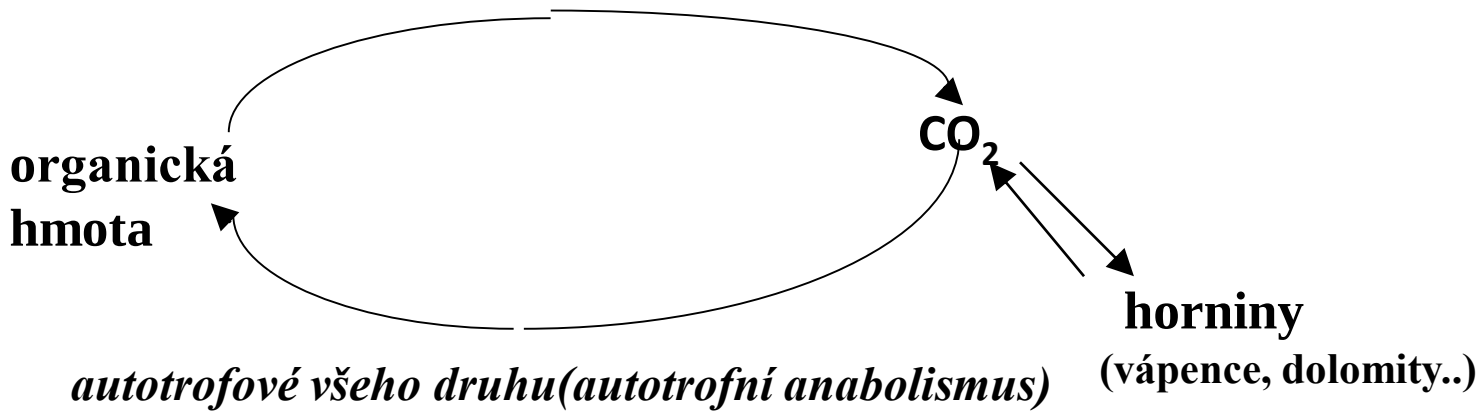
kyslík



VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

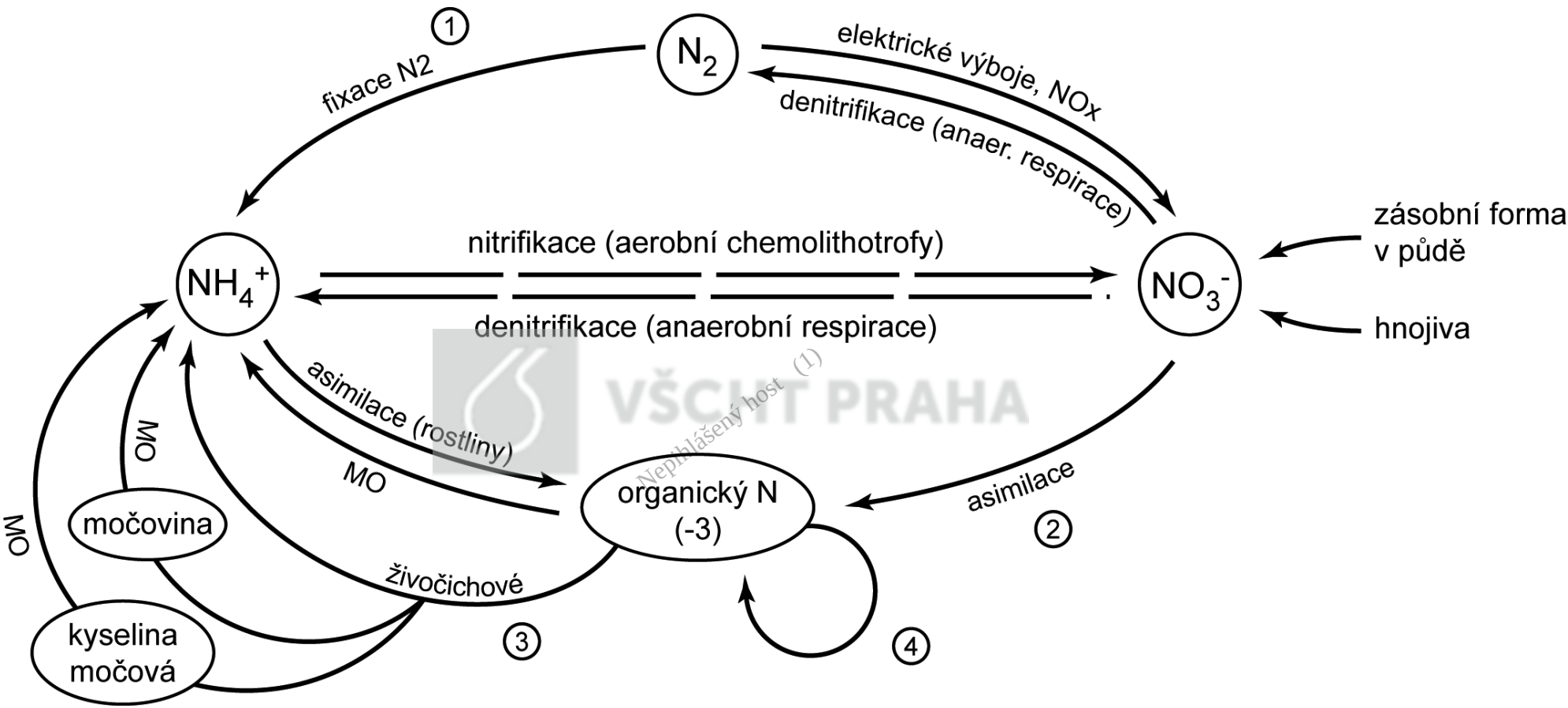
heterotrofové všeho druhu (katabolismus)

uhlík



Bez komentáře: Tomu rozumí každé malé dítě!!!

dusík

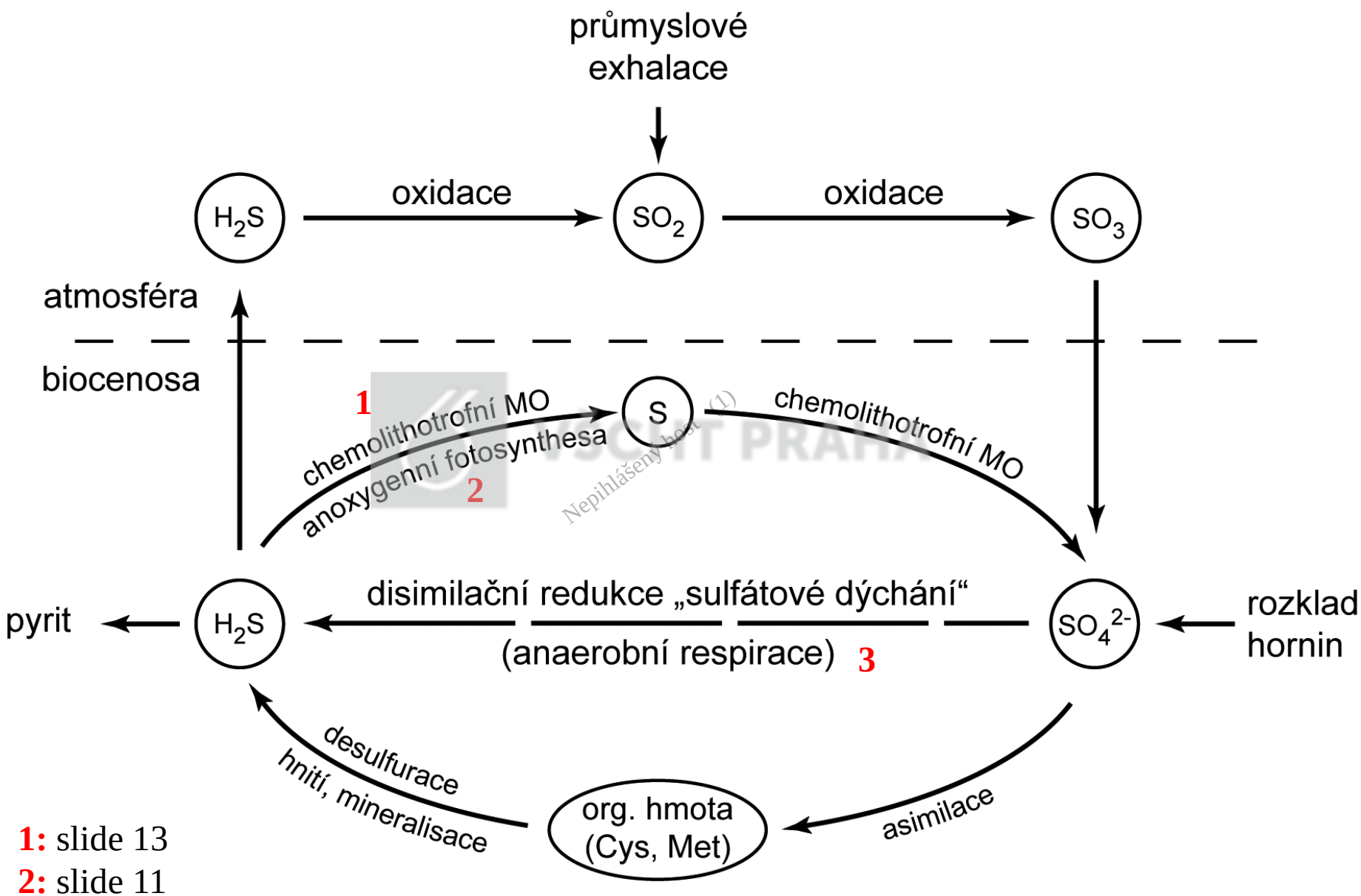


VŠCHT PRAHA
Nepřihlášený host (1)

Viz obr. 12.1 (učebnice str. 342)

nitrifikace: slide 13, denitrifikace: slide 17

síra



VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

1: slide 13
2: slide 11
3: slide 17