



MUNI  
PŘÍRODOVĚDECKÁ  
FAKULTA

# Biologické čištění odpadních vod

Odstranění nutrientů

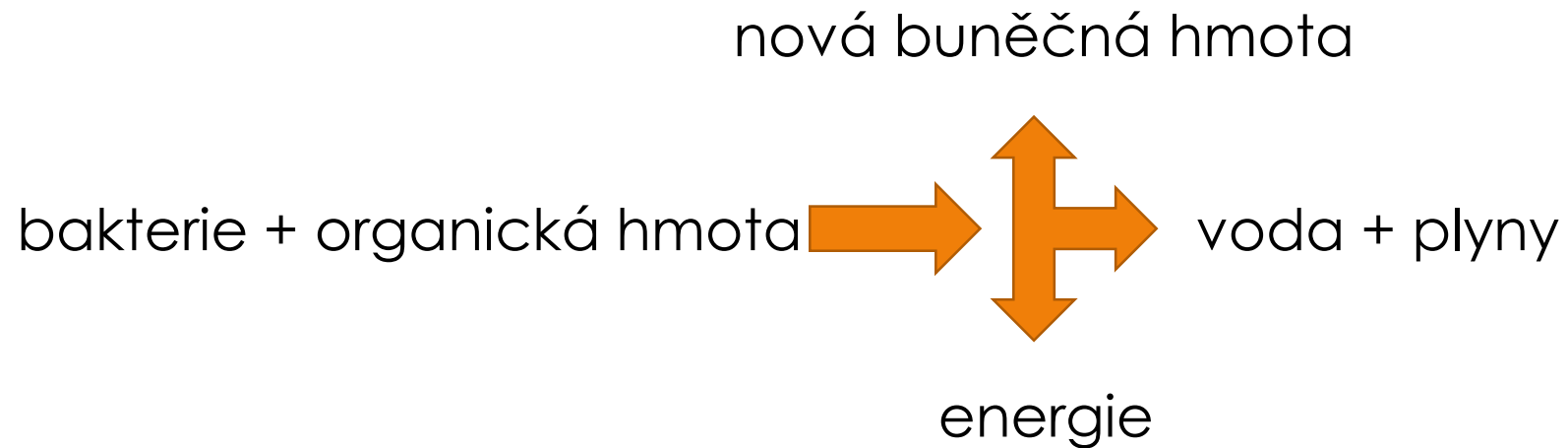
09.04.2022

Tomáš Vítěz

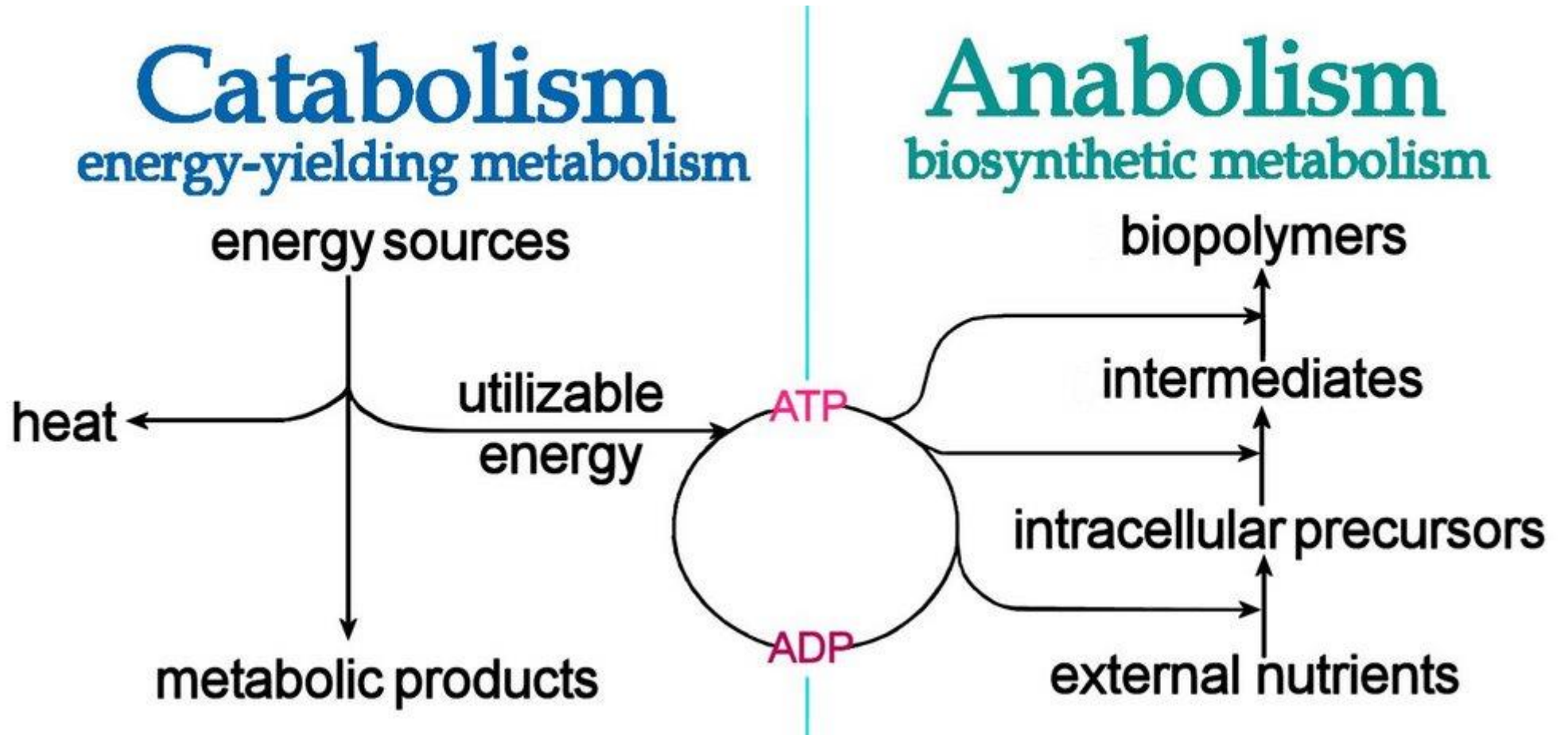
Monika Vítězová

# Biologické čištění – aktivační proces

## **zjednodušené schéma rozkladu organické hmoty**



# Biologické čištění – metabolismus



# Biologické čištění – katabolismus

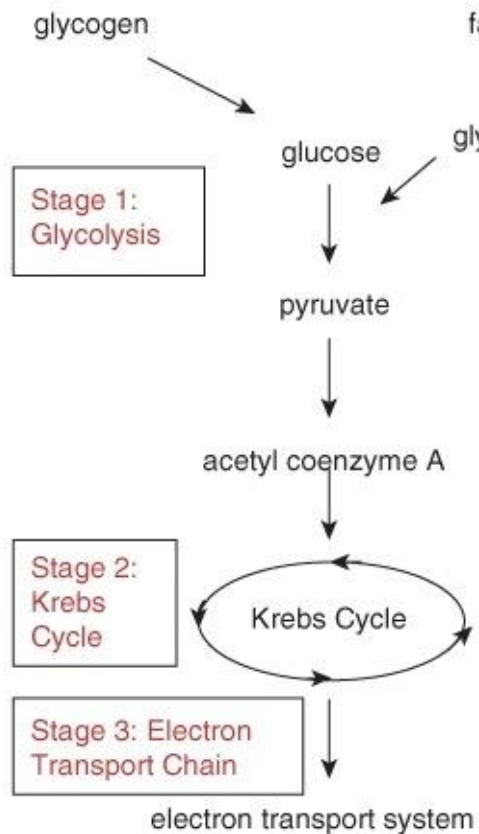
## Aerobní respirace

- ATP je produkován, substrát je oxidován,
- O<sub>2</sub> slouží jako terminální akceptor elektronu,
- donorem elektronu je organická nebo anorganická látka,



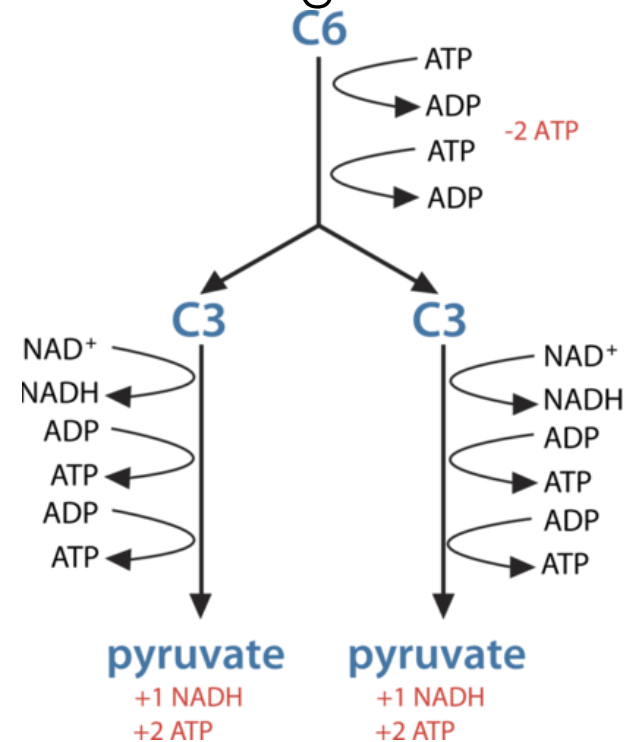
# Biologické čištění – katabolismus

## Glykolýza - univerzální cesta k tvorbě ATP



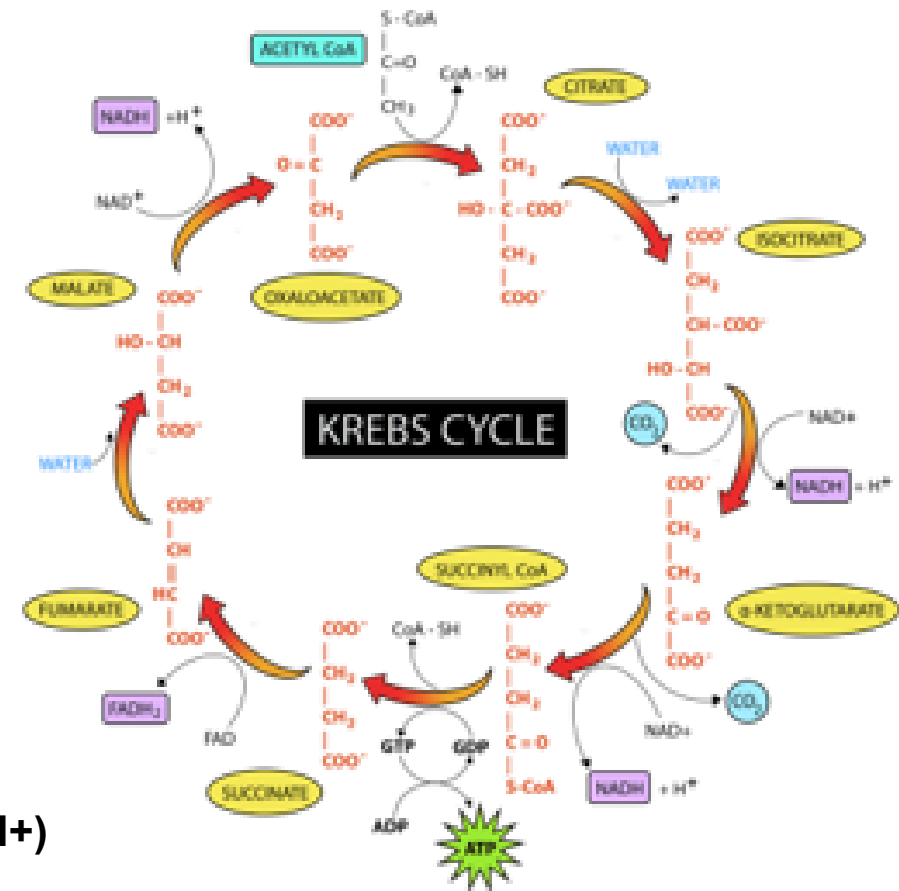
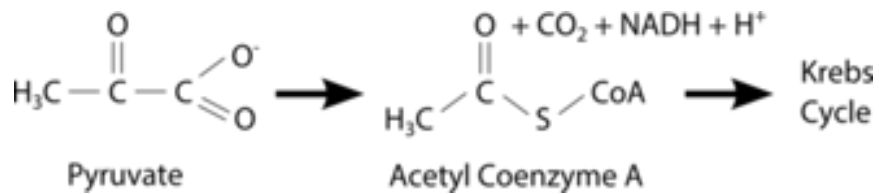
## Glykolýza

6-uhlíková glukóza se mění na 3-uhlíkový **pyruvát**



# Biologické čištění – katabolismus

## Aerobní respirace



Oxidací 1 molekuly ACoA vzniknou:

2 molekuly CO<sub>2</sub>

1 molekula ATP

4 molekuly redukovaných koenzymů (NADH)

**KONEČNÝM AKCEPTOREM ELEKTRONŮ (NADH+H<sup>+</sup>)  
je molekulární kyslík v dýchacím řetězci**

# Biologické čištění – katabolismus

## Fermentace

- transformace pyruvátu při absenci konečného akceptoru elektronu,
- donorem i akceptorem elektronu je organická látka,
- ATP je produkován výhradně fosforylací,
- je produkováno málo energie, většina je součástí fermentačních produktů,

fermentace glukózy  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_2H_5OH + 2 CO_2$

striktní anaerobové – *Clostridium* sp., metanogeny

fakultativní anaerobové – *Pseudomonas* sp.

aerotolerantní anaerobové – *Lactobacillus* sp.

# Biologické čištění – anabolismus

- biosyntéza, energii spotřebovávající proces → nový buněčný materiál,
- z 3000  $\mu\text{mol}$  ATP → 100 mg sušiny buněk,
- energie spotřebována pro tvorbu
  - proteinů,
  - lipidů,
  - polysacharidů,
  - purinů a pyrimidinů
- většina prekurzorů (aminokyseliny, mastné kyseliny, monosacharidy) jsou získávány v průběhu glykolýzy a dalších metabolických drah,





# Biologické čištění – anabolismus

- anabolismus může být měřen přímo, jako produkce biomasy
- platí :

$$Y = \frac{\Delta X_v}{\Delta S_{met}}$$

Y - produkce biomasy

$\Delta X_v$  – produkovaná buněčná hmota (org. hmota kalu)

$\Delta S_{met}$  – metabolizované CHSK (organická hmota, substrát).

V literatuře je často uváděno:

$Y = 0,45$  g org. hmoty kalu na 1 g spotřebovaného CHSK

Tato hodnota je často používána pro návrh aerobních systémů

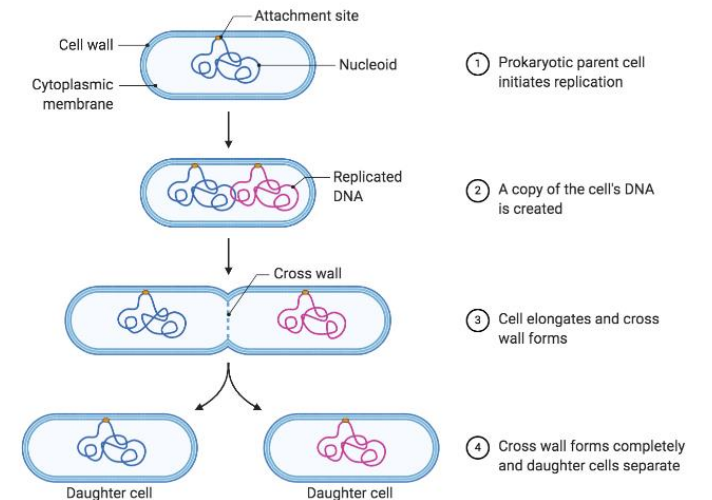
# Biologické čištění – klasifikace podle metabolismu

Typ látkové výměny	Zdroje energie	Donor elektronů/vodíku	Zdroje uhlíku	Organizmy
Chemoorganoheterotrofní	organické sloučeniny	organické sloučeniny, např. $C_6H_{12}O_6$ , $C_2H_5OH$ , $CH_3OH$	organické sloučeniny	živočichové, houby, většina bakterií
Chemoorganoautotrofní		organické sloučeniny, např. $CH_3COOH$ , $CH_3OH$ , $HCOOH$	$CO_2$	metanogenní archaea
Chemolithoheterotrofní	anorganické sloučeniny	anorganické sloučeniny a molekuly, např. $H_2$	organické sloučeniny	$H_2$ oxidující bakterie, metanogenní archaea
Chemolithoautotrofní		anorganické sloučeniny a molekuly, např. $NH_4^+$ , $NO_2^-$ , $S^{2-}$ , $H_2S$ , $H_2$	$CO_2$	nitrifikační a sulfurikační bakterie, $H_2$ oxidující bakterie, metanogenní archaea
Fotoorganoheterotrofní	světelné záření	organické sloučeniny	organické sloučeniny	zelené a purpurové bakterie
Fotoorganoautotrofní		organické sloučeniny	$CO_2$	zelené a purpurové bakterie
Fotolithoheterotrofní	světelné záření	anorganické sloučeniny a molekuly, např. $H_2S$ , $S$	organické sloučeniny	bakterie (purpurové, sirné), některé řasy
Fotolithoautotrofní		anorganické sloučeniny a molekuly, např. $H_2O$ , $H_2S$ , $H_2S$	$CO_2$	rostliny, řasy, sinice, některé bakterie

# Biologické čištění – kinetika růstu

- reprodukce prokaryotních mikroorganismů – převážně binárním dělením,
- růst mikrobiální populace = růst počtu buněk,
- rychlost růstu – zvýšení počtu buněk za čas,
- generační doba - čas, za který se zdvojnásobí počet buněk v daném objemu kultivačního media;

- uzavřená (batch) x kontinuální kultivace



# Biologické čištění – růstová křivka



Bacterial cells do not divide by meiosis and mitosis. Instead, most bacteria grow asexually by a process known as binary fission. In this process, the bacterium copies its chromosome, elongates, and splits off into two daughter bacteria with a genetic makeup identical to the parental bacterium. Each daughter cell can continue the doubling process. This process happens rapidly, so the number of bacteria present in a solution can increase very quickly.

# Biologické čištění – exponenciální růst

- růst probíhá geometrickou řadou,  $2^0 \rightarrow 2^1 \rightarrow 2^2 \rightarrow 2^n$ ,

$$X_t = X_0 \cdot e^{\mu t}$$

$X_t$  - počet buněk v čase  $t$ ,

$X_0$  - počáteční počet buněk,

$t$  - čas,

$\mu$  - specifická růstová rychlost,

**Logaritmováním dostanu :**

$$\ln X_t = \ln X_0 + \mu t \rightarrow \mu = \frac{\ln X_t - \ln X_0}{t}$$

# Biologické čištění – kontinuální kultivace

- kultivace mikrobiální kultury dlouhodobě v logaritmické fázi růstu,
- substrát kontinuálně přiváděn do reaktoru, který obsahuje mikroorganismy,

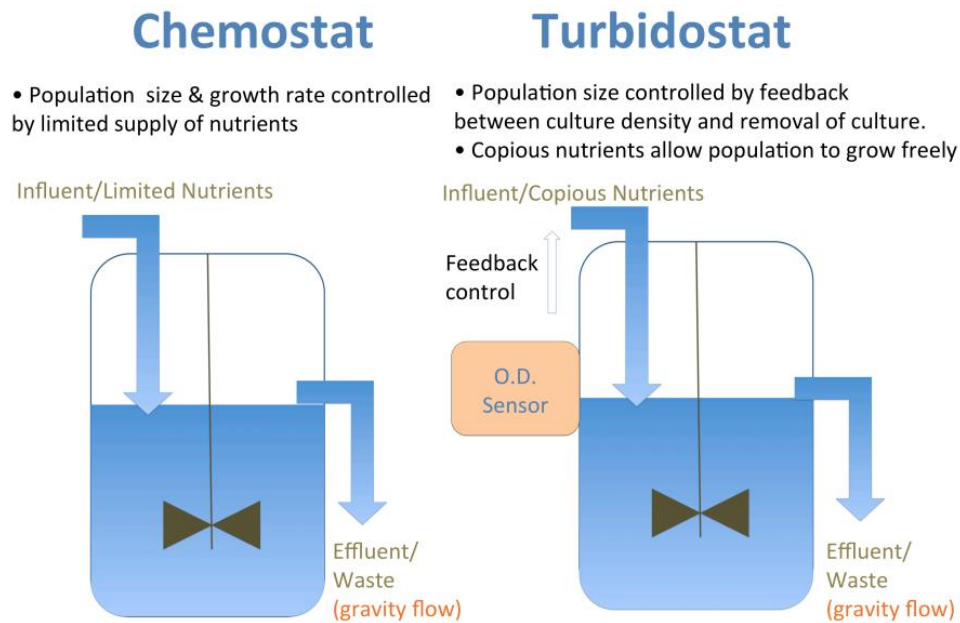


Figure 1. Comparison of Chemostat and Turbidostat

O.D. = Optical Density, a measure of population size

# Biologické čištění – kontinuální kultivace

- popis mikrobiálního růstu v průběhu kontinuální kultivace,

**ředící poměr**  $D = \frac{Q}{V} = \frac{1}{t}$

$$\frac{dX}{dt} = \mu \cdot X - D \cdot X = X \cdot (\mu - D) \rightarrow X_t = X_0 \cdot e^{(\mu - D) \cdot t}$$

X - počet buněk,

$\mu$  - specifická růstová rychlost,

D - ředící poměr,

$X_t$  - počet buněk v čase t,

$X_0$  - počáteční počet buněk,

Q - průtok substrátu, L/s

V - objem reaktoru, L,

t - čas, s,

# Biologické čištění – kontinuální kultivace

- při  $D > \mu_{\max}$  dochází k poklesu buněk a vyplavení populace ze systému,
- vyplavování začíná při kritické hodnotě  $D_c$ , která je ekvivalentní  $\mu_{\max}$ ,

**balance hmoty je dána** 
$$V \cdot \frac{dX}{dt} = \mu \cdot X \cdot V - Q \cdot X = \frac{\mu_{\max} \cdot S}{K_S + S} \cdot (X \cdot V - Q \cdot X)$$

V - objem reaktoru, L,

$\mu$  - specifická růstová rychlost,

X - počet buněk,

Q - průtok substrátu, L/s

$\mu_{\max}$  – maximální specifická růstová rychlost,

S – koncentrace substrátu,

$K_S$  – saturační konstanta,



# Biologické čištění – kontinuální kultivace

- při stacionární fázi

- koncentrace substrátu  $S = K_S \cdot \frac{D}{\mu_{max} - D}$

- koncentrace buněk  $X = Y \cdot (S_i - S_e)$

$$\frac{dX}{dt} = 0 \rightarrow \mu = D = \frac{Q}{V} = \frac{\mu_{max} \cdot S}{K_S + S}$$

$\mu$  - specifická růstová rychlost,

$D$  - ředící poměr,

$Q$  - průtok substrátu, L/s

$V$  - objem reaktoru, L,

$\mu_{max}$  - maximální specifická růstová rychlost,

$S$  - koncentrace substrátu, ( $S_i$  - přítok,  $S_e$  - odtok)

$K_S$  - saturační konstanta,

$X$  - počet buněk,

$Y$  - produkce biomasy

# Biologické čištění – kontinuální kultivace

- produkce biomasy

- produkce biomasy,  $Y = \frac{X-X_0}{S_0-S}$

- specifická růstová rychlost,  $\mu = \frac{dX}{dt} \cdot \frac{1}{X}$  **z Monodovy rovnice**  $\mu = \mu_{max} \cdot \frac{[S]}{K_s+[S]}$

- specifická spotřeba substrátu,  $q = \frac{dS}{dt} \cdot \frac{1}{X}$  **z Monodovy rovnice**  $q = q_{max} \cdot \frac{[S]}{K_s+[S]}$

$$\frac{dX}{dt} = Y \cdot \frac{dS}{dt} \approx \mu = Y \cdot q$$

$dx/dt$  – míra růstu koncentrace mikroorganismů, mg/L/den

$dS/dt$  – míra odstranění substrátu, mg/L/den

$\mu$  - specifická růstová rychlost,

$Y$  – produkce biomasy, mg buněk na mg spotřebovaného substrátu,

$q$  – specifická spotřeba substrátu, mg/L/den,

# Biologické čištění – kinetika růstu

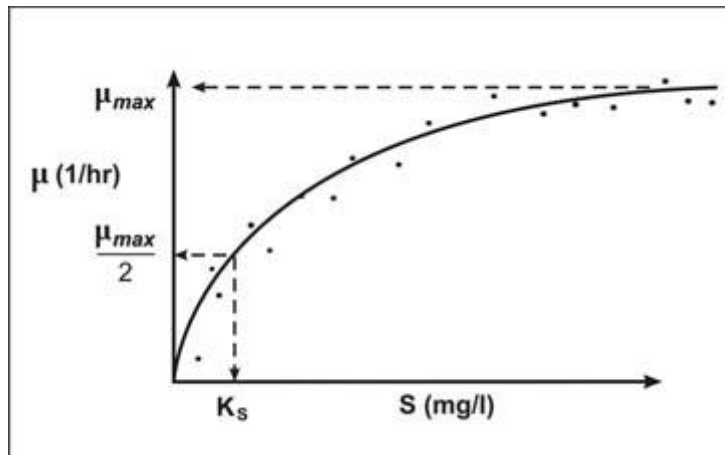
## Faktory ovlivňující růst mikroorganismů

- koncentrace substrátu,  $\mu = \mu_{max} \cdot \frac{[S]}{K_s + [S]}$

$\mu_{max}$  – maximální specifická růstová rychlost,

S – koncentrace substrátu, mg/L,

$K_s$  – saturační konstanta, mg/L, koncentrace substrátu kdy specifická růstová rychlost je  $\mu_{max} / 2$

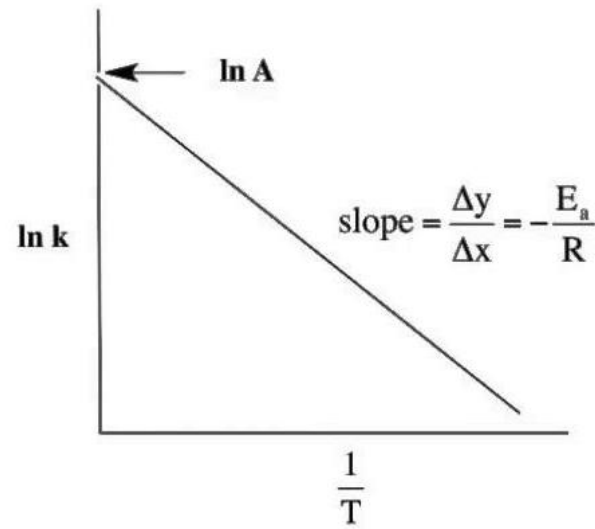


# Biologické čištění – kinetika růstu

## Faktory ovlivňující růst mikroorganismů

- teplota, Arrheniova rovnice  $k = A \cdot e^{\left(\frac{-E}{RT}\right)} \approx \ln k = -\left(\frac{E}{R}\right) \cdot \left(\frac{1}{T}\right) + \ln A$

A – exponenciální faktor,  
R – plynová konstanta,  
T – termodynamická teplota,  
E – aktivační energie,

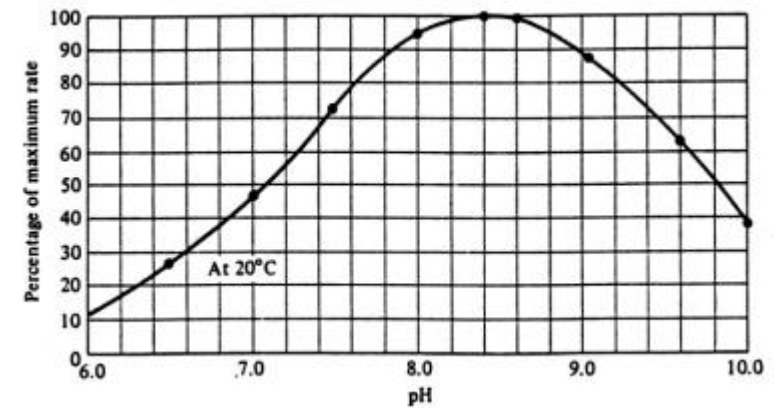


# Biologické čištění – kinetika růstu

## Faktory ovlivňující růst mikroorganismů

- pH
  - čištění vod obecně neutrální pH
  - ovlivňuje zastoupení mikroorganismů,
  - ovlivňuje formu látek,

vliv pH na nitrifikaci



# Biologické čištění – kinetika růstu

## Faktory ovlivňující růst mikroorganismů

- koncentrace kyslíku

prostředí	koncentrace rozpuštěného kyslíku [mg/l]	Redoxní potenciál [mV]	procesy	Forma kyslíku
anaerobní	0	méně než -300	anammox poly P metanogeneze	$O_2 = 0$ $NO_2^-$ $NO_3^- = 0$
anoxické	0 – 1	+50 až -200	denitrifikace	$O_2 = 0$ $NO_2^-$ $NO_3^-$
aerobní	1,5 – 2,0	+50 až +300	nitrifikace oxidace $C_{org}$	$O_2$ , $NO_2^-$ , $NO_3^-$

# Biologické čištění – aktivační proces

- realizováno aktivačním procesem,
  - biologická oxidace **organického substrátu**,
  - biologická oxidace amoniakálního dusíku – **nitrifikace**,
  - biologická redukce dusitanů a dusičnanů na plynný dusík – **denitrifikace**,
  - biologický rozklad **fosforu**, nebo jeho chemické srážení,

## mikroorganismy v aktivačním procesu,

organismy	zdroj uhlíku	zdroj energie	prostředí	akceptor elektronu
heterotrofní	organické látky	organické látky	aerobní	kyslík
			anoxické	nitrát, sulfát
			anaerobní	organické látky
autotrofní	CO <sub>2</sub>	amoniakální dusík H <sub>2</sub> S, Fe <sup>+2</sup>	aerobní	kyslík

# Biologické čištění – oxidace organického substrátu

## Potřeba nutrientů

Dusík  $i_N = 0,04 - 0,05$  (g N / g BSK<sub>5</sub>)

Fosfor  $i_P = 0,01 - 0,02$  (g P / g BSK<sub>5</sub>)

Příklad složení odpadní vody : BSK<sub>5</sub> - 400 g/m<sup>3</sup>, TKN 60 g/m<sup>3</sup>, TP 12 g/m<sup>3</sup>

## Koncentrace na odtoku při 100% odstranění BSK<sub>5</sub>

$$\text{TKN}_{\text{odt}} = \text{TKN}_{\text{při}} - i_N \cdot \text{BSK}_{5,\text{in}} = 60 - (0,045 \cdot 400) = 46,5 \text{ gN} / \text{m}^3$$

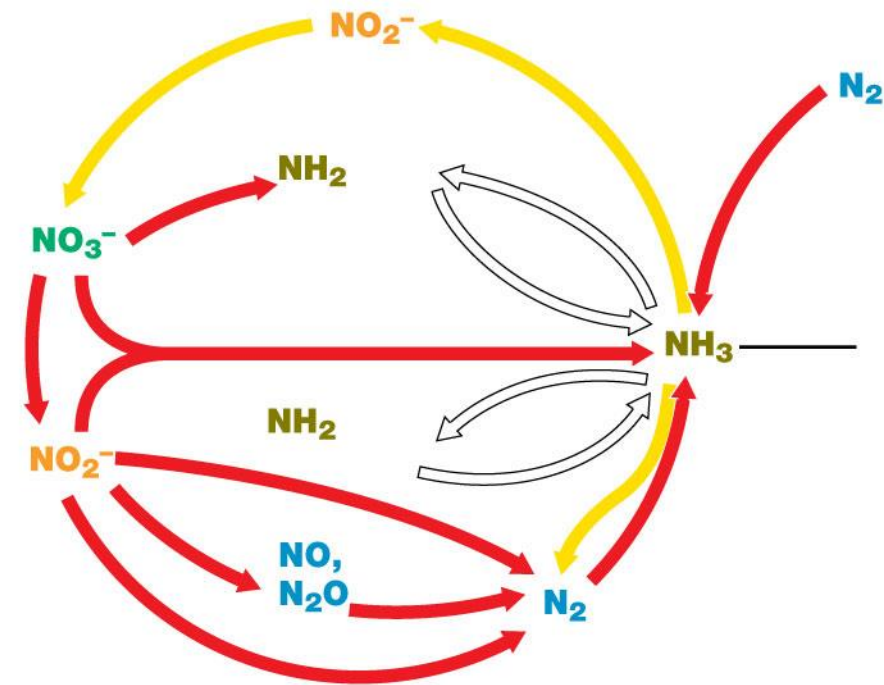
$$\text{TP}_{\text{odt}} = \text{TP}_{\text{při}} - i_P \cdot \text{BSK}_{5,\text{in}} = 12 - (0,015 \cdot 400) = 7,5 \text{ gP} / \text{m}^3$$

**Nutné další čištění !!!!**

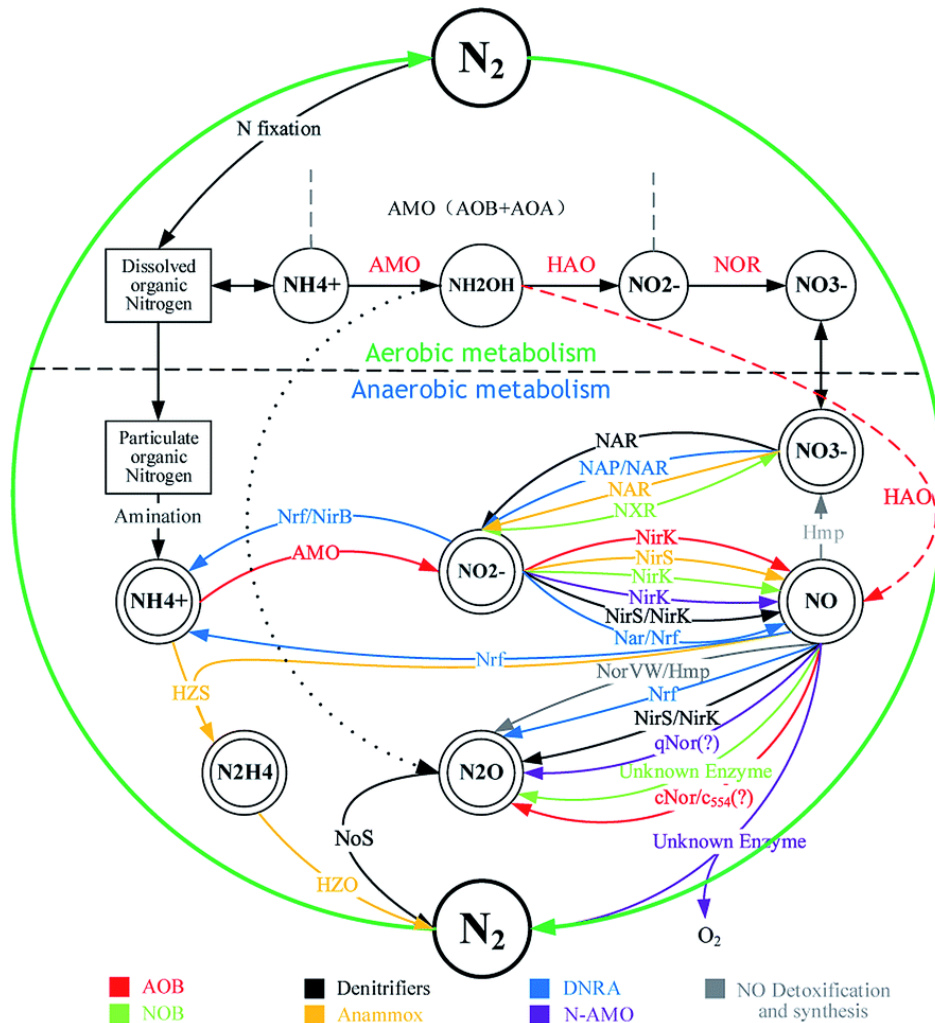


# Biologické čištění – odstraňování dusíku

Key Processes and Prokaryotes in the Nitrogen Cycle	
Processes	Example organisms
<b>Nitrification</b> ( $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$ )	
$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^-$	<i>Nitrosomonas</i>
$\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$	<i>Nitrobacter</i>
<b>Denitrification</b> ( $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$ )	<i>Bacillus</i> , <i>Paracoccus</i> , <i>Pseudomonas</i>
<b>N<sub>2</sub> Fixation</b> ( $\text{N}_2 + 8 \text{H} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2$ )	
Free-living	
Aerobic	<i>Azotobacter</i> Cyanobacteria
Anaerobic	<i>Clostridium</i> , purple and green phototrophic bacteria <i>Methanobacterium</i> (Archaea)
Symbiotic	<i>Rhizobium</i> <i>Bradyrhizobium</i> <i>Frankia</i>
<b>Ammonification</b> (organic-N $\rightarrow$ $\text{NH}_4^+$ )	Many organisms can do this
<b>Anammox</b> ( $\text{NO}_2^- + \text{NH}_3 \rightarrow 2 \text{N}_2$ )	<i>Brocadia</i>



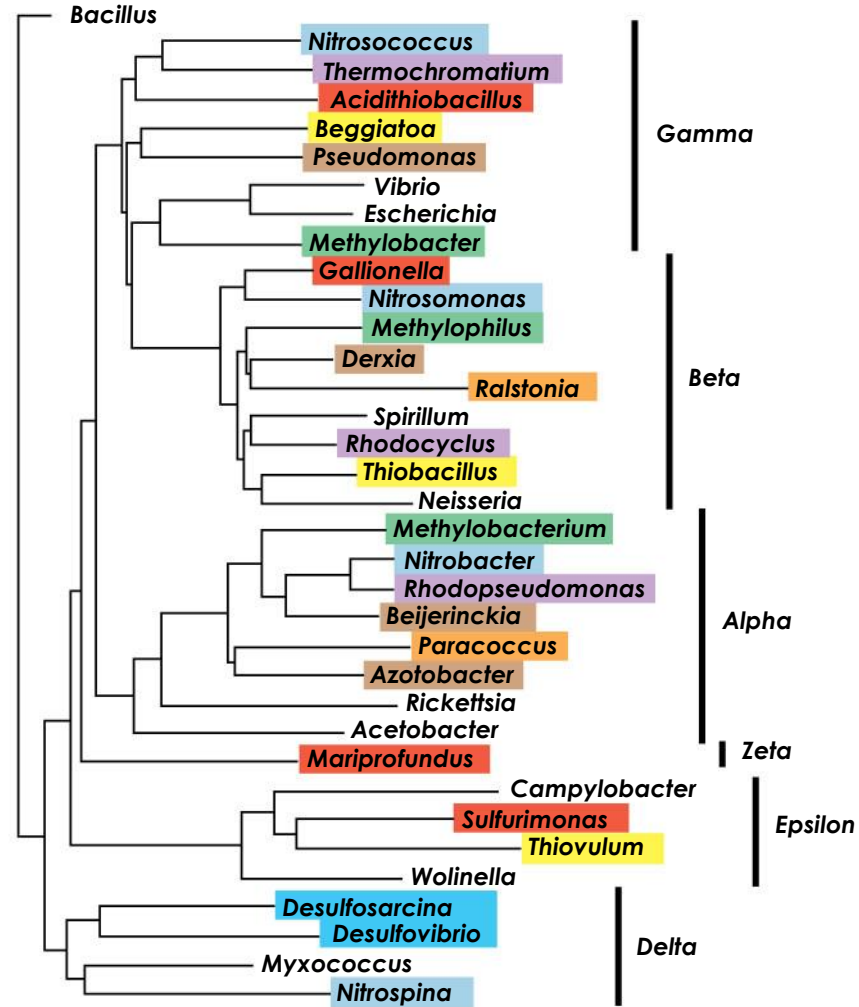
# Biologické čištění – odstraňování dusíku



*AmoA*, ammonia monooxygenase;  
*Hao*, hydroxylamine oxidoreductase;  
*Hdh*, hydrazine dehydrogenase;  
*Hzs*, hydrazine synthase;  
*Nap*, periplasmic nitrate reductase;  
*Nar*, cytoplasmic nitrate reductase;  
*NirK*, copper nitrite reductase;  
*NirS*, cytochrome cd1 nitrite reductase;  
*Nor*, nitric oxide reductase cytochrome or quinol-dependent;  
*NosZ*, nitrous oxide reductase;  
*NrfA*, ammonia-forming dissimilatory nitrite reductase;  
*Nxr*, nitrite oxidoreductase



# 16S rRNA Gene Tree of *Proteobacteria* Proteobacterial Classes



Major metabolisms	Chemolithotrophy
<span style="background-color: #d8bfd8;">■</span> Anoxygenic phototrophy	<span style="background-color: #ffff00;">■</span> Sulfur compounds (H <sub>2</sub> S, S <sup>0</sup> , etc.)
<span style="background-color: #90ee90;">■</span> Methylotrophy	<span style="background-color: #ff4500;">■</span> Ferrous iron (Fe <sup>2+</sup> )
<span style="background-color: #add8e6;">■</span> Sulfate reduction	<span style="background-color: #add8e6;">■</span> Ammonia (NH <sub>3</sub> ) or nitrite (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )
<span style="background-color: #d2b48c;">■</span> Nitrogen fixation	<span style="background-color: #ffa500;">■</span> Hydrogen (H <sub>2</sub> )

# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## Nitrifikace

- oxidace amoniakálního dusíku na dusitany a dusičnany,

Probíhá ve dvou stupních:

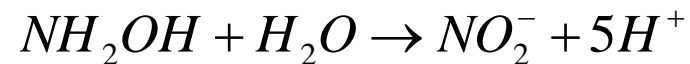
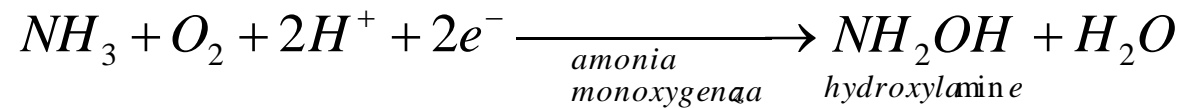
- oxidace amoniakálního dusíku na dusitany
  - amoniakální dusík oxidující bakterie (AOB)
    - $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  a  $\delta$  proteobakterie,
    - ***Nitrosomonas sp.***, dominantní,
    - autotrofní bakterie, oxiduje amoniakální dusík na dusitany,
  - další AOB *Nitrospira*, *Nitrococcus*, *Nitrosolobus*, *Nitrosovibrio*,



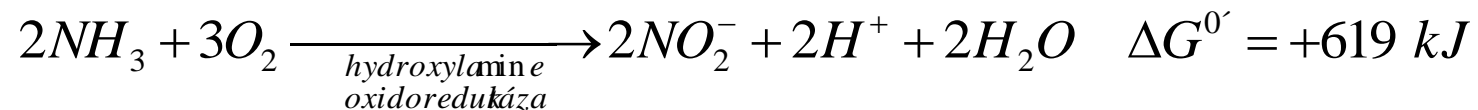
# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## Nitrifikace

- oxidace amoniakálního dusíku na dusitany a dusičnany,

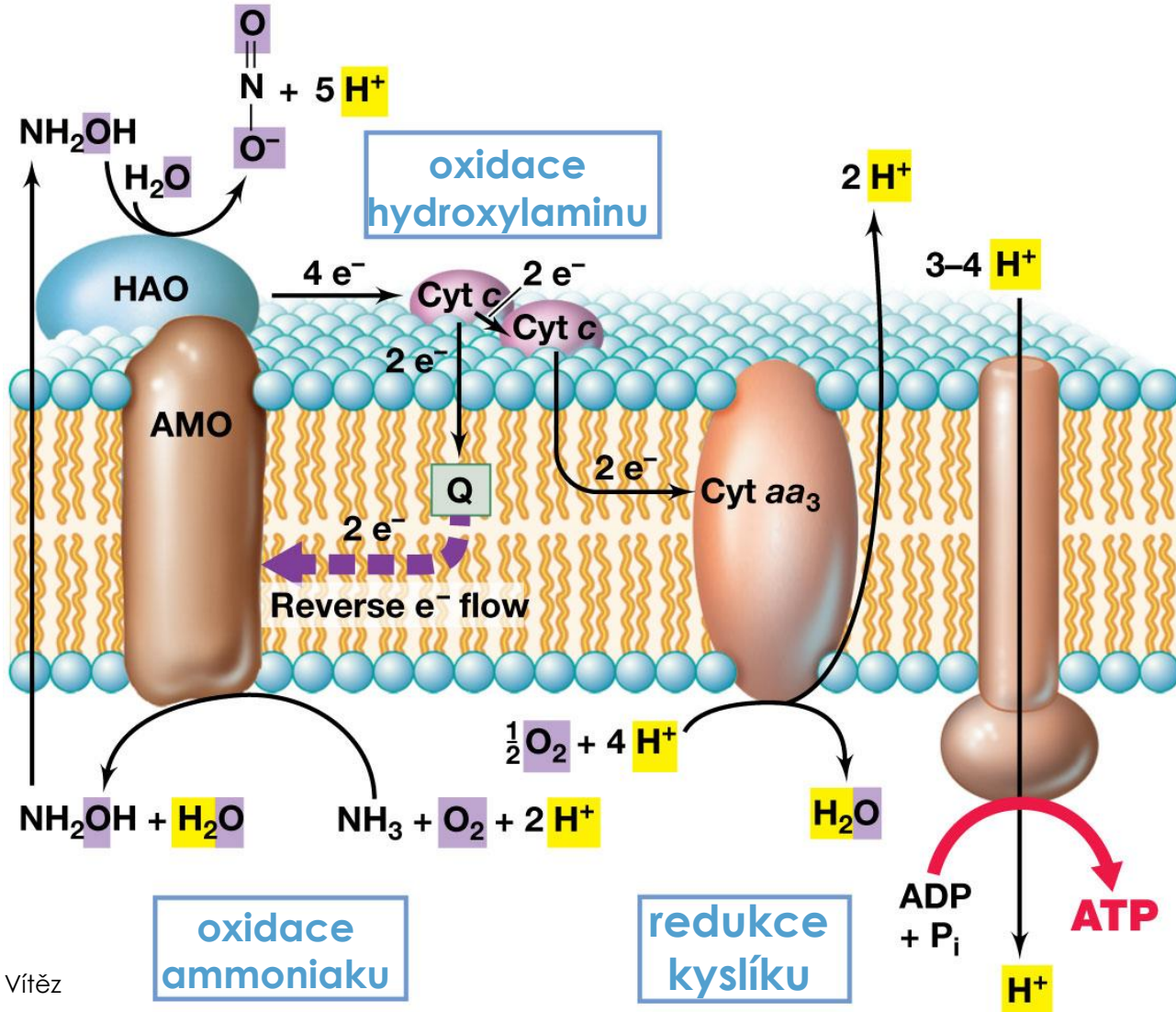


- obecná reakce



# Biologické čištění – odstraňování dusíku

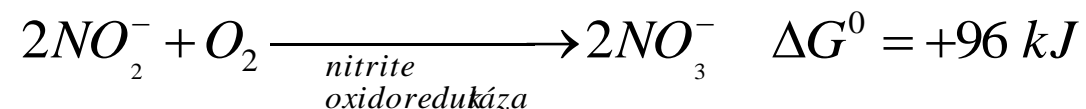
## Nitrifikace



# Biologické čištění – odstraňování dusíku

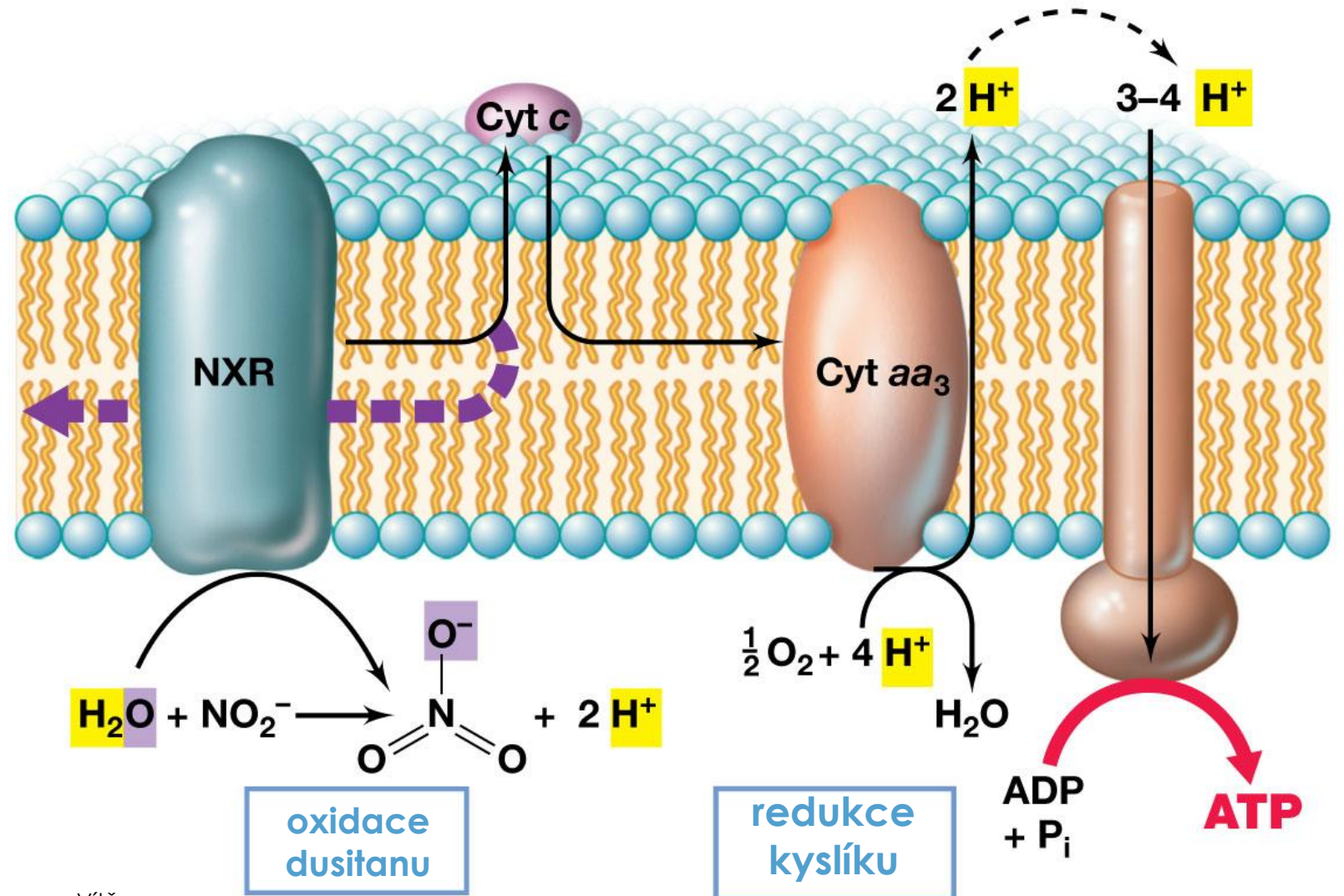
## Nitrifikace

- oxidace dusitanů na dusičnany
  - dusitany oxidující bakterie (NOB)
    - $\alpha$  proteobakterie, obligátně autotrofní bakterie
    - výjimka **Nitrobacter sp.**, heterotrofní, přítomnost (acetátu, formiátu) v odpadních vodách dominantní,
  - další AOB *Nitrospina*, *Nitrospira*, *Nitrococcus*,



# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## Nitrifikace





# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## Nitrifikace

- energeticky náročný proces, malý zisk energie !!!
  - většina organismů chemolitotrofních a aerobních,
  - některé organismy chemoorganotrofní nebo mixotrofní,
- konečným akceptorem vodíku a elektronů je molekulový kyslík,
- růst nitrifikačních bakterií je velice pomalý,



# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## Nitrifikace

- optimální pH 7,2 – 7,8 (*Nitrobacter* sp.),
- optimální teplota 25 – 30 °C,
- pokles koncentrace nitrifikantů s růstem C:N, (obvykle 3-5),
- koncentrace rozpuštěného kyslíku 2 mg/l,
  
- teoretická potřeba kyslíku 4,6 mgO<sub>2</sub>/mg amoniakálního dusíku,
- ( 3,45 mg + 1,15 mg)



# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## Nitrifikace - kinetika

- růstová rychlost *Nitrobacter* vyšší než *Nitrosomonas*,
- limitující je tedy oxidace amoniakálního dusíku na dusitany,

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{[NH_4^+]}{K_s + [NH_4^+]}$$

$\mu$  - specifická růstová rychlost [dny]

$\mu_{\max}$  - maximální specifická růstová rychlost [dny]

$NH_4^+$  - koncentrace amoniakálního dusíku [mg/l]

$K_s$  – saturační konstanta pro amoniakální dusík [mg/l]

# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## Nitrifikace - kinetika

- růstová rychlost nitrifikačních mikroorganismů, zahrnující koncentraci substrátu, rozpuštěný kyslík, teplotu a pH,

$$\mu_n = \mu_{\max} \frac{[\text{NH}_4]}{0.4e^{0.118(T-15)} + (\text{NH}_4)} \times \frac{[\text{DO}] \cdot e^{0.095(T-15)}}{1 + [\text{DO}]} \times (1.83)(\text{pH}_{\text{opt}} - \text{pH})$$

$\mu_{\max}$  - maximální specifická růstová rychlost [dny], typicky 0,14-0,84,

$\text{NH}_4^+$  - koncentrace amoniakálního dusíku [mg/l]

$K_s$  – saturační konstanta pro amoniakální dusík [mg/l], 0,4

DO - koncentrace rozpuštěného kyslíku [mg/l]

$K_0$  – saturační konstanta pro kyslík [mg/l], 0,15 – 2 mg/l

$\text{pH}_{\text{opt}}$  – 7,2

# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## Nitrifikace – minimální doba zdržení

- funkce růstové rychlosti nitrifikačních mikroorganismů,

$$\text{minimální doba zdržení} = \frac{1}{\mu_n}$$

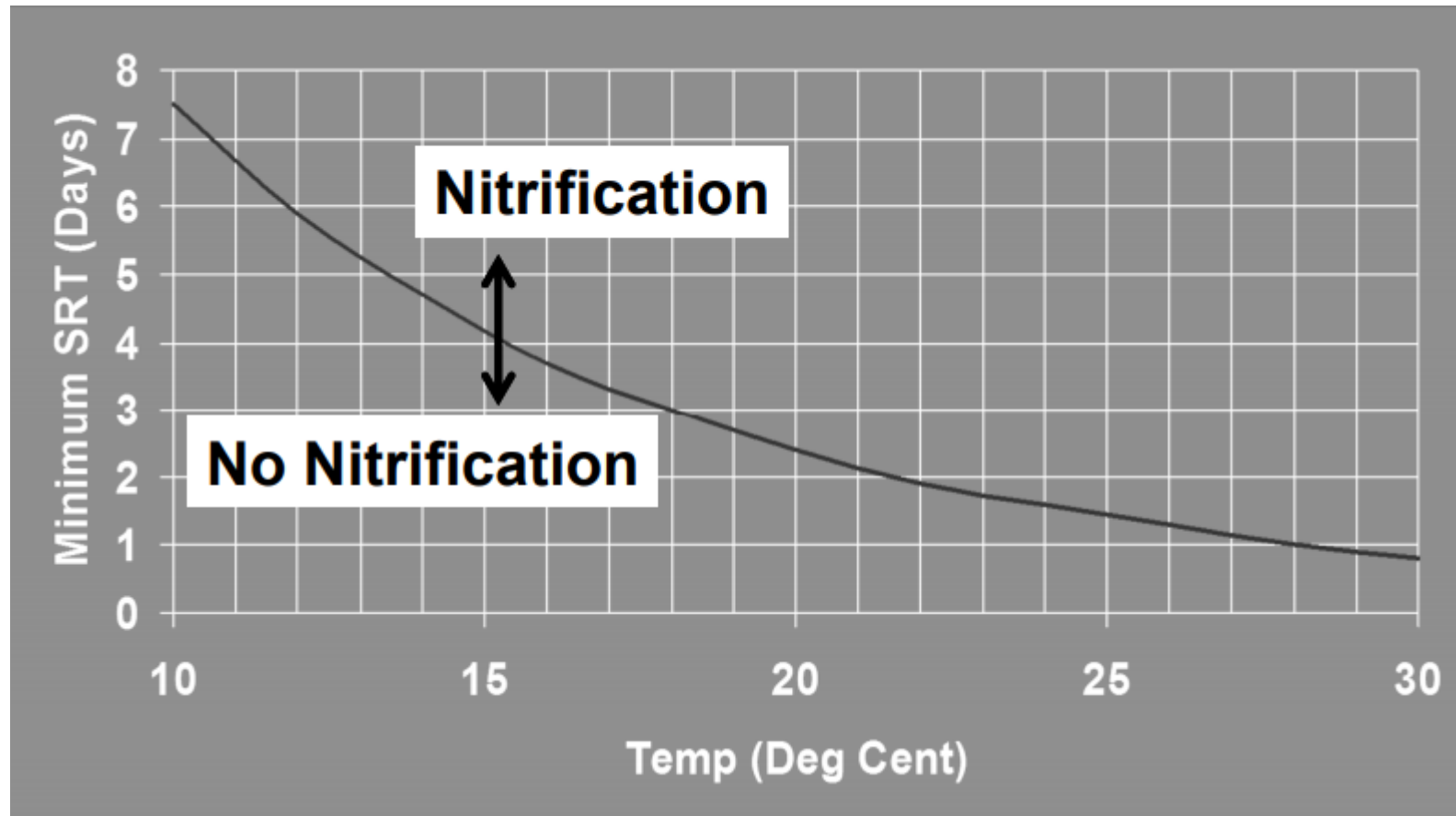
$\mu_n$  - specifická růstová rychlost nitrifikačních mikroorganismů [dny],

## Růstová rychlost

- nitrifikační mikroorganismy 0,14 - 0,84 **limitní pro návrh**
- heterotrofní mikroorganismy 4,32 – 9,12

# Biologické čištění – odstraňování dusíku

**Nitrifikace – stáří kalu x teplota**



# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## **Nitrifikace** – faktory pro kontrolu nitrifikace

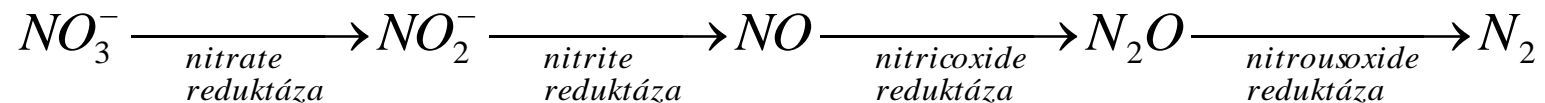
- poměr amoniak / dusitanů
- koncentrace kyslíku
  - saturační konstanta kyslíku  $K_0 = 1,3 \text{ mg/L}$
  - pro správné fungování nitrifikace  $K_0 \geq 2,0 \text{ mg/L}$
- teplota a pH
  - teplotní optimum  $25 - 30 \text{ }^\circ\text{C}$ , pH  $7,5-8,5$
- $\text{BSK}_5$  / TKN
  - u oběhové aktivace  $> 5$
- toxicita
  - kovy (Ag, Hg, Cu, Ni, Cr, Zn), vyčerpání kyslíku, fenoly, thiomočovina



# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## Denitrifikace

- všechny produkty redukce dusičnanů jsou plyny,
- hlavní zdroj biologického  $N_2$ ,
- organotrofní, litotrofní, fototrofní,
- zdroj uhlíku organické látky !!!





# Biologické čištění – odstraňování dusíku

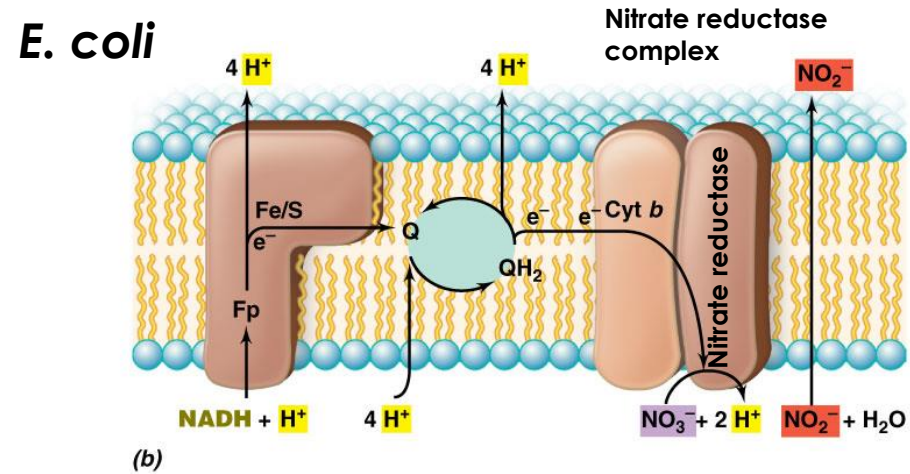
## Denitrifikace – metabolická diverzita

- v případě přítomnosti  $O_2$  – aerobní respirace,
- v případě přítomnosti  $NO_2^-$  – anaerobní respirace,
- může probíhat i fermentace,
  
- *Proteobacteria*, fakultativní anaerobové,

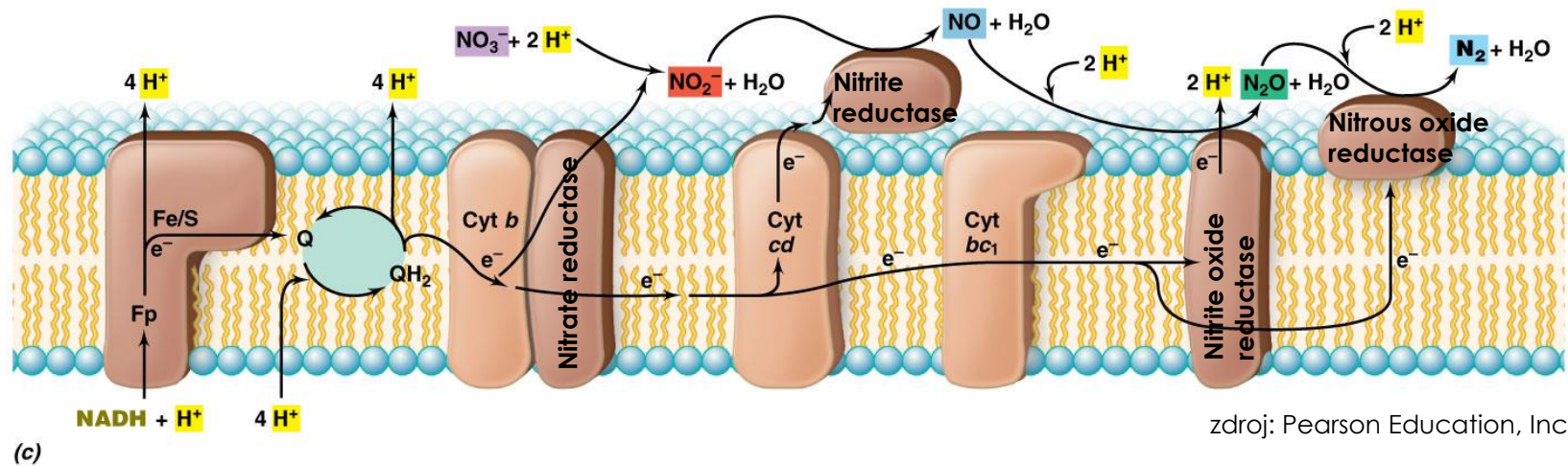


# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## Denitrifikace



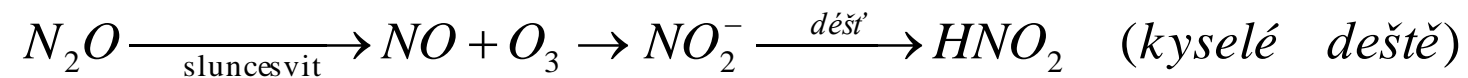
*Paracoccus denitrificans*  
*Pseudomonas stutzeri*



# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## Denitrifikace

- přítomnost dusičnanů,
- anoxické podmínky,
- organické látky – zdroj uhlíku,
- pH 7 – 8,5,



# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## Denitrifikace - kinetika

- růstová rychlost denitrifikačních mikroorganismů, zahrnující koncentraci substrátu, rozpuštěný kyslík a dusičnany,

$$\mu_d = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_s + S} \cdot \frac{DO}{K_{DO} + DO} \cdot \frac{NO}{K_{NO} + NO}$$

$\mu_{\max}$  - maximální specifická růstová rychlost [dny]

DO - koncentrace kyslíku [mg/l]

$K_{DO}$  - saturační konstanta pro kyslík [mg/l]

NO - koncentrace dusičnanů [mg/l]

$K_{NO}$  - saturační konstanta pro amoniakální dusík [mg/l]

S - koncentrace substrátu [mg/l]

$K_s$  - saturační konstanta substrátu [mg/l]

# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## Anammox

- anaerobní amoniak oxidující bakterie, striktně anaerobní,
- autotrofní, fixace  $\text{CO}_2$  – Wood-Ljungdahlova dráha,
- *Brocadia anammoxidans*, (Planctomycetes), dominantní,
- nemají peptidoglykan v buněčné stěně,
- energeticky výhodný proces,

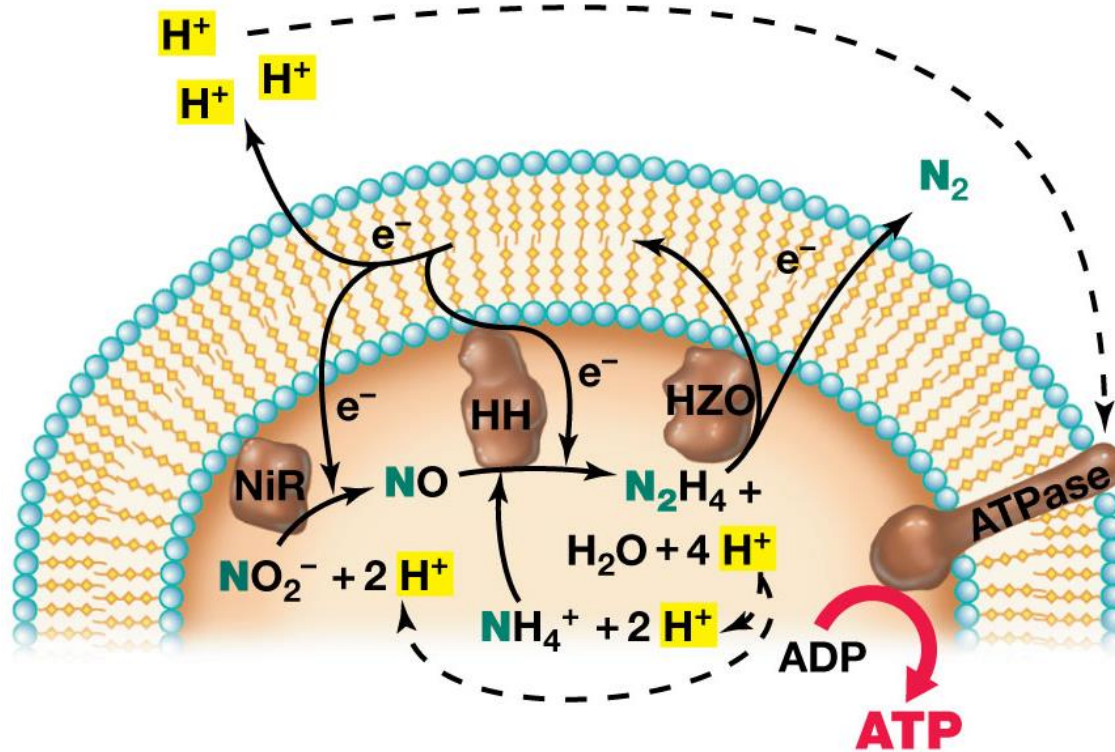


- reakce probíhají v anammoxosomech,
  - hydrazine - produkt anammox bakterií,



# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## Anammox - anammoxosom



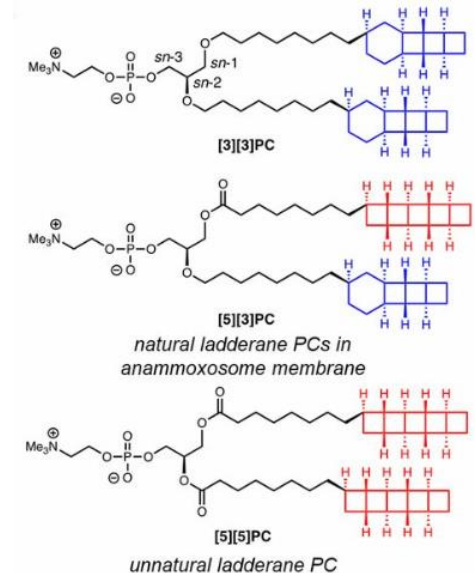
### Enzymy

- NiR nitrite reductase;
- HH hydrazine hydrolase;
- HZO hydrazine dehydrogenase;

# Biologické čištění – odstraňování dusíku

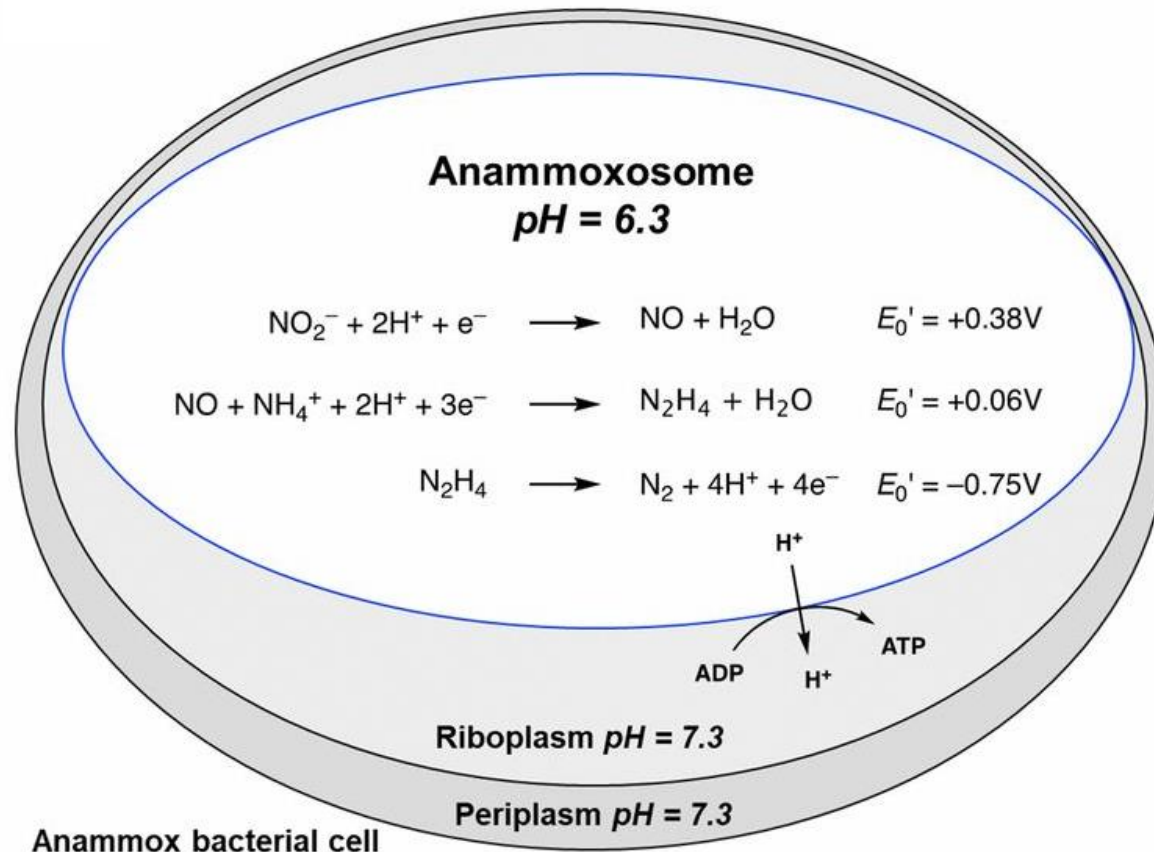
## Anammox - anammoxosom

- organela eukaryotického typu,
- lipidy netypické pro bakterie (**ladderane lipids**),
  - (cyklobutanové kruhy vázané na glycerol esterovými a eterovými vazbami)
- ochrana buňky před toxickými meziprodukty
  - hydrazin  $N_2H_4$ ,
- lipidy netypické pro bakterie



# Biologické čištění – odstraňování dusíku

## Anammox - anammoxosom







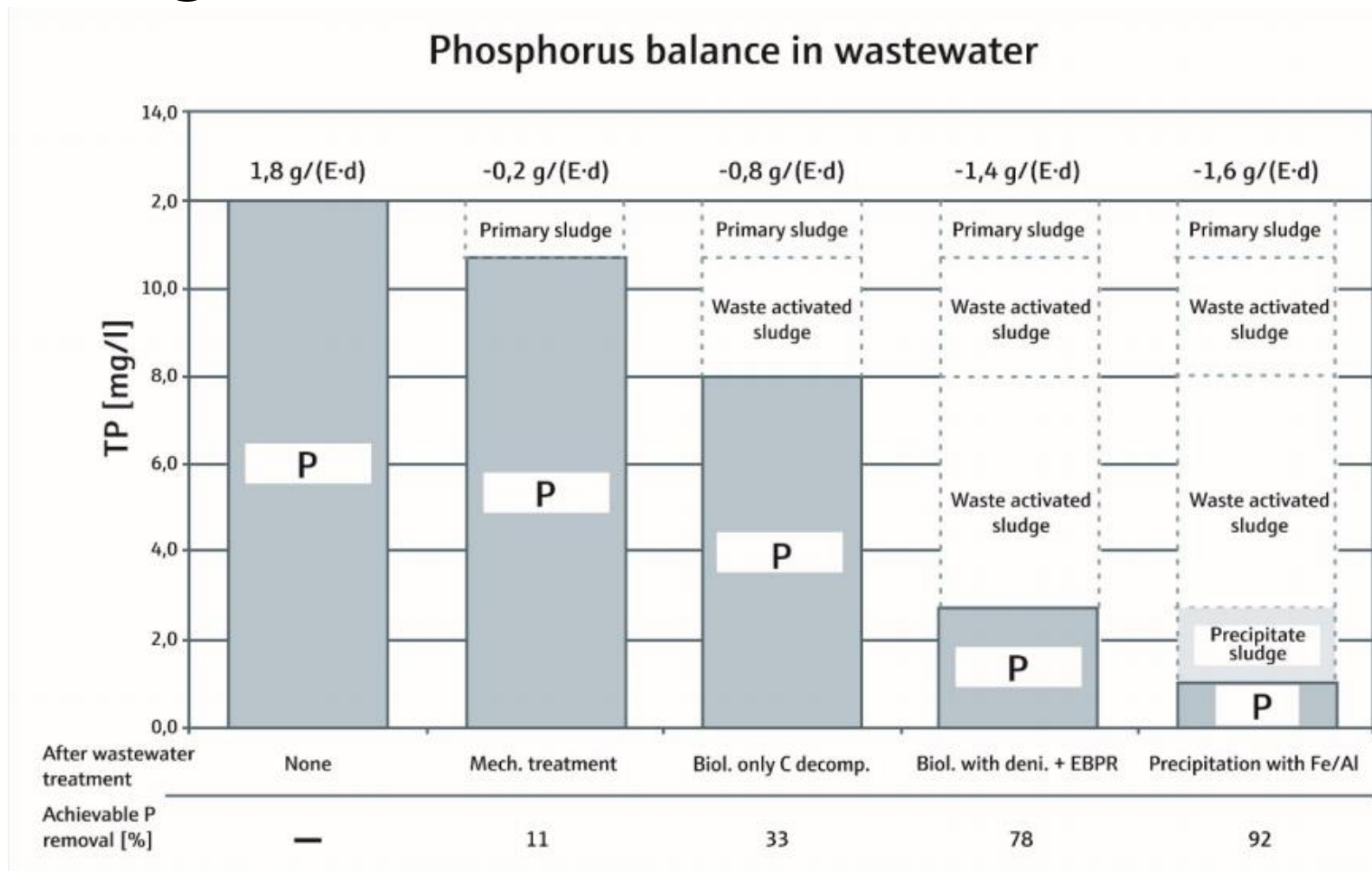
# Biologické čištění – odstraňování fosforu

- komunální odpadní vody obsahují typicky 5 - 20 mg/l  $P_{\text{celk}}$ , (z toho 1-5 mg/l organický, zbytek anorganický)
- denní produkce průměrně 1,8 g na obyvatele

## **Možnosti odstraňování fosforu z odpadní vody**

- chemicky,
  - srážení, kontrola pH, (ionty kovů)
- biologicky
  - asimilace fosforu mikroorganismy

# Biologické čištění – odstraňování fosforu



zdroj: DWA Landesverband Bayern, Stand 2/2011

# Biologické čištění – odstraňování fosforu

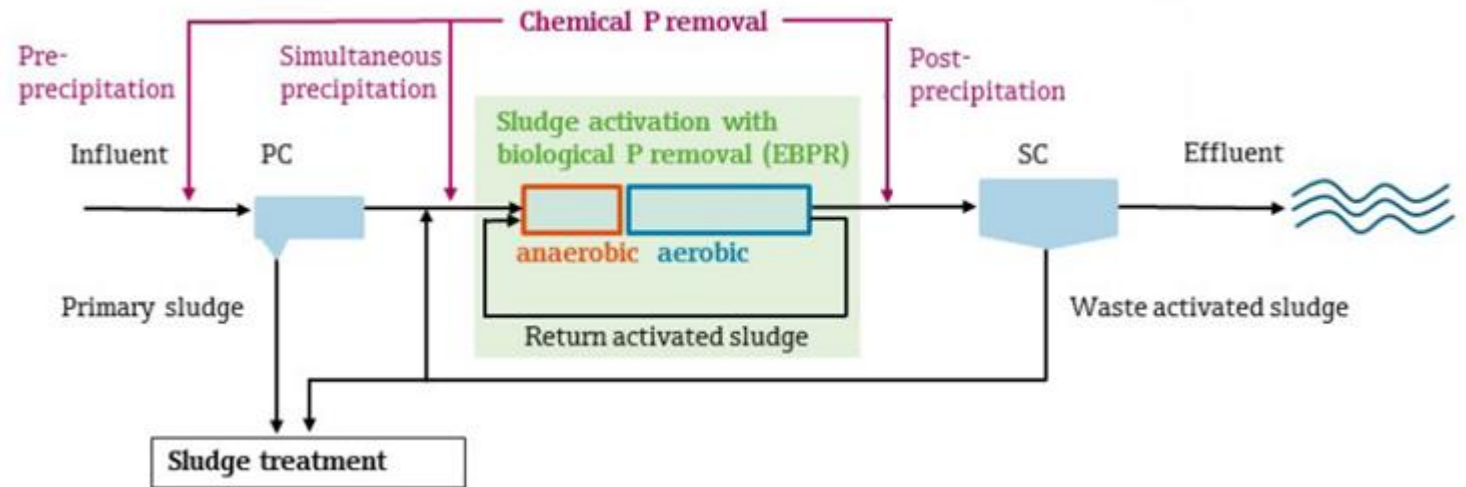
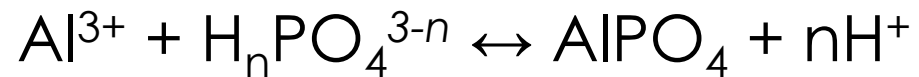
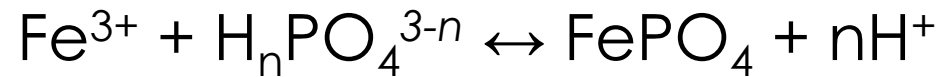
## Chemicky

- **síran hlinitý,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ ,**
- **chlorid železitý,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ,**
- **síran železnatý,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ,**
- hlinitan sodný,  $\text{NaAl}(\text{OH})_4$
- hydroxid vápenatý  $\text{Ca}(\text{OH})_2$



# Biologické čištění – odstraňování fosforu

## Chemicky - rovnice



# Biologické čištění – odstraňování fosforu

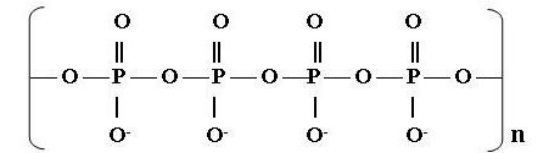
## Chemicky

- přidavek koagulantů, ionty kovů  $\text{Al}^{+3}$  a  $\text{Fe}^{+3}$ ,
- účinnost 80 – 90 %; dávka koagulantu 50 – 200 mg/l,
- účinnost klesá s klesající koncentrací fosforu,
- koagulanty na bázi  $\text{Al}^{+3}$  mohou inhibovat mikroorganismy,  
(při dávkách nad 150 mg/l)



# Biologické čištění – odstraňování fosforu

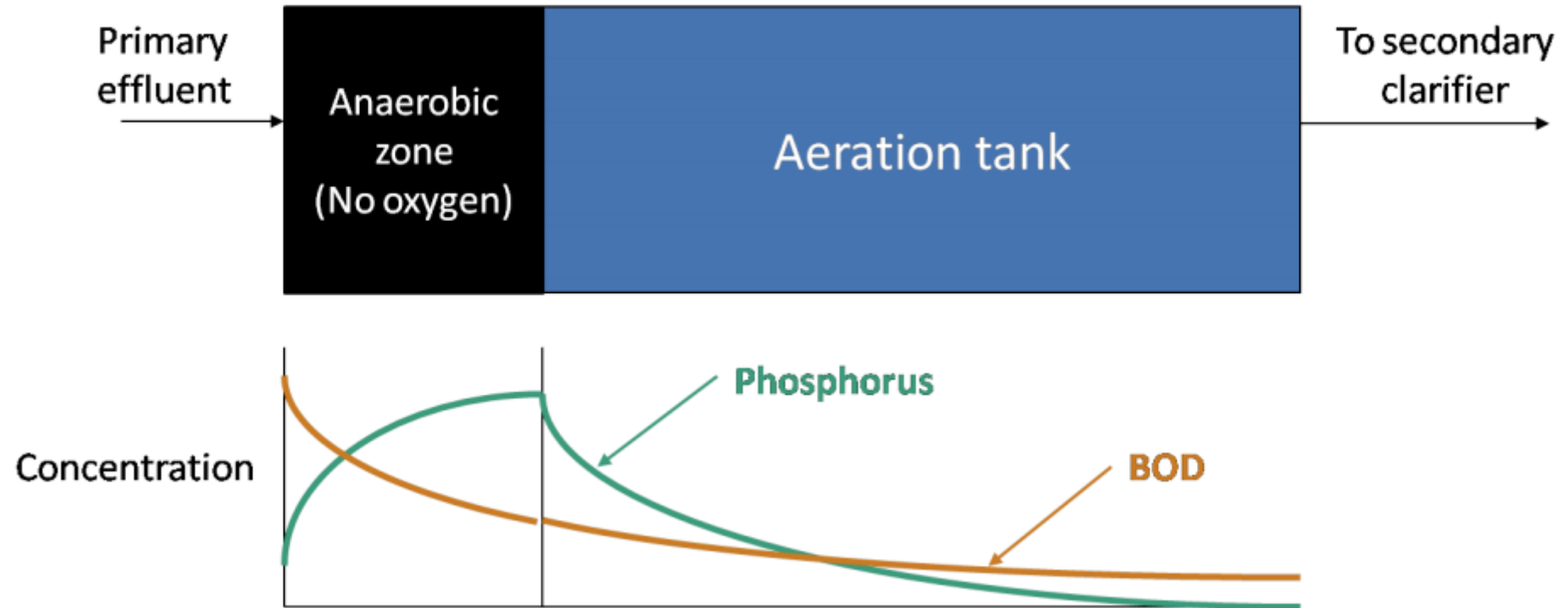
## Biologicky



- polyfosfát akumulující mikroorganismy (poly P bakterie),
- fosfor je akumulován intracelulárně v granulích polyfosfátu,
  - (granule volutinu)
- typický obsah fosforu v biomase 1,5 – 2,5 %<sub>hm.</sub> v org. sušině,
- při biologickém odstranění obsah ↑ na 6 – 8 %<sub>hm.</sub> v org. sušině,
- na odtoku dosahovány hodnoty běžně pod 1 mg/l,

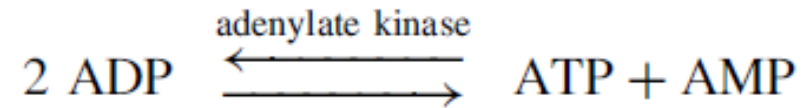
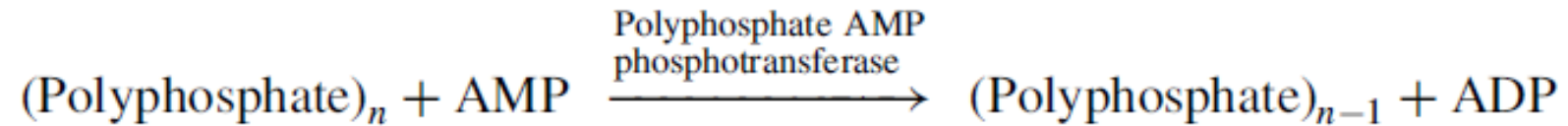
# Biologické čištění – odstraňování fosforu

## Biologicky



# Biologické čištění – odstraňování fosforu

## Biologicky





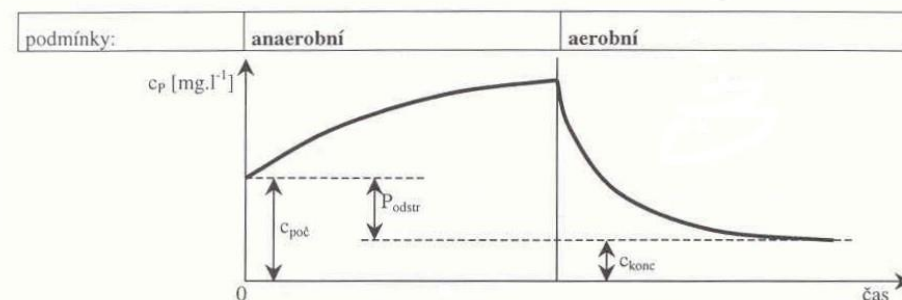
# Biologické čištění – odstraňování fosforu

## Biologicky – predominantní organismy

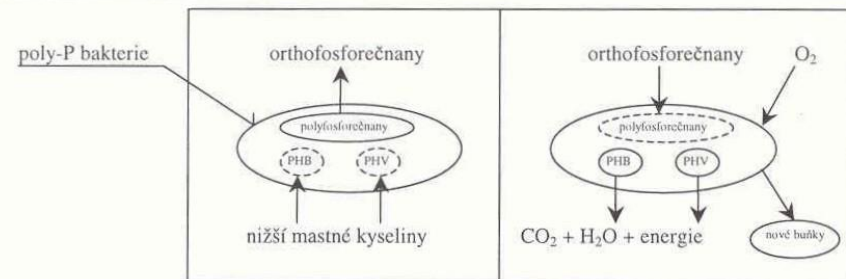
- *Accumulibacter* spp.
- *Acinetobacter* spp.
- *Rhodocyclus* spp.
  
- *Pseudomonas* spp.
- *Aeromonas* spp.

Princip biologického odstraňování fosforu

$c_p$  – koncentrace fosforu,  $c_{poč}$  – počáteční koncentrace P,  $c_{konec}$  – konečná koncentrace P,  $P_{odstr}$  – odstraněný P



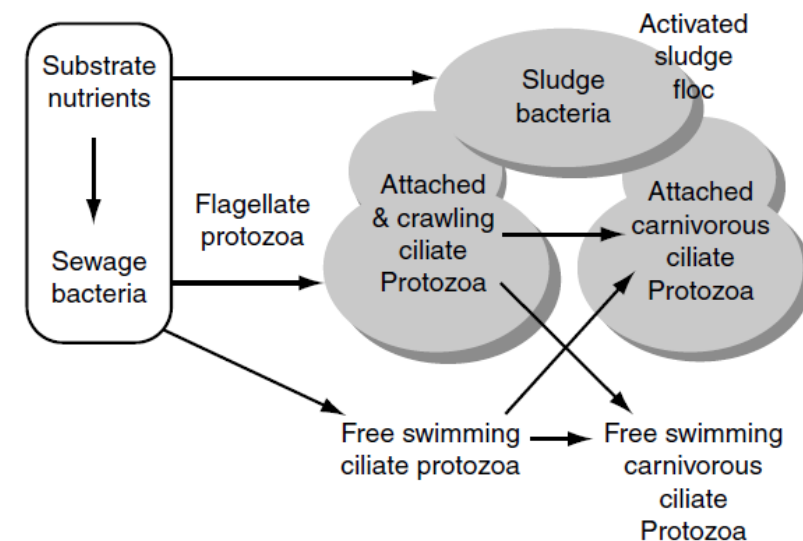
podmínky:	anaerobní	aerobní
rozklad:	org.látky (nižší mastné kyseliny)	PHB a PHV
produkty:	PHB a PHV	$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{energie}$
zdroj energie	rozklad polyfosforečnanů	oxidace PHB a PHV
energie se spotřebovává:	na tvorbu PHB a PHV	na tvorbu polyfosfátů + nových buněk



# Biologické čištění – aktivovaný kal

## Složení vloček aktivovaného kalu

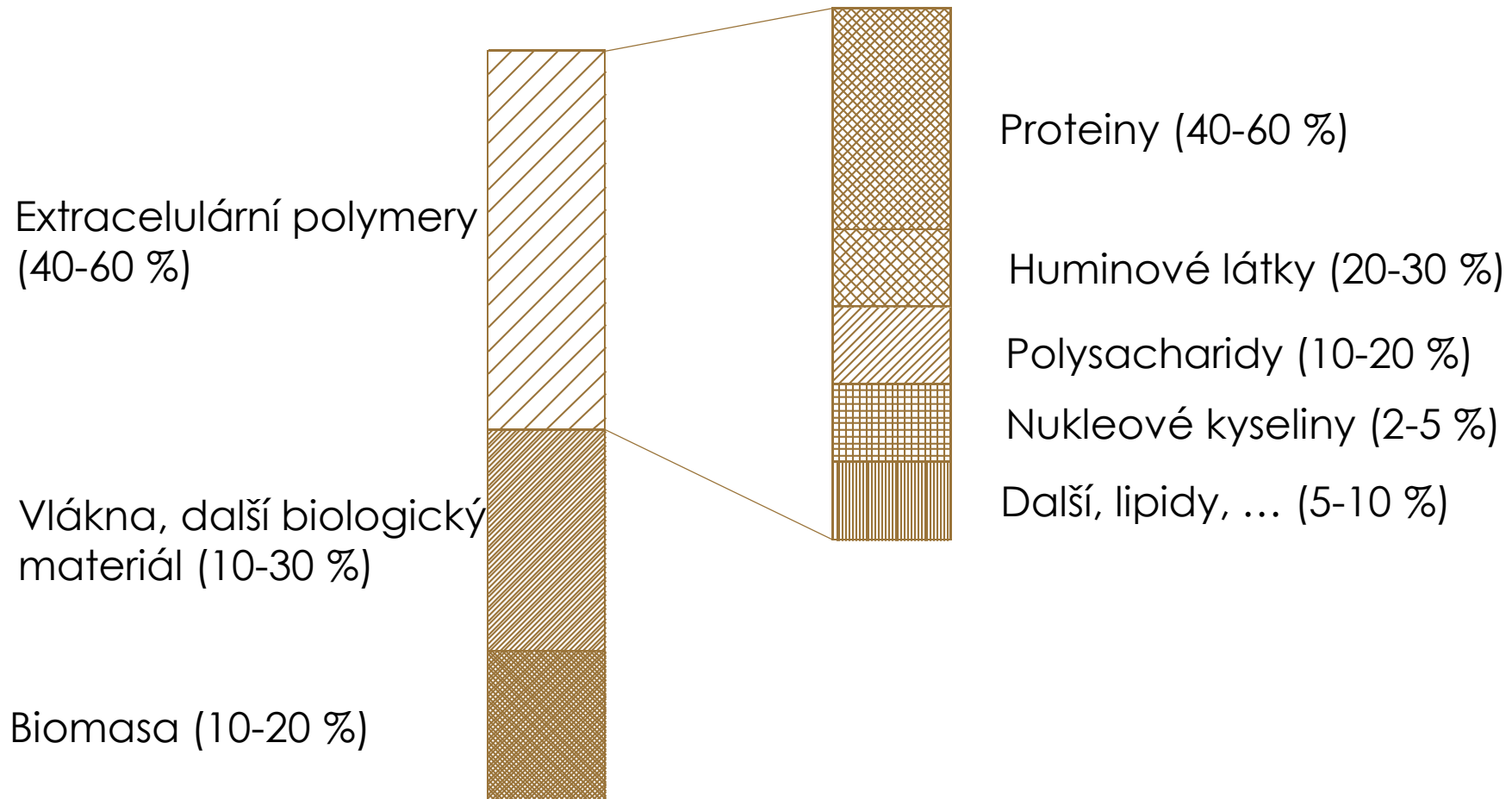
- amorfnní struktury tvořené mikroorganismy zabudované do matrice extraceulárních polymerních látek,
- proteiny, polysacharidy, huminové kyseliny, uronové kyseliny a DNA
- negativní náboj, neutrální pH
- velikost vloček kalu 10  $\mu\text{m}$  - stovky  $\mu\text{m}$



zdroj : Wagner and Amann (1996)

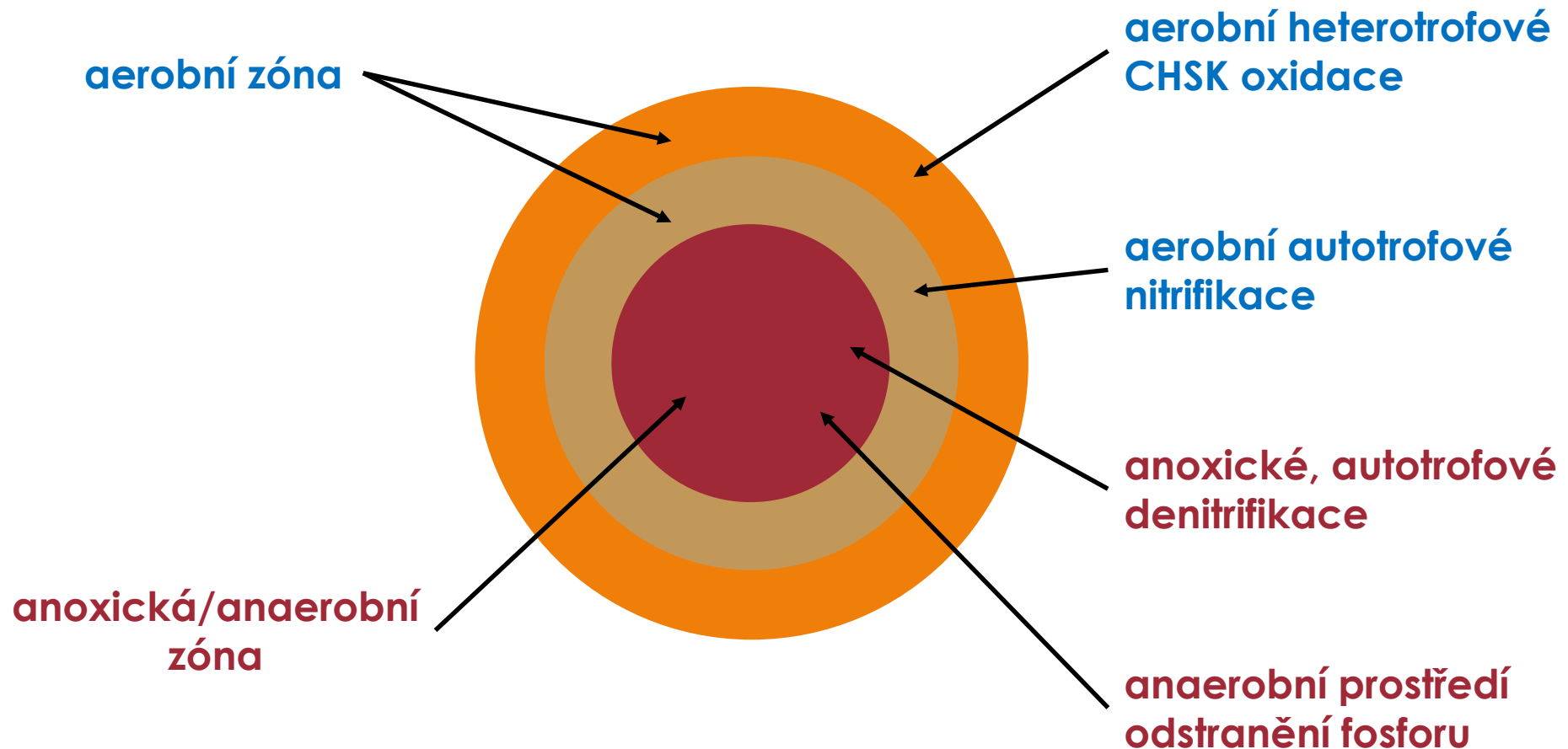
# Biologické čištění – aktivovaný kal

## Složení vloček aktivovaného kalu



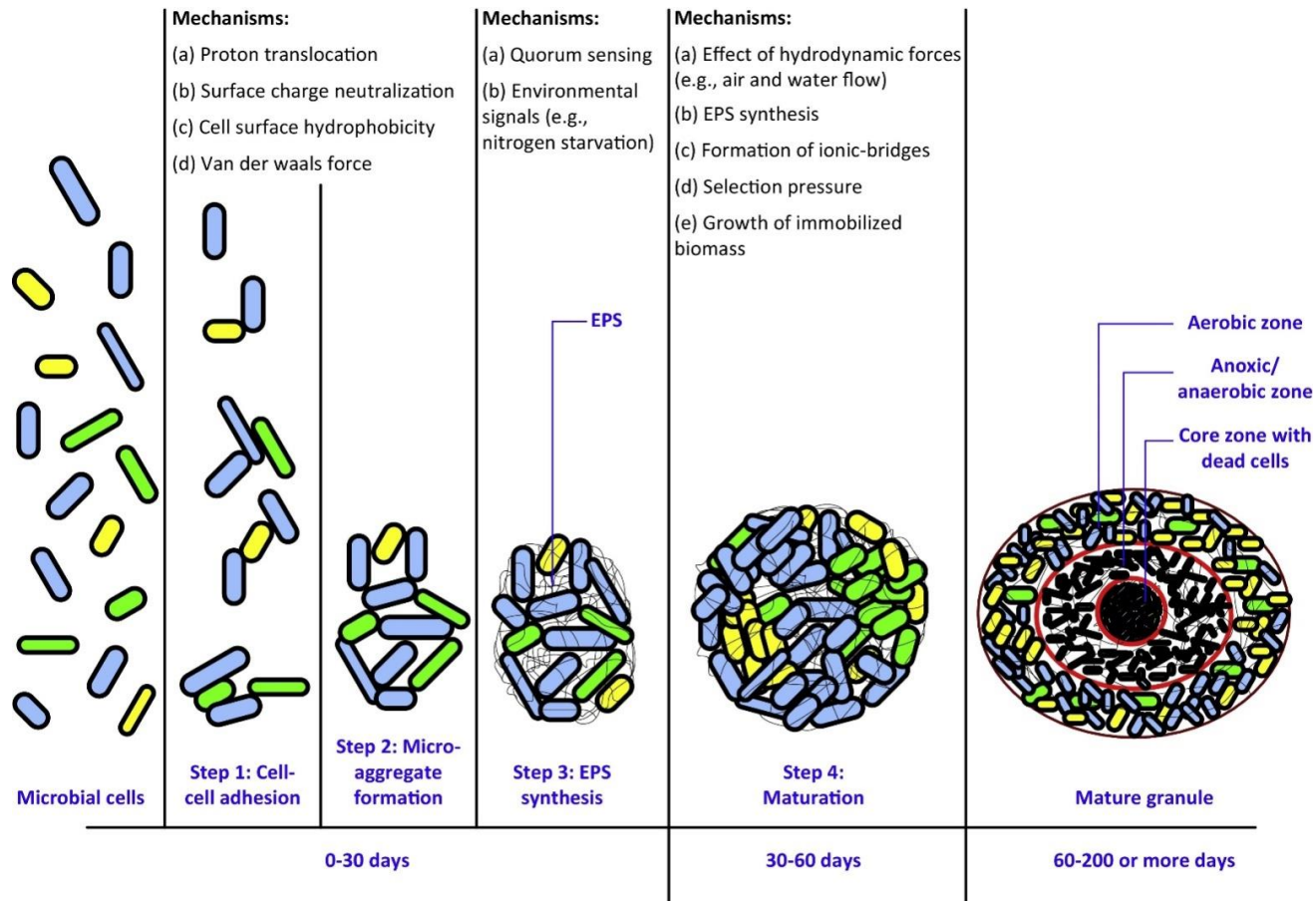
# Biologické čištění – aktivovaný kal

## Tvorba vloček aktivovaného kalu

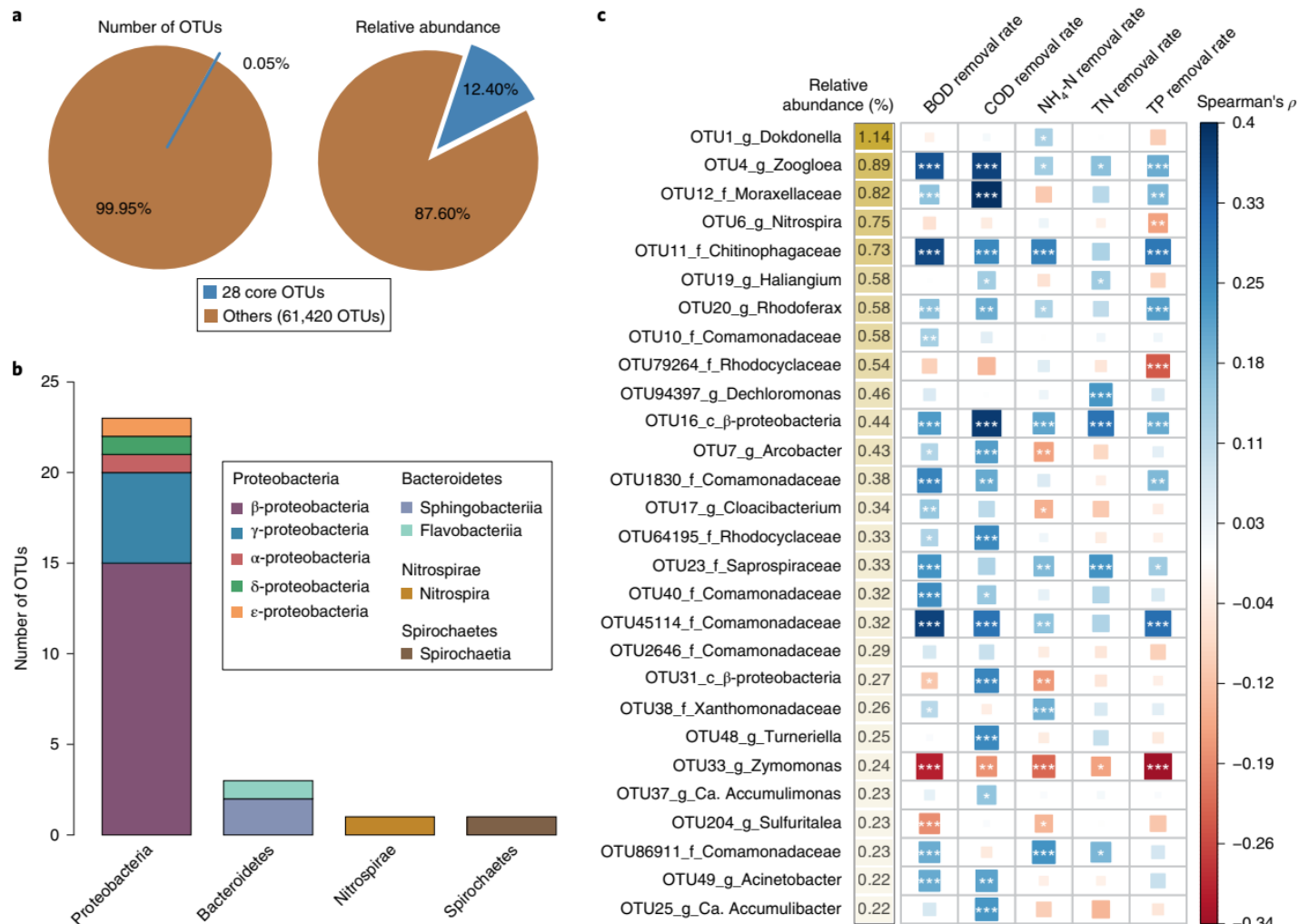


# Biologické čištění – aktivovaný kal

## Tvorba vloček aktivovaného kalu



# Biologické čištění – aktivovaný kal mikroorganismy



1200 vzorků  
269 ČOV  
23 států  
6 kontinentů

# Biologické čištění – aktivovaný kal mikroorganismy

