

# Čistírenství a vodárenství

# Syllabus

- Typy a zdroje odpadních vod
- Komunální odpadní vody
- Typy technologií
- Biotechnologie
  - Nativní postupy
  - Biotechnologické postupy
    - Aerobní a anerobní postupy
- Chemické a fyzikální metody

# Syllabus - vodárenství

- Zdroje surové vody
- Hygienické a ekologické požadavky na zdroje
- Technologie přípravy, dopravy a skladování pitné vody
- Rizika – hygienické požadavky, možnosti přenosu patogenů

# Typy odpadních vod

- Hnilobné odp. vody – biochemicky rozložitelné látky
- Toxické odp. vody
- Odp. vody s anorganickými kaly
- Oteplené vody
- Radioaktivní vody
- Odp. vody s patogenními zárodky

# Zdroje odpadních vod

- Plošné a liniové
  - zemědělství a doprava
- Bodové
  - Průmyslové odpadní vody
    - Výrobní závody – strojírenství, chemický průmysl
    - Těžební průmysl a stavebnictví
    - Transportní průmysl – (depa, opravny aj.)
    - Sklárky prům- a chem. odpadů
  - Zemědělské odpadní vody
    - Objekty a činnost
    - Sklárky - hnojiště, siláže, atd.
  - Komunální odpadní vody
    - Aglomerace – sídla
    - Drobný potravinářský průmysl
    - Sklárky komunálního odpadu

# Průměrné složení komunálních odpadních vod

	Koncentrace (mg.l <sup>-1</sup> )
<b>Celkové množství nerozpuštěných látek</b>	<b>700</b>
<b>Rozpuštěných</b>	<b>500</b>
<b>Fixovaných</b>	<b>300</b>
<b>Těkavých</b>	<b>200</b>
<b>Suspendovaných</b>	<b>200</b>
<b>Fixovaných</b>	<b>50</b>
<b>Těkavých</b>	<b>150</b>
<b>BSK</b>	<b>300</b>
<b>CHSK</b>	<b>400</b>
<b>Celkový organický uhlík (TOC)</b>	<b>200</b>
<b>Dusík (jako N)</b>	<b>40</b>
<b>Organický N</b>	<b>15</b>
<b>Volný amoniak</b>	<b>25</b>
<b>Dusitany</b>	<b>0</b>
<b>Dusičnany</b>	<b>0</b>
<b>Fosfor (jako P)</b>	<b>10</b>
<b>Organický P</b>	<b>3</b>
<b>Anorganický P</b>	<b>7</b>
<b>Tuky</b>	<b>100</b>

# Produkce znečištění na ekvivalentního obyvatele

Ukazatel znečištění	Jednotka	Hodnota
Nerozpuštěné látky	g	55
BSK <sub>5</sub>	gg	60
CHSK	gg	109
C <sub>org</sub>	gg	40
BSK <sub>5</sub> /CHSK	-	0,55
C <sub>org</sub> /CHSK	-	0.37
BSK <sub>5</sub> /C <sub>org</sub>	-	1,50
Celkový N	gg	12
Celkový P	gg	2-4*
Extrahovatelné látky	gg	15

\* V závislosti na spotřebě syntetických detergentů

# Jakost vod – biochemické znečištění

- Fyzikálně-chemický rozbor vod
  - časově, technicky a ekonomicky náročný
  - výsledky poplatné systému vzorkování
- Biochemické stanovení
  - biochemická spotřeba kyslíku
  - biochemická (extracelulární) aktivita bakteriálních (houbových) enzymů
- Biomonitoring



Množství splaškových vod závisí na způsobech zásobování domácností vodou, na jejich vybavení a na způsobech nakládání s odpadními vodami tzv. specifická spotřeba vody (množství odpadních vod)

v obcích do 50 obyvatel – 80 až 100 l/os. a den

v obcích do 200 obyvatel – 100 až 120 l/os. a den

v obcích do 500 obyvatel – 120 až 130 l/os. a den

### Znečištění komunálních vod

- Hrubě rozptýlené látky
- Jemně rozptýlené usaditelné látky
- Jemně rozptýlené obtížně usaditelné a neusaditelné látky a rozpuštěné látky
- Organické látky (BSK vs CHSK)
- Sloučeniny dusíku
- Sloučeniny fosforu

Populační ekvivalent, resp. ekvivalentní počet obyvatel:

$$E = \text{BSK}_5 \cdot Q / 60,$$

*kde hodnota BSK je v g/m<sup>3</sup>, Q = spotřeba vody (m<sup>3</sup>) za den, 60 = specifické množství*

Populační ekvivalent je množství znečištění, které je stejné, jako znečištění tohoto druhu produkované denně jednou osobou.



BSK <sub>5</sub>	- 60 g na obyvatele a den
NL	- 55 g na obyvatele a den
Ncelk.	- 12 g na obyvatele a den
Pcelk.	- 1.55 g na obyvatele a den

Obvykle bývá nižší

**BSK<sub>5</sub> : CHSK - poměrné zastoupení rozložitelných látek**



> 0.5 - obsahuje organické látky převážně biologicky rozložitelné

odpadní vody ze škrobáren (0.57), droždářen (0.64) a cukrovarů (0.70)

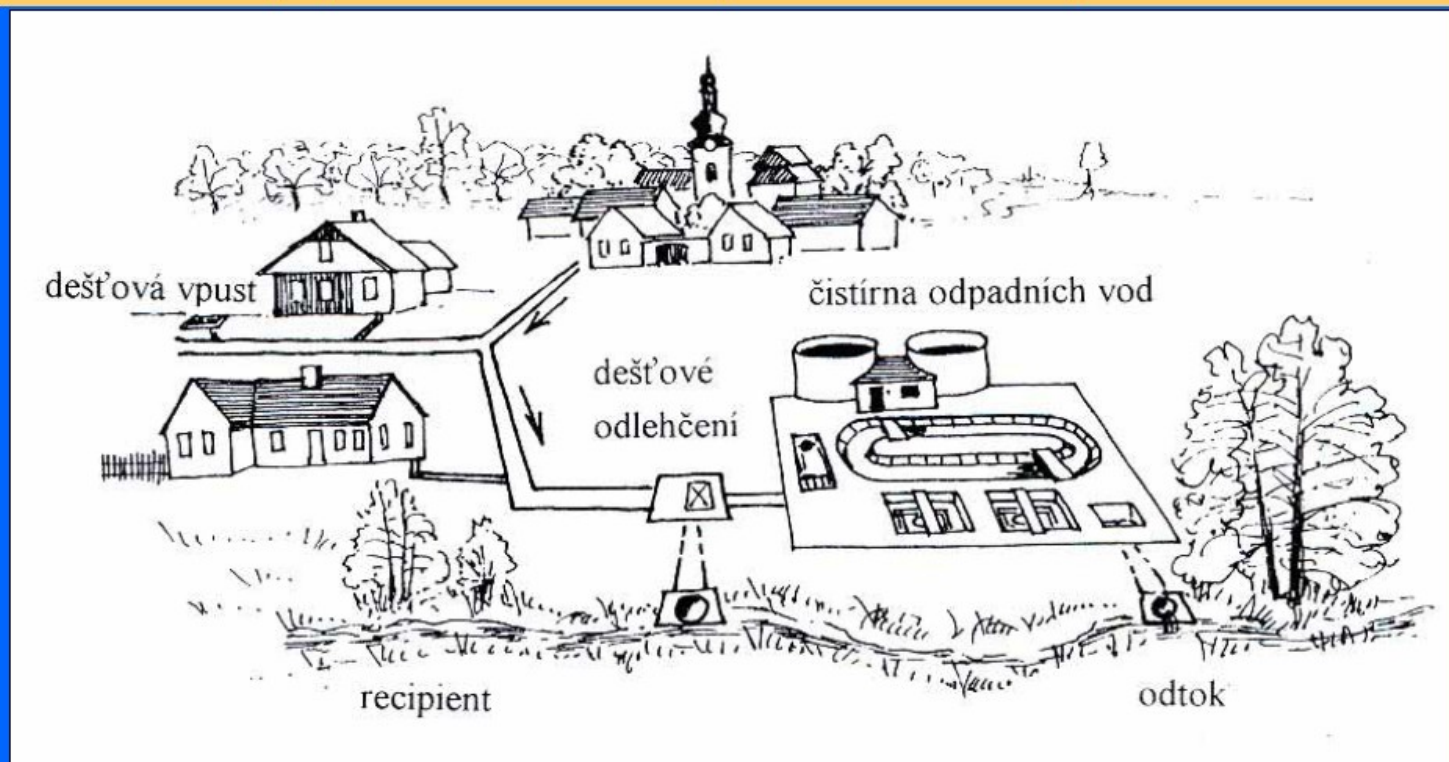
Nařízení vlády ČR č. 171/92 Sb., kterým se stanoví ukazatele přípustného stupně znečištění vod. Závazné hodnoty zbytkového znečištění v mg/l do roku 2005 (EO – ekvivalentní obyvatel; NL – nerozpuštěné látky)

Počet EO	BSK <sub>5</sub>	CHSK <sub>Cr</sub>	NL
do 50 EO (do 3 kg/d)	80	-	65
do 500 EO (do 30 kg/d)	60	-	55
do 5000 EO (do 300 kg/d)	50	170	45

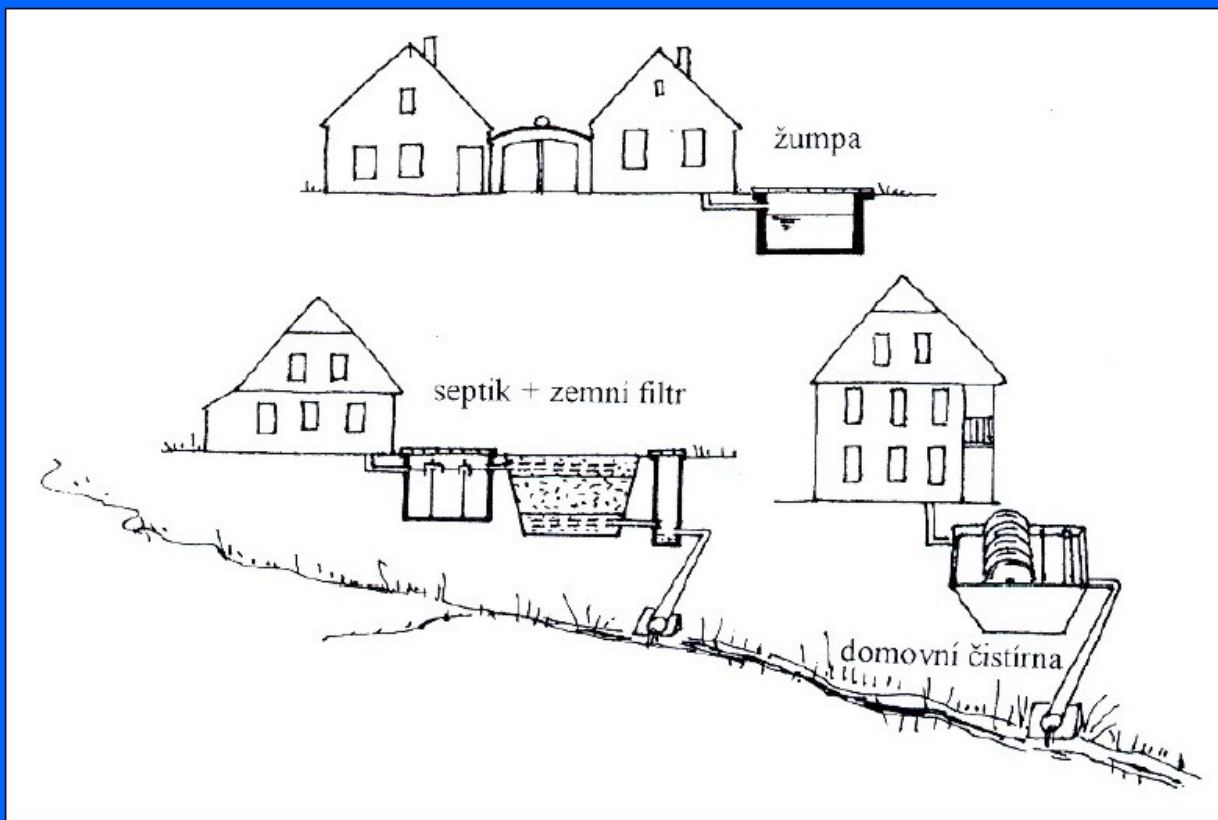
Počty mikroorganismů běžně nalézaných v nečištěných  
splaškových vodách

Organismus	Koncentrace (v 1 ml)
Celkové koliformní	$10^5$ - $10^6$
Fekálně koliformní	$10^4$ - $10^5$
Fekální streptokoky	$10^3$ - $10^4$
Enterokoky	$10^2$ - $10^3$
<i>Shigella</i>	Přítomná
<i>Salmonella</i>	$10^0$ - $10^2$
<i>Clostridium perfringens</i>	$10^1$ - $10^3$
<i>Giardia</i> cysty	$10^{-1}$ - $10^2$
<i>Cryptosporidium</i> cysty	$10^{-1}$ - $10^1$
Helminthes vajíčka	$10^{-2}$ - $10^1$
Enteroviry	$10^1$ - $10^2$

## Centralizovaný systém nakládání s odpadními vodami s jednotnou kanalizací



## Decentralizovaný systém nakládání s odpadními vodami



# Základní dělení dle technologie

- Mechanické čištění odpadních vod
- Chemické čištění průmyslových odpadních vod
- Biologické (biochemické) čištění odpadních vod
  - Přirozené (nativní) metody
  - Biotechnologické metody

# Mechanické čištění odpadních vod

- Gravitační metody
  - Sedimentační nádrže, dosazovací nádrže, lapoly
- Filtrační metody
  - Hrubá filtrace – česla, síta
  - Jemná filtrace – štěrkové a pískové filtry
  - Ultrajemná filtrace – membránové filtry





## Městské (konvenční) čistírny odpadních vod

Hlavním cílem je odstranění organických látek (BSK), obsažených v komunálních (splaškových) odpadních vodách.

### Zařízení pro odstraňování organických látek v odpadní vodě

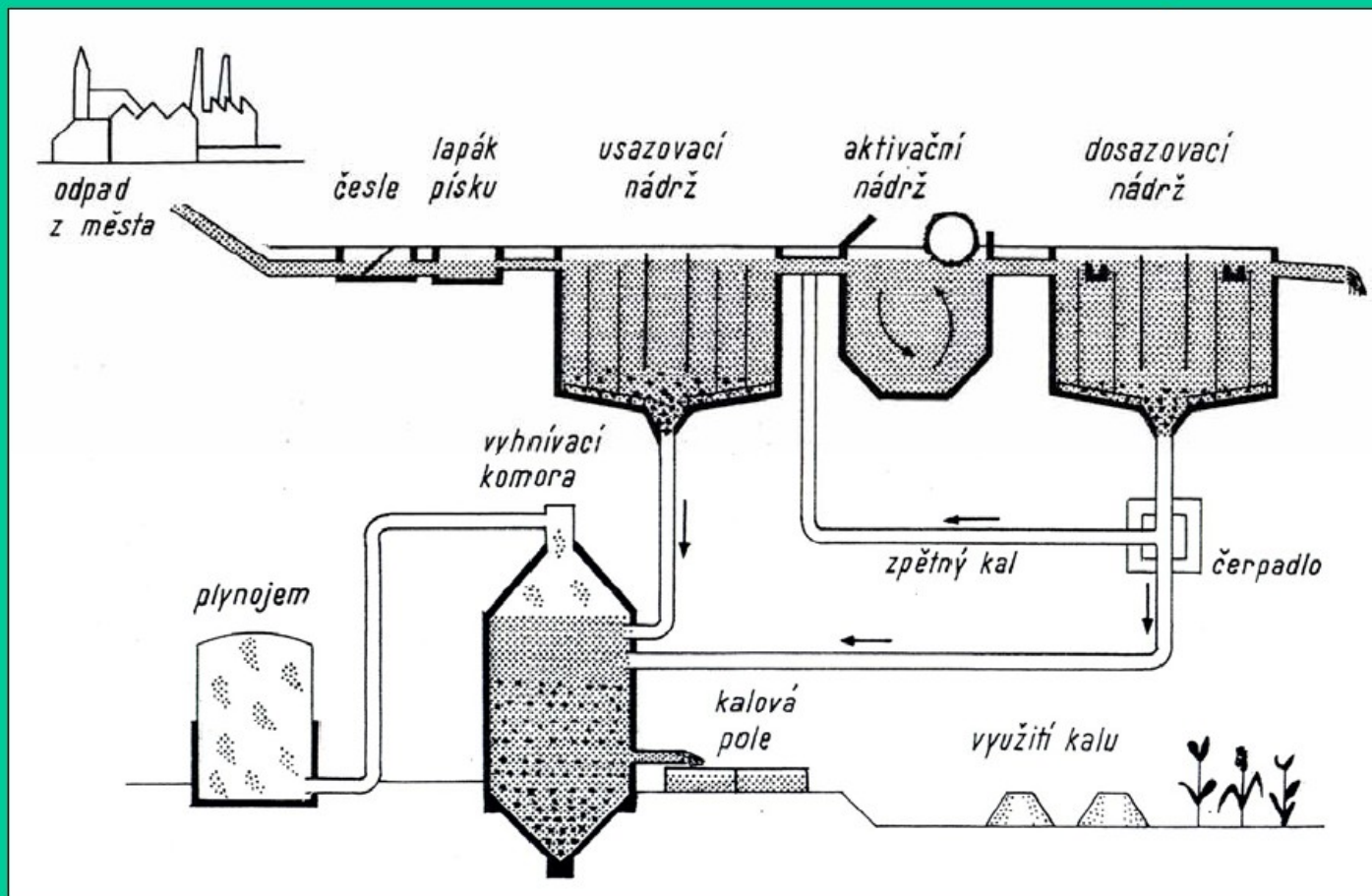
#### Látky v odpadní vodě

- Hrubé plovoucí nečistoty: kusy dřeva, hadry apod.
- Menší plovoucí nečistoty: zbytky zeleniny a ovoce
- Písek, škvára sunut po dně stoky
- Jemný organický kal
- Tuky
- Rozpuštěné organické látky

#### Zařízení na čistírně

- ⇒ Hrubé česle (mezery mezi česlicemi 5-10 cm)
- ⇒ Jemné česle (mezery mezi česlicemi 1-3 cm)
- ⇒ Lapač písku
- ⇒ Sedimentační (usazovací) nádrž
- ⇒ Lapač tuků
- ⇒ Biologický stupeň čistírny

## Schema městské čistírny odpadních vod





Mechanické česle



Strojně stírané česle



Usazovací nádrž

Primární stupeň  
ČOV

## ČOV Olomouc



## Biologické čištění odpadních vod

Biologické čištění = pouze voda obsahující látky schopné biochemického rozkladu = BSK

**Principem** je využití odpadní vody jako substrátu pro růst biomasy o vysoké koncentraci, ale nízké růstové rychlosti, případně sorpce nerozložitelných látek

Jde o napodobení, usměrnění a zintenzivnění přirozených rozkladných procesů a pochodů samočištění, které se vyskytují v půdním a vodním prostředí.

Čistírenská praxe dává přednost aerobním pochodům  $\Rightarrow$  rychlejší rozklad znečišťujících látek (BSK), nevýhodou je aplikace pouze na čištění odpadních vod s menším zatížením.

### Přírodní způsoby čištění

Čištění probíhá v přirozených podmínkách



### Umělé způsoby čištění

Čištění probíhá v uměle vytvořených podmínkách

# Biologické (biochemické) čištění odpadních vod

- Nativní - přírodní metody
  - Půdní filtrace
    - Velmi omezené užití, vhodná půda (štěrkopísky), riziko ohrožení podzemních vod



## – Závlahy

- Metody:

- Podmok – velmi podobné půdní filtraci, zavedení vody např. do drenážního systému
- Přeron – povrchové rozvedení vody např. závlahovým systémem
- Výtopa a postřik (zatopení plochy a nebo využití závlahových systémů)

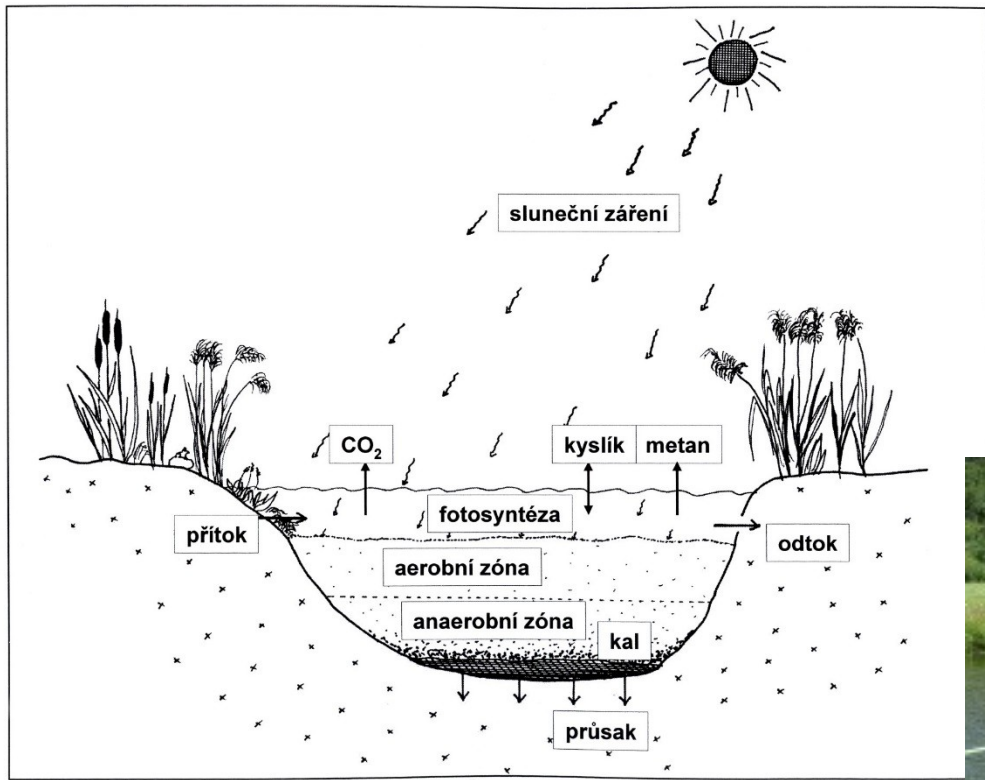
- Velká plocha v desítkách ha
- Možné využití na dočištění odpadních vod s velkým obsahem živin
- Riziko havárie – náhlý přeron a místní bodové znečištění
- Orná půda – 30 m<sup>3</sup>/den
- Louky až 90 m<sup>3</sup>/den

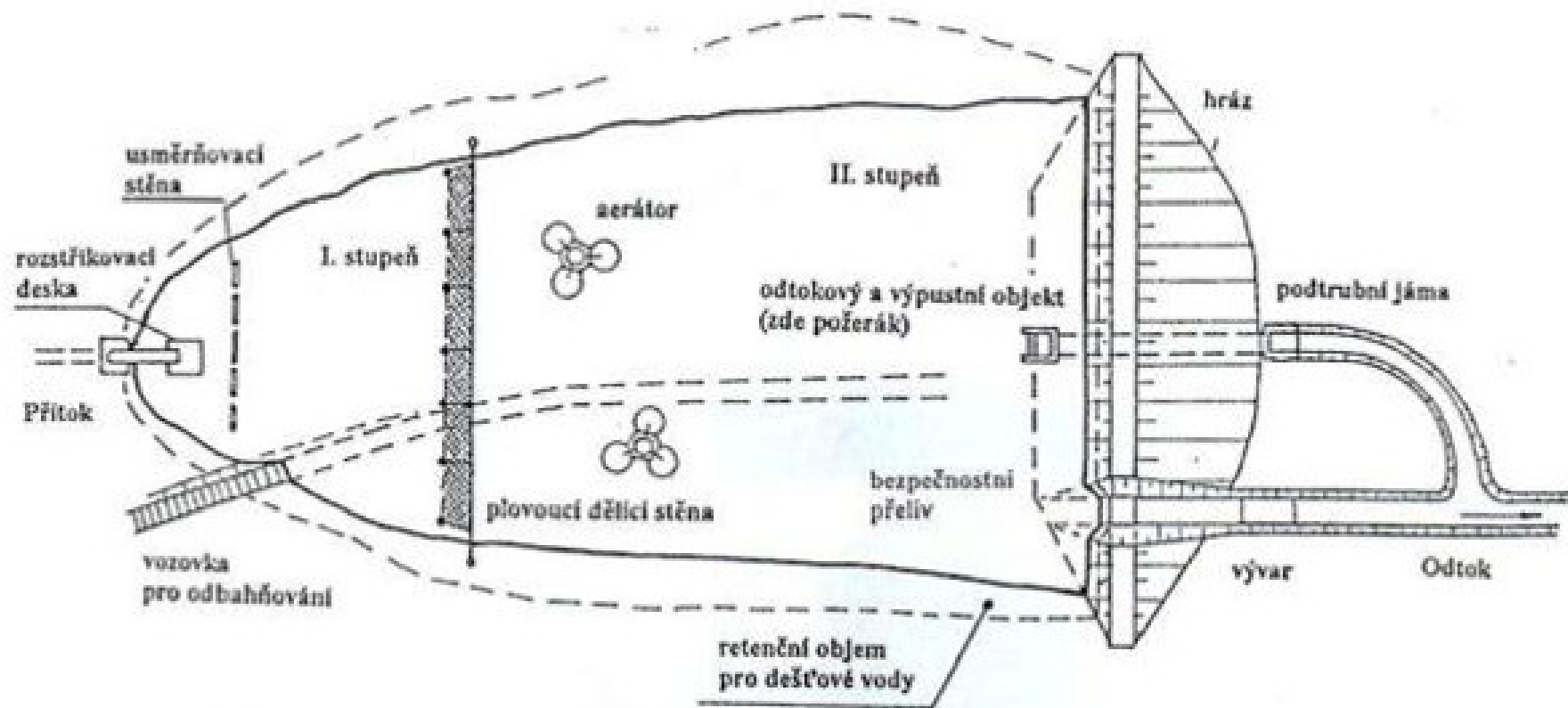
# Nádrže - rybníky

- Akumulační rybníky
  - Kampaňové vody, bezodtokový systém
  - Vývoj: sedimentace – anaerobie; vytvoření eufotické zóny – sinice a řasy – aerobní vrstva; rozvoj fyto a zooplanktonu; možnost nasazení ryb.
- Asimilační rybníky
  - Odtokový systém, trvale ztěžování odpadními vodami, nutné mechanické předčištění, riziko místní a celkové anoxie, udržování chemismu vody (amoniak, vápník, pH), velikost a složení rybí obsádky
- Stabilizační (Pytlíkovy) rybníky
  - Soustava nádrží – sedimentační, asimilační, dočišťovací – produkční rybník; trvalé sledování a údržba, velikost a složení rybí obsádky

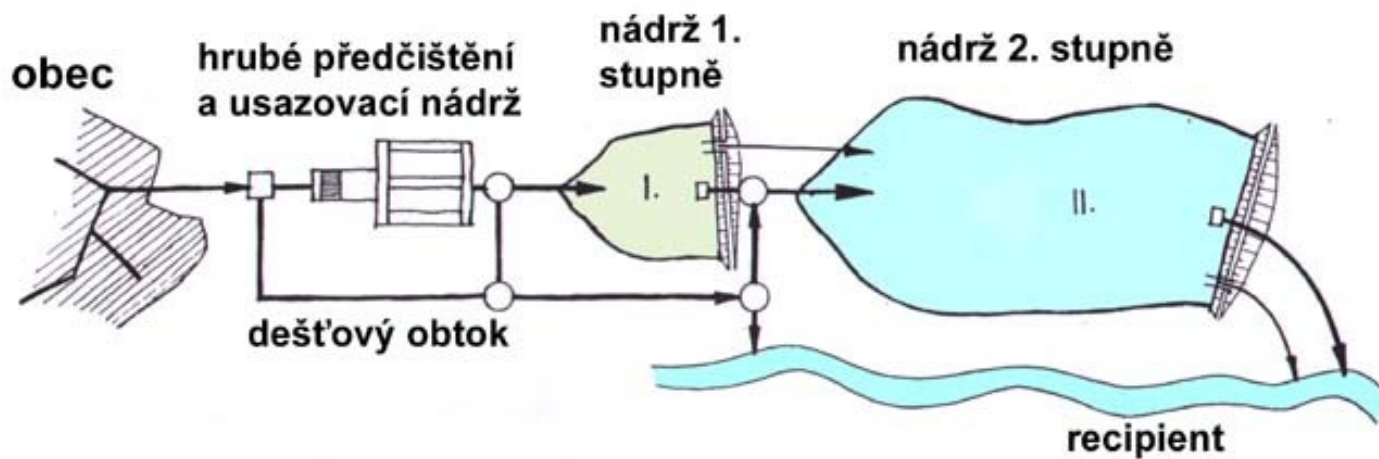


# Asimilační nádrž





# Stabilizační rybníky

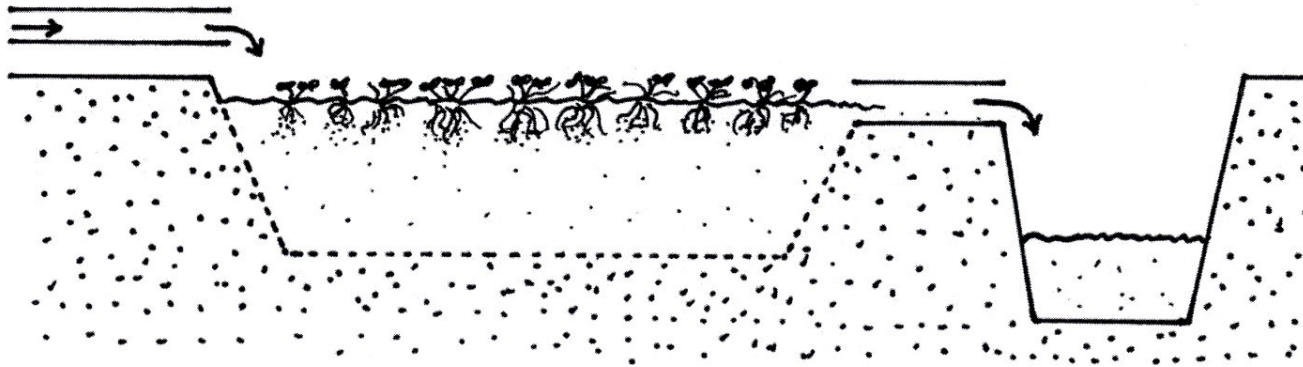




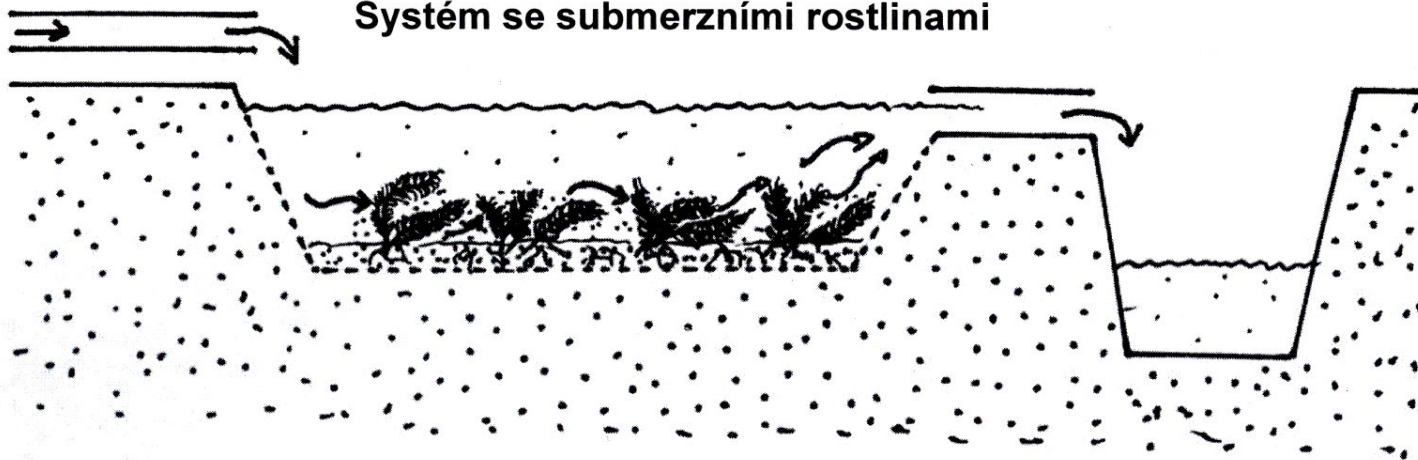
# Vegetační čistírny

- Čistírny s natantní nebo submerzní vegetací
  - Okřehky (*Lemna* sp.), tokozelka nadmutá (*Eichhornia crasipes*)
  - Biokoncentrace kovů, odstraňování živin, akumulace některých organických polutantů
  - Pravidelné odebírání vegetace, údržba a dávkování (složení vody)
  - Likvidace sklizené vegetace

**System s plovoucími rostlinami**



**System se submerzními rostlinami**

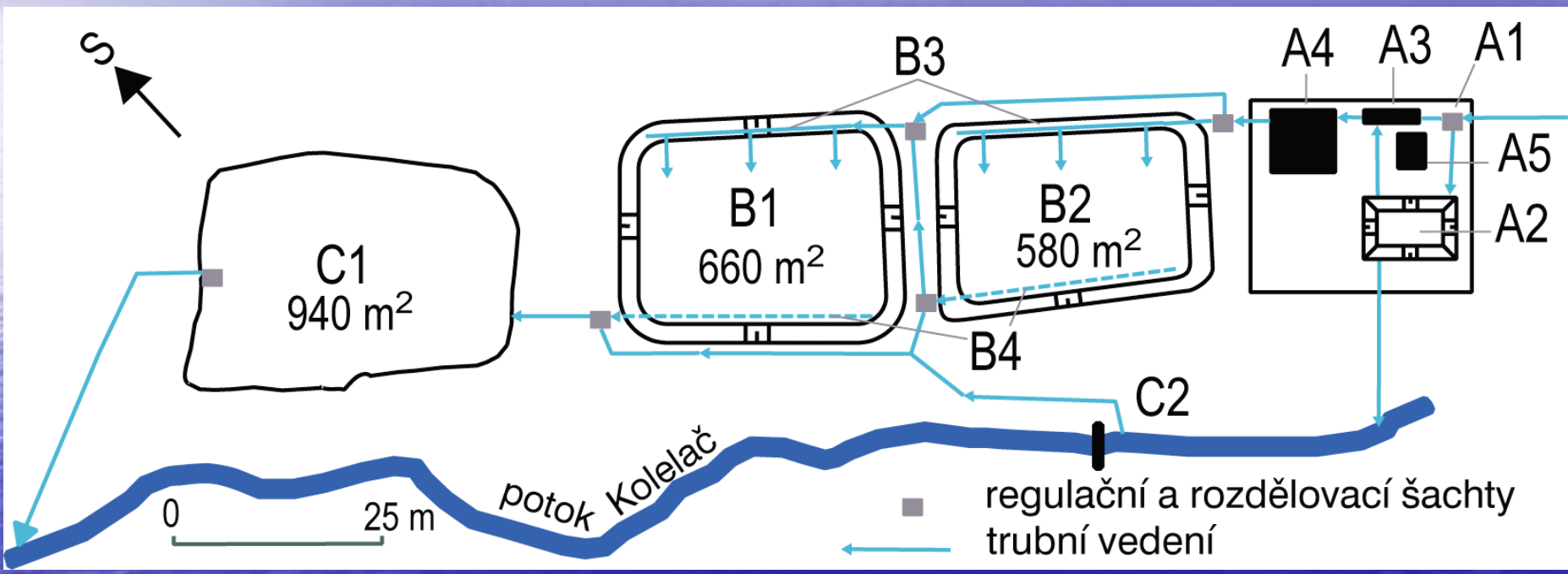




# Vegetační čistírny

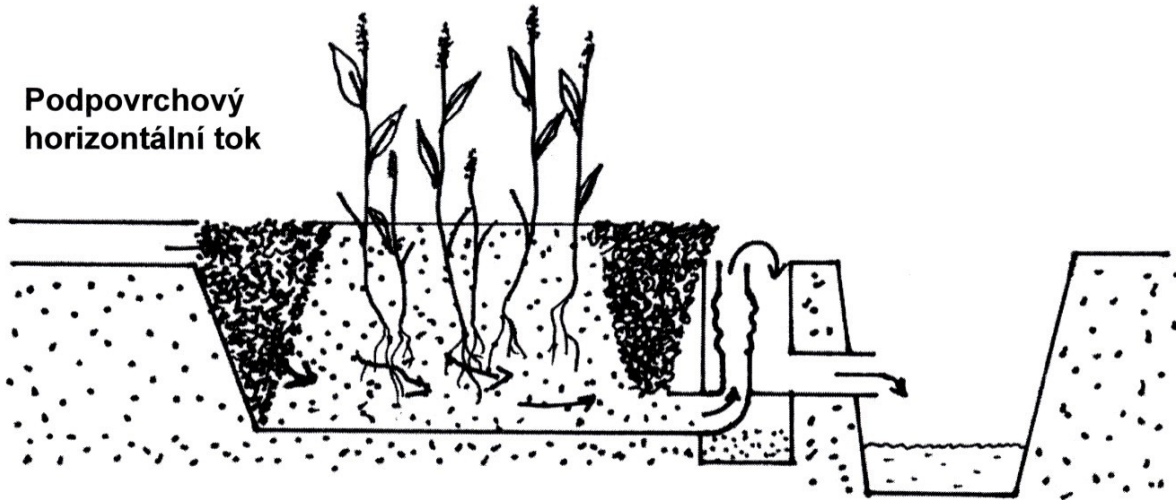
- Kořenové čistírny (vždy nutné mechanické předčištění)
  - Typ Seidel
    - Nádrž z pevným dnem, náplň štěrkopísek, hl. do 1m,
    - Osázení: Rákosy, skřípince, orobince, kosatce – nutná pravidelná sklizeň
    - Účinnost srovnatelná s aktivací v BSK<sub>5</sub> a CHSK
    - Nitrifikace jen částečná, defosforylace žádná
    - Při dočišťování – spotřeba živin N, P



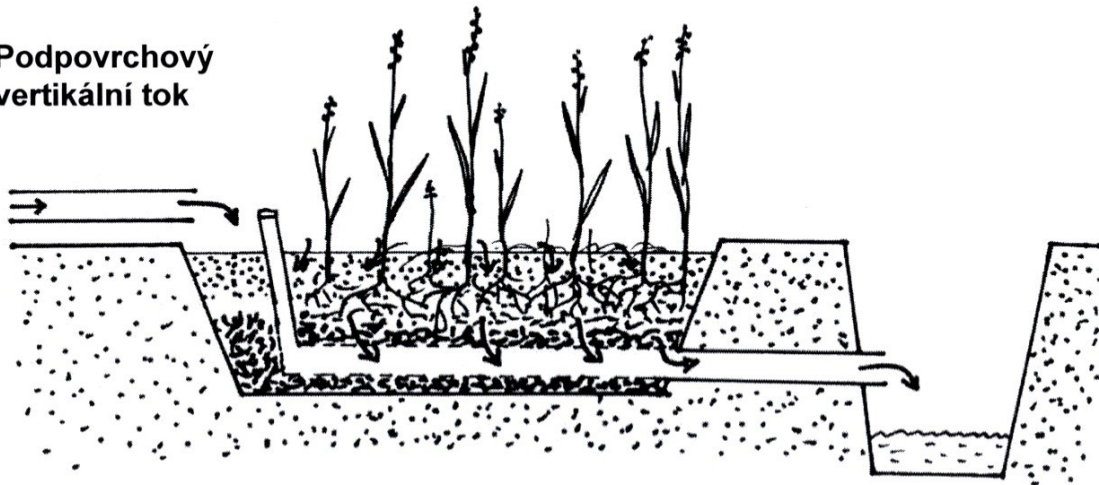


## System s emerzními rostlinami

Podpovrchový  
horizontální tok



Podpovrchový  
vertikální tok



# ● Kořenové čistírny

## – Typ Kickuth

- Využití původního mokřadu a písčitých a štěrkopísčitých půdách
- Porost přirozený – rákos, orobince
- Aerobní zóna podél kořenů – nitrifikační zóna
- Anaerobní zóna – denitrifikace
- Neodebírá se úroda, v suchém materiálu depozice živin
- Účinnost závisí na obsluze a klimatu
- 1 ekv. Obyvatel 2 – 3 m<sup>3</sup>, tj. obce nad 5 tis. Obyvatel – velikost čistírny 10 – 15 tis m<sup>3</sup>













## **Výhody**

- nízké provozní náklady
- nízké energetické požadavky
- mohou být postaveny u zdroje odpadní vody
- více flexibilní a méně náchylní na náhlé přetížení
- biomasa se může sklízet na krmivo pro zvířata nebo do kompostu
- sklizená biomasa může být využita jako palivo

## **Nevýhody**

- vyžadují velké zábory půdy
- není využití pro velké objemy odtoků
- snížená schopnost provozu v zimě
- malá kapacita pro odstranění patogenů na výtoku
- mohou být náchylné na vysoké hladiny polutantů jako např. toxické kovy

# Účinnost kořenových ČOV

Parametr	přítok (mg/l)	odtok (mg/l)	účinnost (%)	K
BSK <sub>5</sub>	160	15,3	86,1	38
CHSK	352	60,0	75,9	30
NL	165	14,5	82,3	38
P <sub>celk.</sub>	5,8	2,95	42,4	21
N <sub>celk.</sub>	54,2	27,0	42,6	14
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	30,9	18,4	33,6	25
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	6,9	4,6	25,8	10

## Ekonomika provozu vegetačních – kořenových čistíren

	Náklady na provoz KČOV (Kč/rok)	Náklady na provoz mechanicko-biologické čistírny (Kč/rok)
Chmelná – 150 EO	40 000	180 000
Hostětín – 240 EO	40 000	300 000
Dražovice – 780 EO	300 000	950 000
Spálené Poříčí – 1 400 EO	240 000	1 500 000

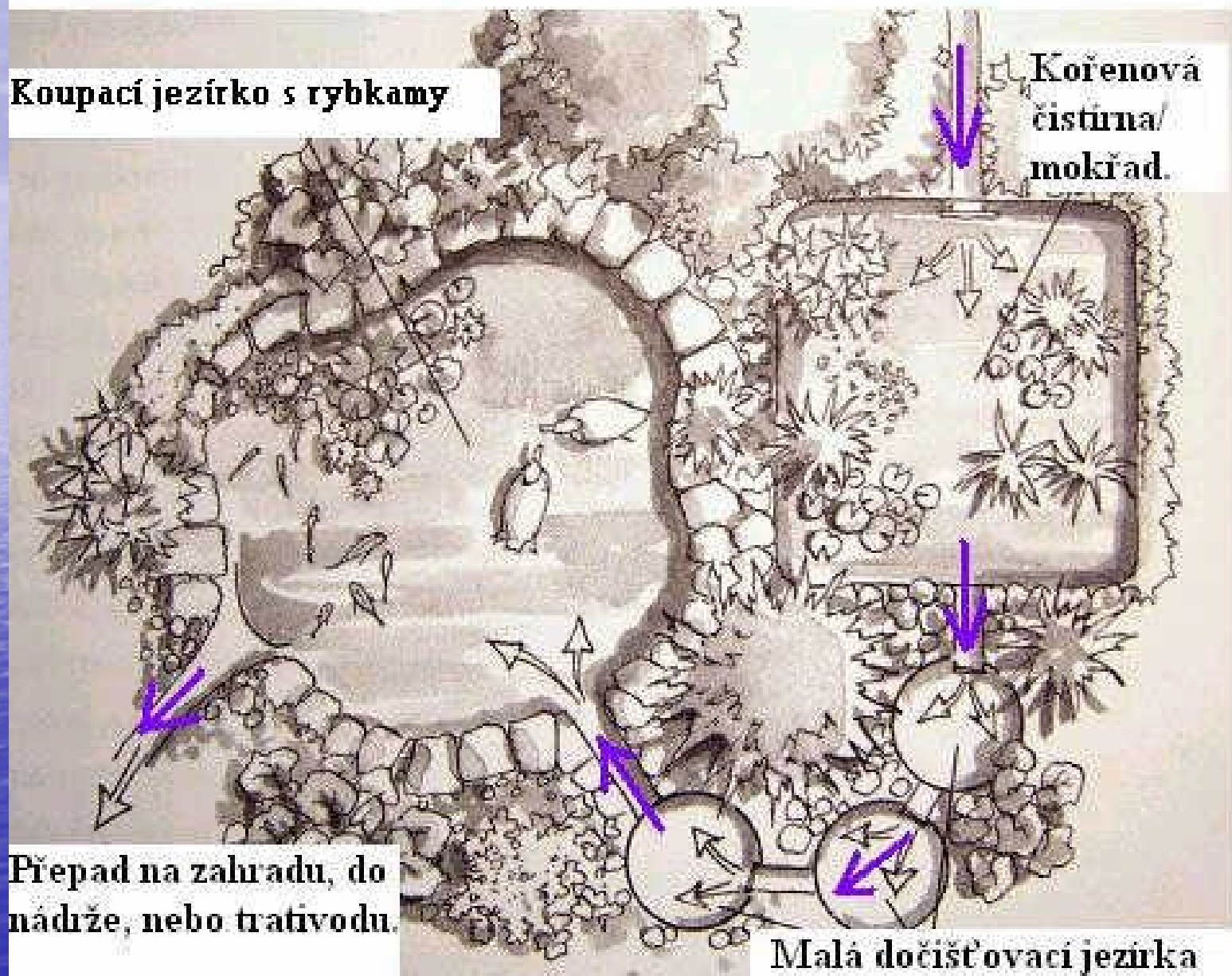
# System jezírek napájených šedou vodou z domácnosti.

**Koupací jezírko s rybkami**

**Kořenová  
čistírna/  
mokřad.**

**Přepad na zahradu, do  
nádrže, nebo trativodu.**

**Malá dočišťovací jezírka**



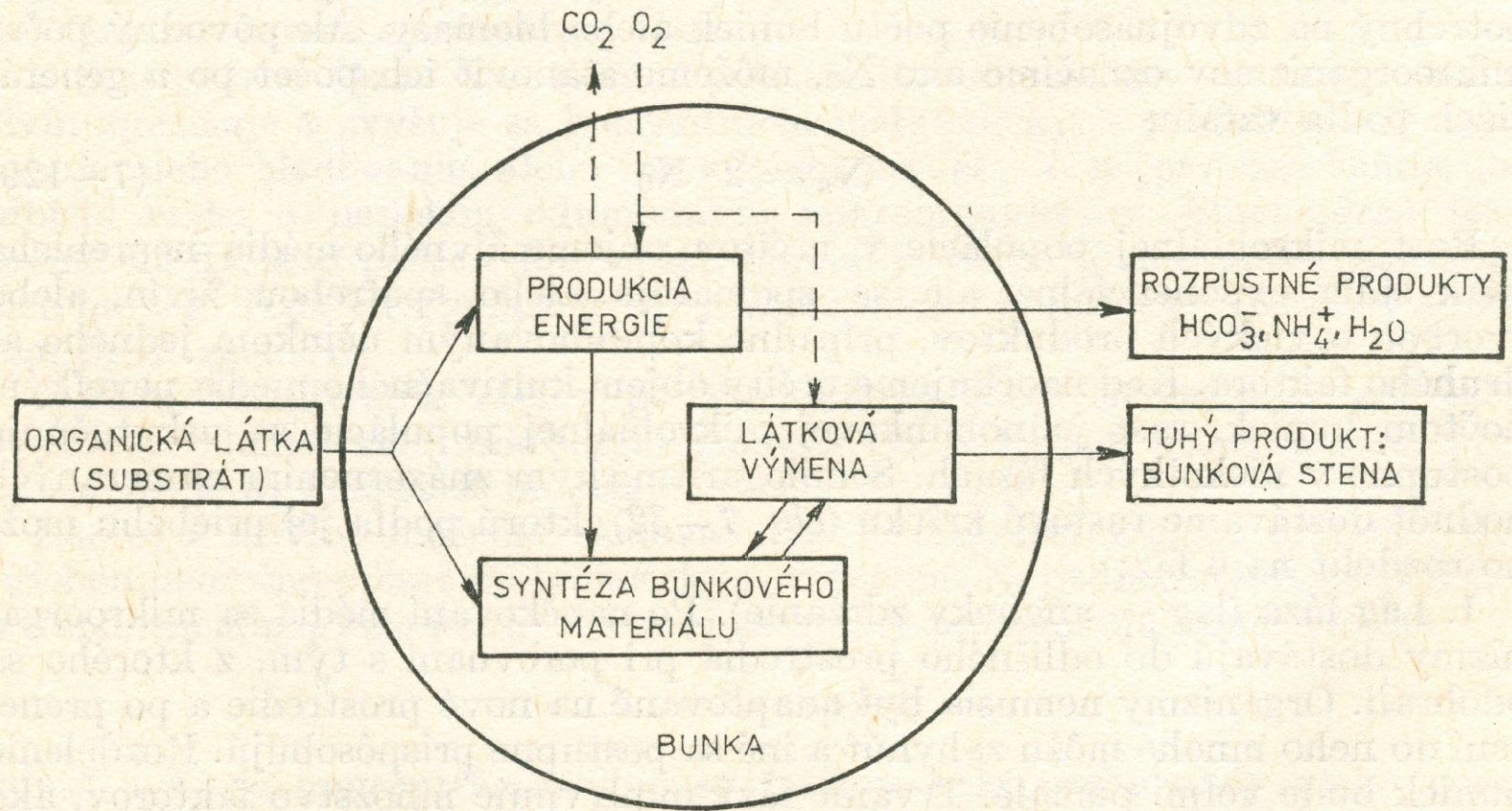
# Biotechnologické metody

- Aerobní procesy
  - Biologická skrápěná tělesa – biofiltry
  - Biodiskové čistírny
  - Aktivační čistírny
- Anaerobní procesy
  - Stacionární systémy – žumpy, septiky, emšerské studny.....
  - Vyhnívací reaktory

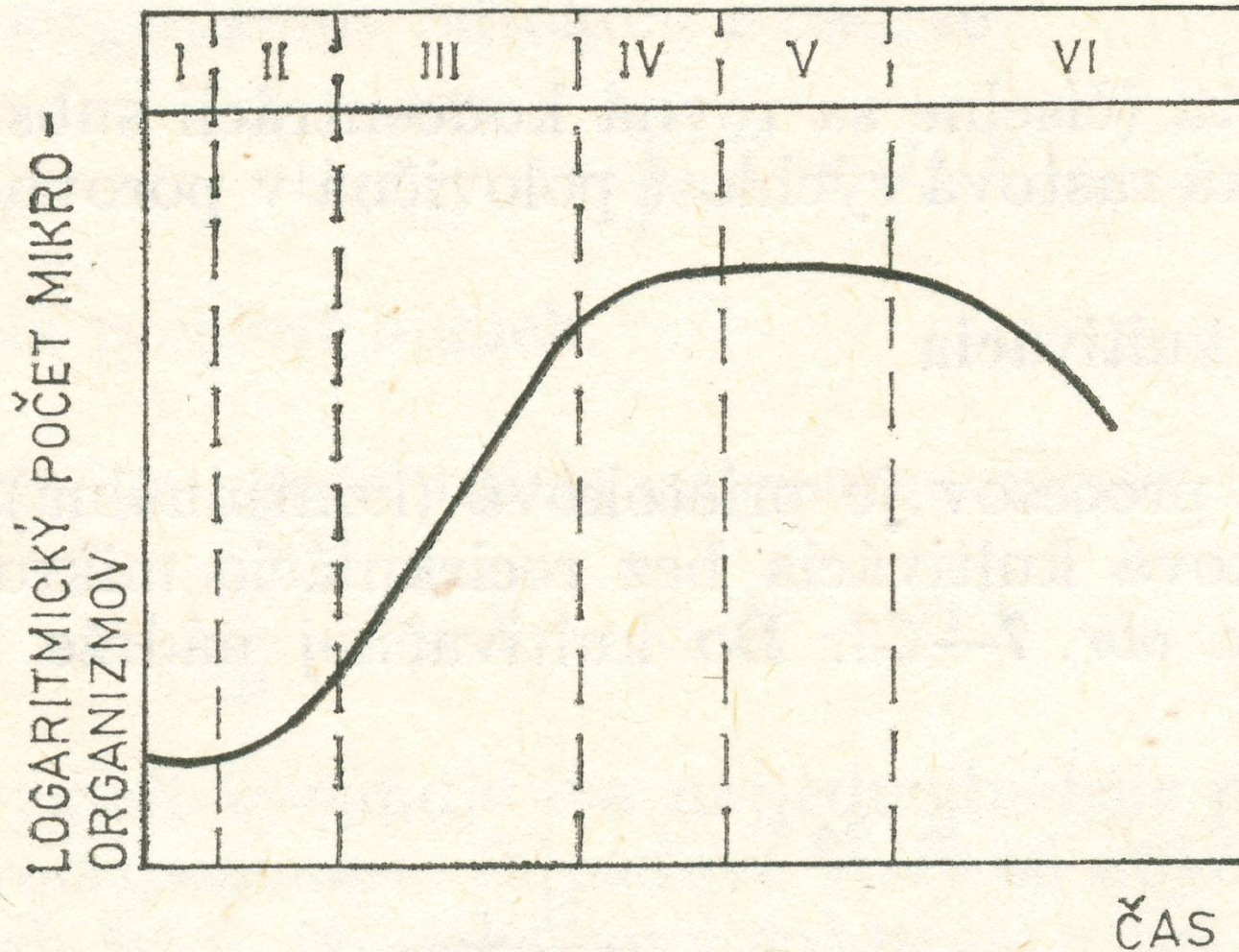
# Principy aerobního rozkladu

- Trvalá přítomnost rozpuštěného  $O_2$  – optimálně do 2 mg/l
- Dva stupně
  - Bioticko - oxidační rozklad organických látek za produkce  $CO_2$  a  $H_2O$  – karbonizační stupeň
  - Biotická oxidace  $NH_4$  iontů na  $NO_2$ ,  $NO_3$  – nitrifikační stupeň
- Rasantní spolupůsobení různých kmenů aerobních hub, bakterií, prvoků a i vyšších organismů

# Rozložitelnost organických látek

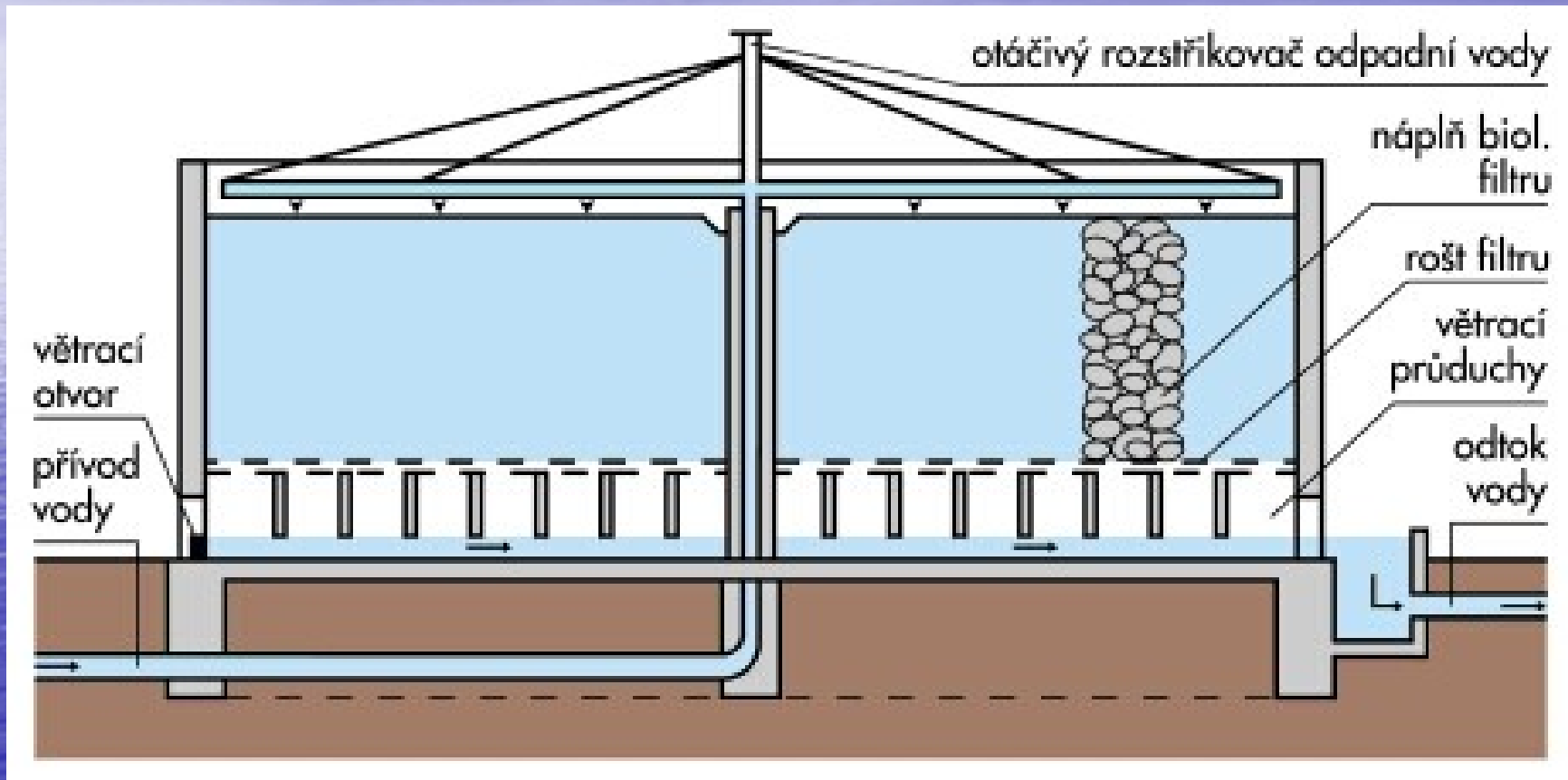


# Parametry biochemického rozkladu

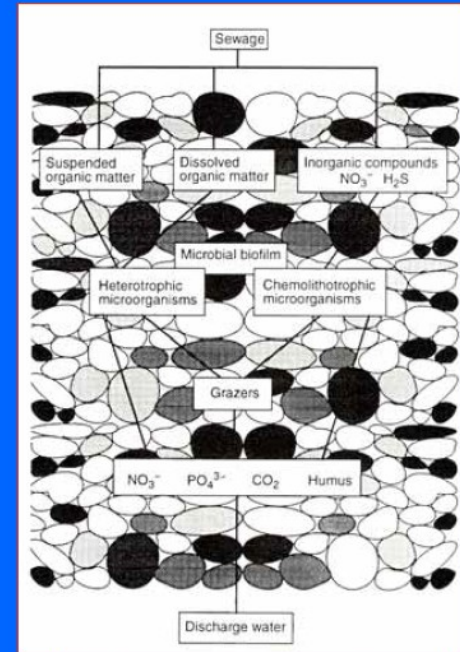
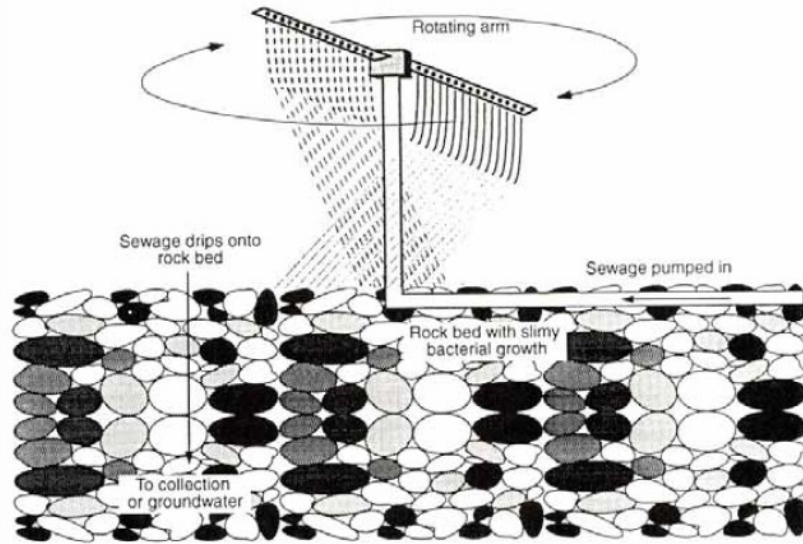
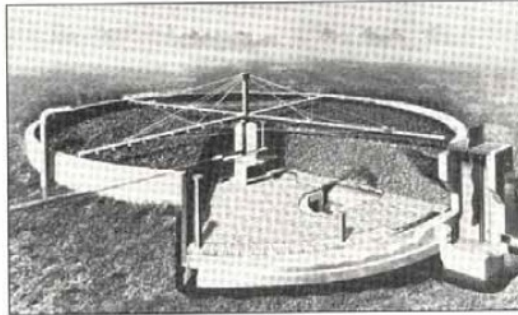




## Biologický filtr – biologické skrápěné těleso







## Oživení skrápěných biofiltrů

Sladká (1965); Sládeček et al. 1996)

### **Mikromycety**

*Fusarium aquaeductum*

*Aspergillus*

*Penicillium*

*Fusarium*

*Alternaria*

*Cladosporium*

*Sepedonium*

*Trichoderma*

*Mucor*

*Rhizopus*

### **Sinice**

*Oscillatoria limosa*

*Phormidium autumnale*

*Pseudanabaena catenata*

### **Bezobratlí**

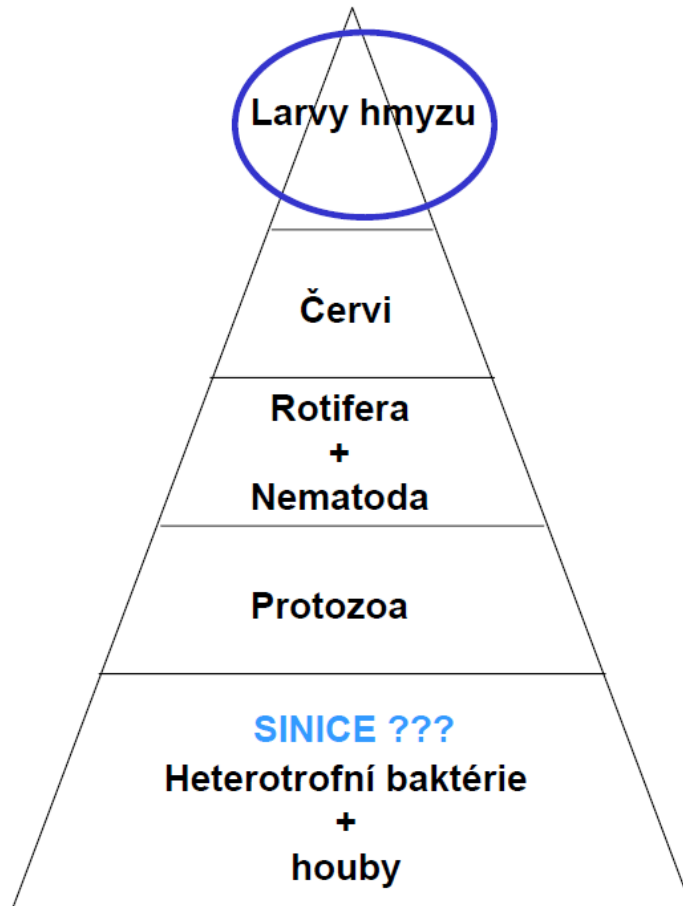
Nematoda

Oligochaeta

Rotifera

Insecta

## BIOFILTR ČOV



*Psychoda alternata*





## Rotační biodisky (biodiskové reaktory)

↪ princip skrápěných biofiltrů = přisedlé biofilmové společenstvo

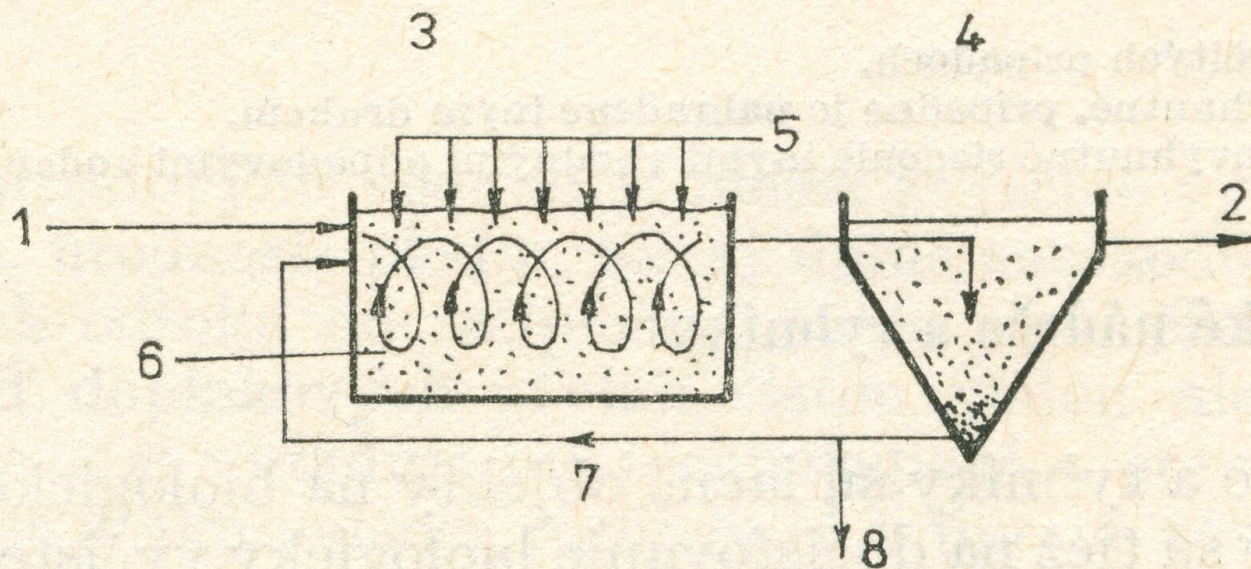


Čistírna pro malé zdroje znečištění (2-12 EO;  
rodinné domky, drobné provozovny, penziony, bistra,  
rekreační objekty)



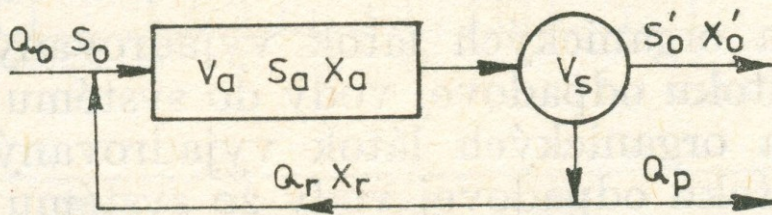


# Aktivace – aktivovaný kal



*Obr. 10—23. Schéma aktivácie*

*1 – prítok odpadovej vody, 2 – odtok vyčistenej odpadovej vody, 3 – aktivačná nádrž, 4 – sedimentačná nádrž, 5 – kyslík, 6 – aktivačná zmes, 7 – vratný kal, 8 – nadbytočný kal*



Obr. 10—24. Základné parametre aktivácie

Čas zdržania  $T_a$  (h)

$$T_a = \frac{V_a}{Q_0} \quad (10-10)$$

kde  $V_a$  je objem aktivačnej nádrže ( $m^3$ ),  
 $Q_0$  — prítok odpadovej vody ( $m^3 \cdot h^{-1}$ ).

V praxi sa niekedy počíta aj čas zdržania zmesi odpadovej vody a vratného kalu

$$T'_a = \frac{V_a}{Q_0 + Q_r} \quad (10-11)$$

kde  $Q_r$  je prítok vratného kalu ( $m^3 \cdot h^{-1}$ ).

Vek kalu  $A$  (deň)

$$A = \frac{V_a X_a}{24 [Q_p X_r + (Q_0 - Q_p) X'_0]} \quad (10-12)$$

kde  $Q_p$  je prítok nadbytočného kalu ( $m^3 \cdot h^{-1}$ ),

$X_a$  — koncentrácia sušiny kalu (alebo organickej sušiny) v aktivačnej nádrži ( $kg \cdot m^{-3}$ ),

$X_r$  — koncentrácia sušiny kalu (alebo organickej sušiny) vo vratnom kale ( $kg \cdot m^{-3}$ ),

$X'_0$  — koncentrácia suspendovaných látok v odtoku zo sekundárnej sedimentačnej nádrže ( $kg \cdot m^{-3}$ ).

Čistiaci účinok  $E$  (%)

$$E = \frac{S_0 - S'_0}{S_0} \cdot 100 \quad (10-13)$$

kde  $S_0$  je koncentrácia organických látok vyjadrovaných ako BSK<sub>5</sub> alebo CHSK v prítoku odpadovej vody do systému ( $kg \cdot m^{-3}$ ),

$S'_0$  — koncentrácia organických látok vyjadrovaných ako BSK<sub>5</sub> alebo CHSK v odtoku odpadovej vody zo systému ( $kg \cdot m^{-3}$ ).

Podľa čistiacieho účinku rozoznávame systémy s vysokou účinnosťou (95 % redukcia BSK<sub>5</sub>) so strednou účinnosťou (asi 90 %), nízkou účinnosťou (80 %) a s čiastočným čistením (nižšie 70 %).

**Látkové objemové zafazenie**  $L_o$  ( $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ ) organických látok vyjadrených najčastejšie ako BSK<sub>5</sub>

$$L_o = \frac{24 Q_0 S_0}{V_a} = \frac{24 S_0}{T} \quad (10-14)$$

Vyjadruje množstvo organických látok v odpadovej vode, ktoré privádzame na jednotku priestoru aktivačnej nádrže za časovú jednotku. Vzťah látkového objemového zafazenia k čistiacemu účinku je dostatočne voľný.

**Zafazenie kalu**  $L_k$  ( $kg \cdot kg^{-1} \cdot d^{-1}$ )

$$L_k = \frac{24 Q_0 S_0}{V_a X_a} = \frac{24 S_0}{X_a T} = \frac{L_o}{X_a} \quad (10-15)$$

Je to dôležitý parameter, ktorý ukazuje koľko potravy (organických látok) majú k dispozícii mikroorganizmy prítomné v oživenom kale. V praxi sa určuje ako hmotnosť organických látok privádzaná na 1 kg sušiny kalu za deň. Pre produkciu kalu je dôležité odstránené zafazenie kalu, ktoré je súčinom zafazenia kalu a čistiacieho účinku (deleného 100).

**Kalový index** (KI) ( $l \cdot kg^{-1}$ )

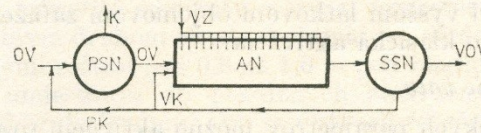
$$(KI) = \frac{10 V_{30}}{X} \quad (10-16)$$

kde  $V_{30}$  je objem kalu po 30 min sedimentácie v % k objemu na začiatku,  
 $X$  — koncentrácia sušiny kalu ( $kg \cdot m^{-3}$ ).

**Recirkulačný pomer**  $r$

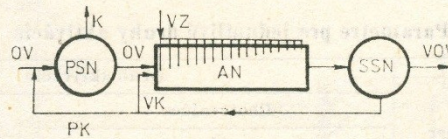
$$r = \frac{Q_r}{Q_0} \quad (10-17)$$

**Odstupňovaná aerácia** má podobnú schému ako klasická, len prívod vzduchu je rozdelený nerovnomerne, t. j. množstvom pridávaného kyslíka sa znižuje postupne pozdĺž nádrže v smere prietoku, súčasne so znížením koncentrácie organického znečistenia (obr. 10—29).



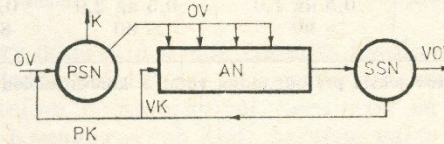
Obr. 10—28. Klasická aktivácia

PSN — primárna sedimentačná nádrž, AN — aktivačná nádrž, SSN — sekundárna sedimentačná nádrž, RN — regeneračná nádrž, VZ — vzduch, OV — odpadová voda, VOV — vyčistená odpadová voda, VK — vratný kal, PK — nadbytočný kal, K — kal



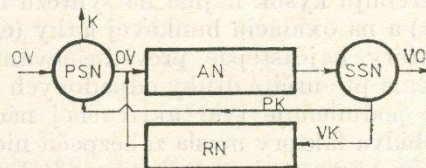
Obr. 10—29. Odstupňovaná aktivácia

**Postupne zatažovaná aktivácia** (obr. 10—30) sa vyznačuje tým, že odpadová voda sa privádza na niekoľkých miestach pozdĺž nádrže, čím sa vyrovnáva zaťaženie nádrže, a tým aj rýchlosť spotreby kyslíka v nádrži. Postupne zatažovanú aktiváciu možno objemovo viac zatažiť (nad  $0,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ) ako klasickú aktiváciu.



Obr. 10—30. Postupne zatažovaná aktivácia

**Aktivácia s oddelenou regeneráciou kalu** je na obr. 10—31. Odpadová voda a oživený kal v aktivačnej nádrži sa prevzdušňujú pomerne krátky čas

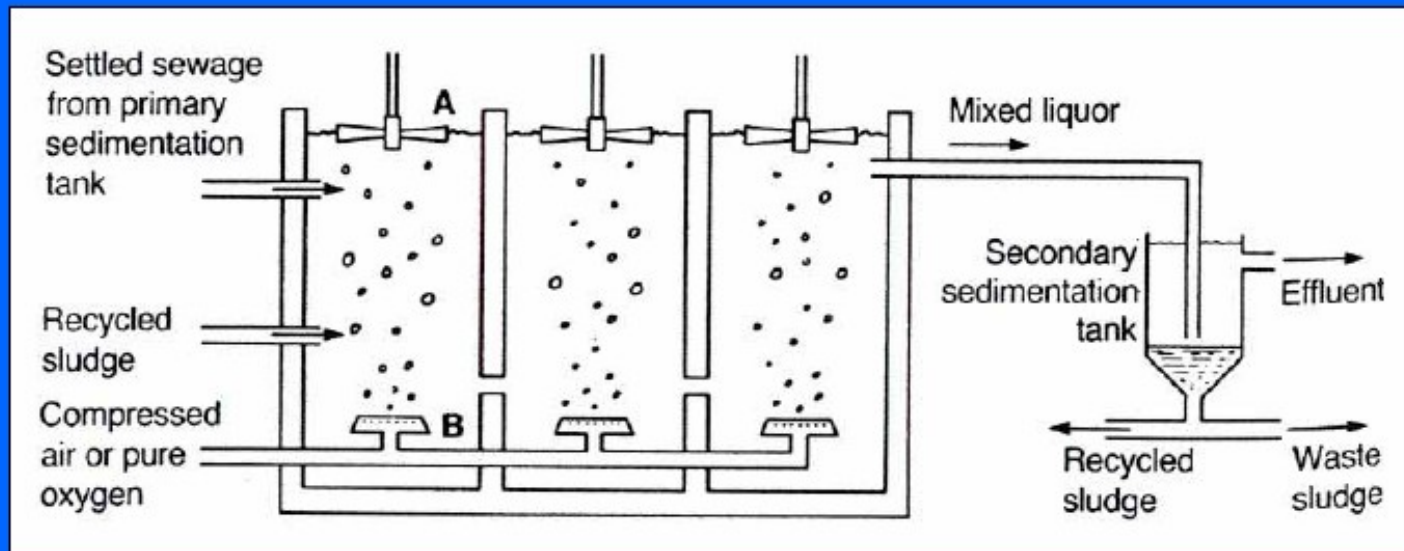


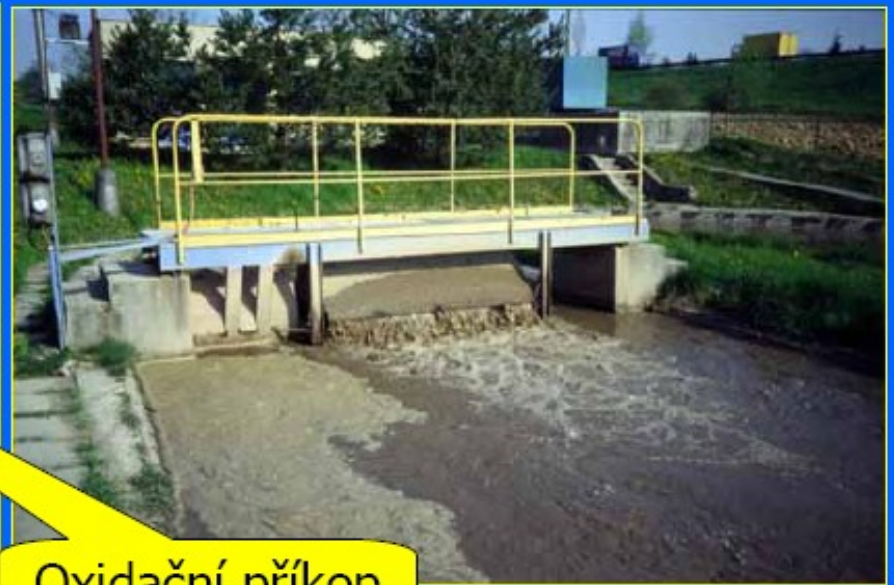
Obr. 10—31. Aktivácia s oddelenou regeneráciou kalu

# Aktivace

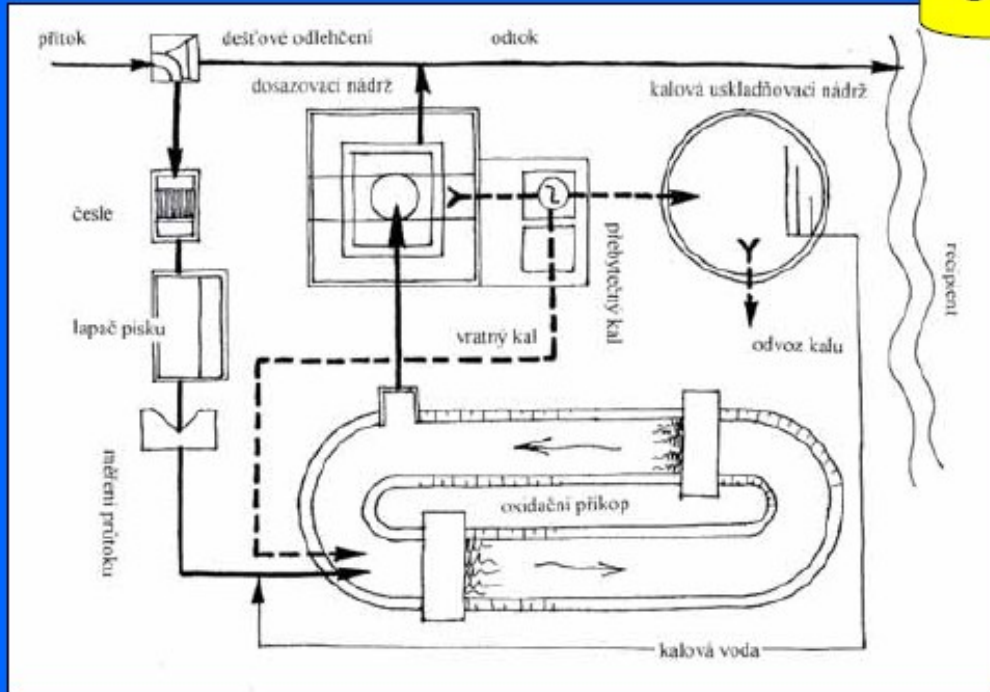


Aerobní čištění směsnou kulturou ve vzosu





Oxidační příkop



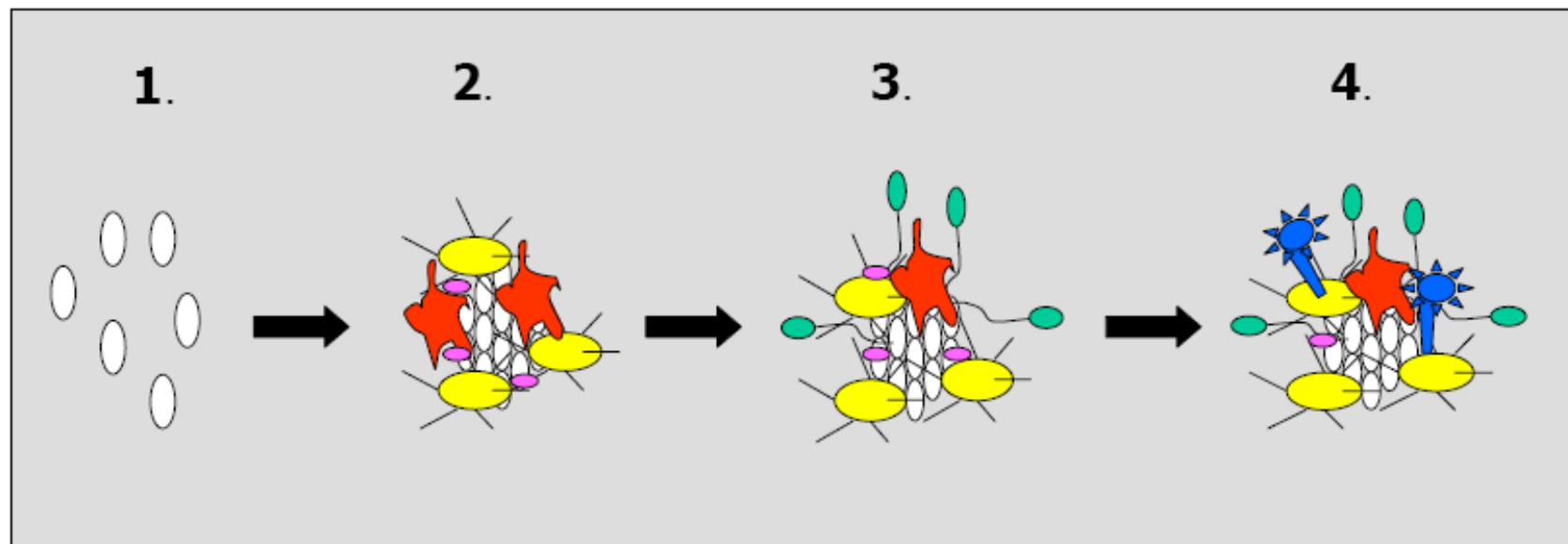
## Parametre pre jednotlivé druhy aktivácie

Parameter, symbol, rozmer	Druh aktivácie			
	dlhotrvajúca		úplná	čiastočná
	s úplnou stabilizáciou kalu	s čiastočnou stabilizáciou kalu		
Zaťaženie kalu $L_k$ (kg · kg <sup>-1</sup> · d <sup>-1</sup> )	0,02 až 0,08	0,08 až 0,15	0,25 až 0,65	1,0 až 2,5
Objemové látkové zaťaženie $L_0$ (kg · m <sup>-3</sup> · d <sup>-1</sup> )	0,1 až 0,5	0,15 až 0,70	1,1 až 2,7	> 3,6
Čas zdržania v aktivačnej nádrži $T_a$ (h)	24 až 48	12 až 48	1,5 až 8,0	0,5 až 1,0
Recirkulačný pomer $r$	0,5 až 1,0	0,5 až 2,0	0,5 až 1,0	0,5 až 1,0
Čistiaci účinok $E$ (%)	> 90	> 90	80 až 90	60 až 80

Uvedené hodnoty parametrov platia pre odpadovú vodu s koncentráciou 100 až 400 mg · l<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> na vstupe do aktivácie.



## Fáze vzniku vločky aktivovaného kalu



○ bakterie



Volně žijící nálevníci



stopkatí nálevníci

● bezbarví bičíkovci

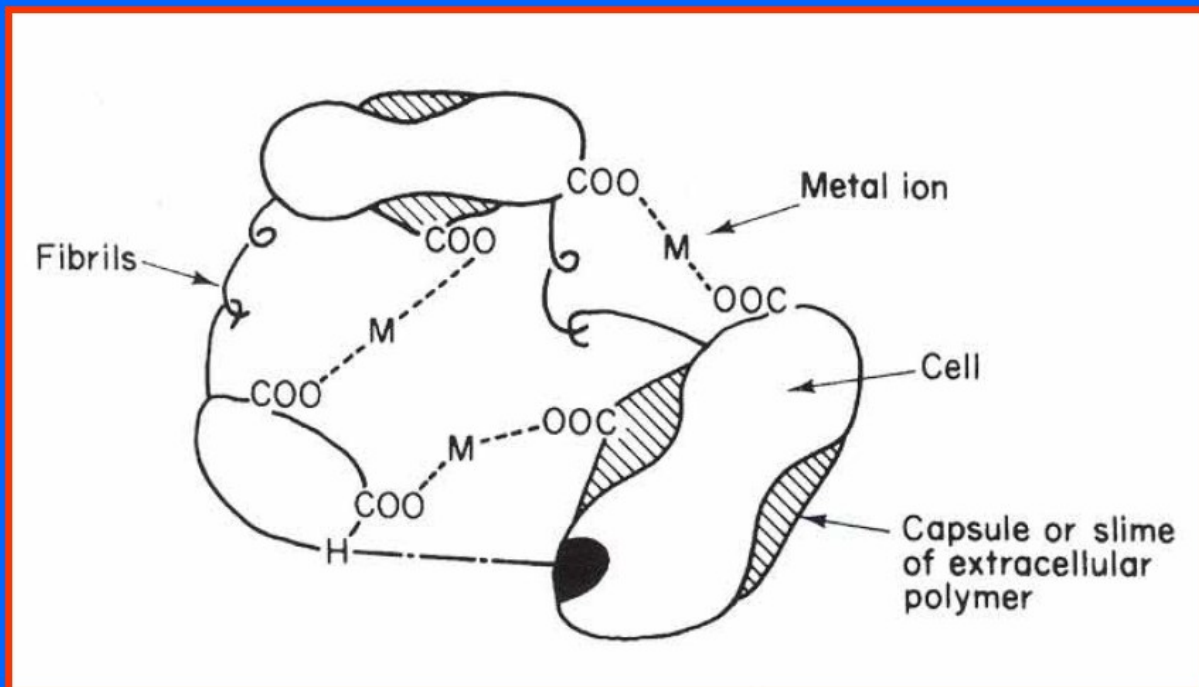


měňavky



vířníci

# Schema pravděpodobné struktury vločky



*Vzhled a struktura vloček na rastru Cyrus*

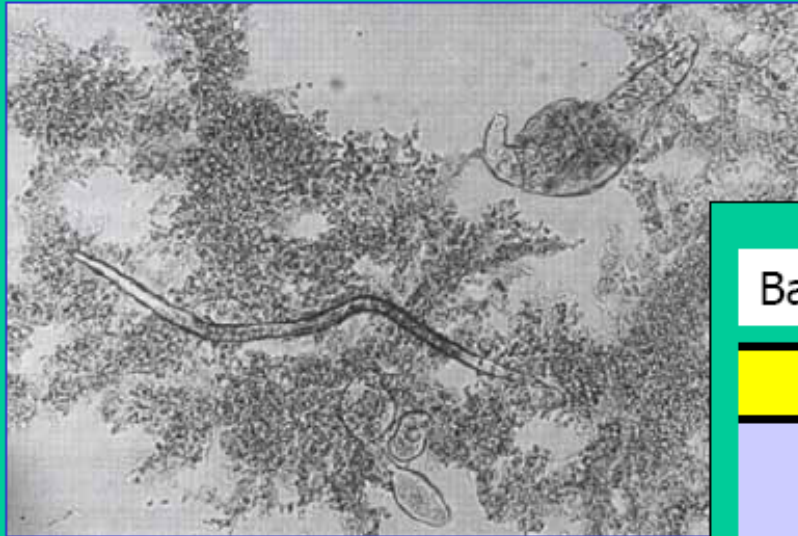




*Příklady oživení aktivovaných kalů (typické x netypické)*



## Typická vložka aktivovaného kalu



Bytnění kalu  
= velký objem pro usazení



Nadměrný rozvoj vláknitých  
organismů (*Sphaerotilus*  
apod.)

## Bakteriální rody vyskytující se v aktivovaném kalu

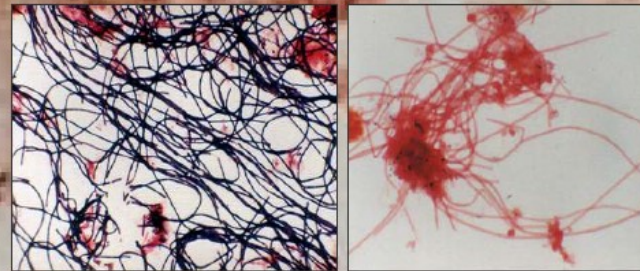
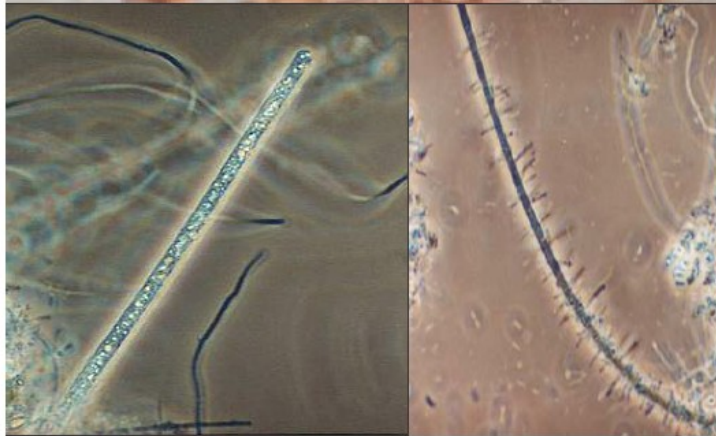
### Dominantní rody

### Akcesorické rody

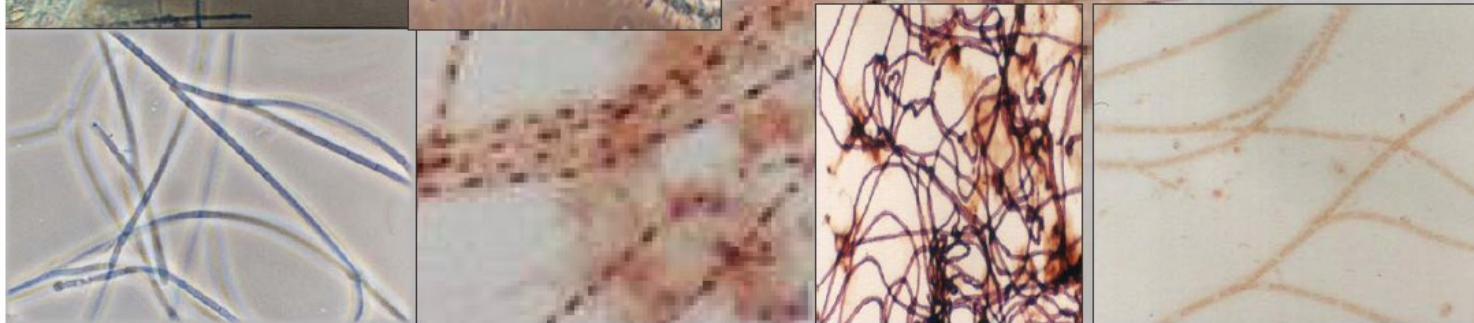
<i>Zooglea</i>	<i>Aeromonas</i>
<i>Pseudomonas</i>	<i>Aerobacter</i>
<i>Commomonas</i>	<i>Micrococcus</i>
<i>Flavobacterium</i>	<i>Spirillum</i>
<i>Alcaligenes</i>	<i>Acinetobacter</i>
<i>Brevibacterium</i>	<i>Gluconobacter</i>
<i>Bacillus</i>	<i>Cytophaga</i>
<i>Achromobacr</i>	<i>Hyphomicrobium</i>
<i>Corynebacterium</i>	
<i>Sphaerotilus</i>	

## Biologický rozbor (přítomnost vláken apod.)

*Identifikace do typů:* mikroskopická analýza (nativní a barvené),  
morfologické rysy: vzhled, větvení, pohyb, tvar, délka a průměr,  
pouzdro, charakter buněk, granule, růst epifytických bakterií



+ *Gramova a Neisserova reakce* -



## Vliv nálevníků na kvalitu odtoku z aktivačního systému

Parametry výtoku	Absence nálevníků	Přítomnost nálevníků
Celkové BSK (mg.l <sup>-1</sup> )	53-70	7-24
Rozpuštěné BSK (mg.l <sup>-1</sup> )	30-35	3-9
Suspendované látky (mg.l <sup>-1</sup> )	86-118	26-34
Počet kultiv. bakterií (10 <sup>6</sup> .ml <sup>-1</sup> )	160	1-9

## Kalový index

$$KI = V_k / X$$

kde  $V_k$  je objem aktivovaného kalu, který se usadí z 1 litru aktivační směsi po 1/2 hodině v Imhoffově kuželi,  $X$  je koncentrace kalové sušiny aktivační směsi ( $\text{g.ml}^{-1}$ ).



normální	$KI < 100 \text{ g.ml}^{-1}$
lehký	$KI = 100 - 200 \text{ g.ml}^{-1}$
zbytnělý	$KI > 200 \text{ g.ml}^{-1}$

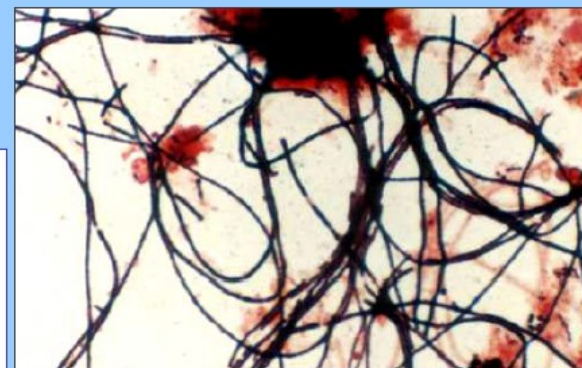
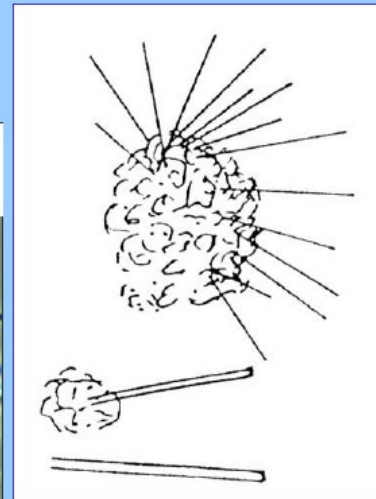
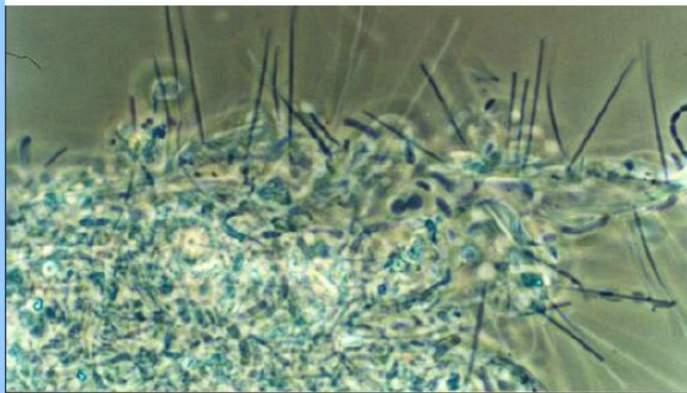


Imhoffův kužel

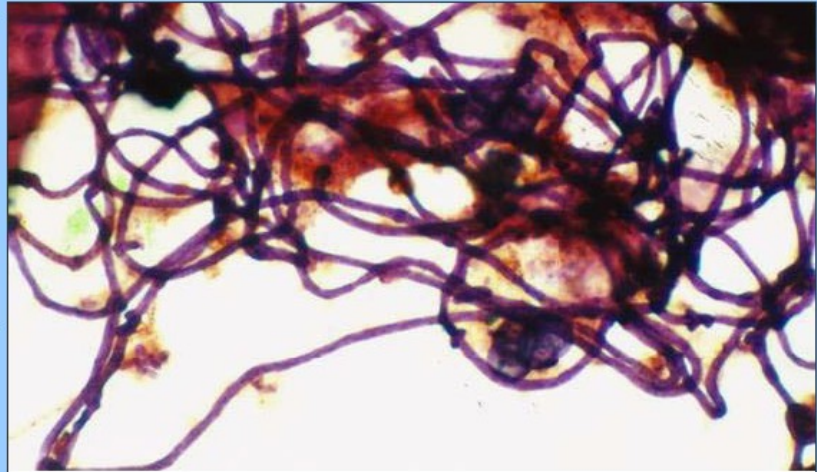
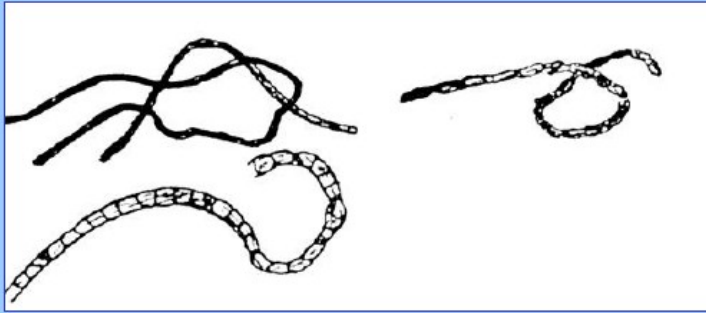


*Vláknité organismy na čistírnách  
odpadních vod*

*Haliscomenobacter hydrossis*

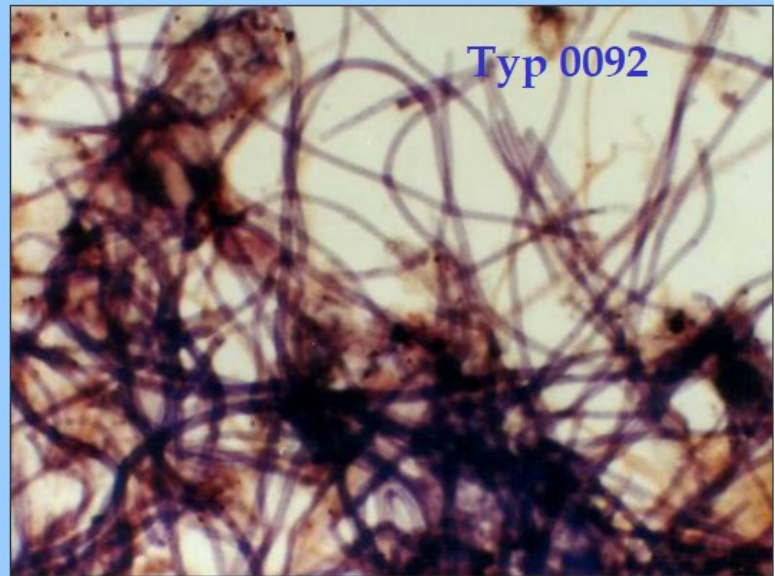
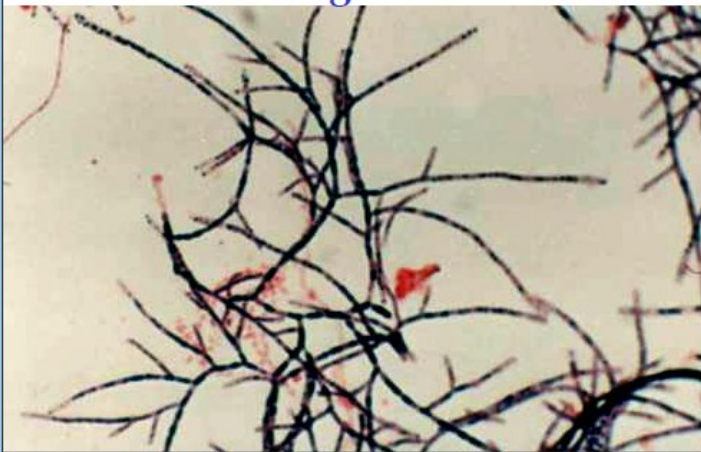


*Microthrix parvicella*

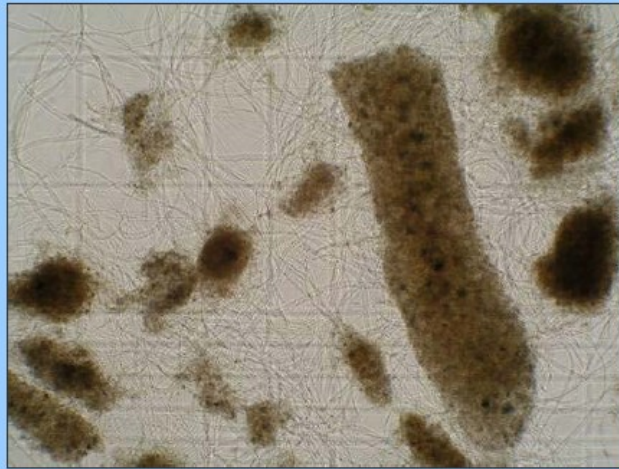
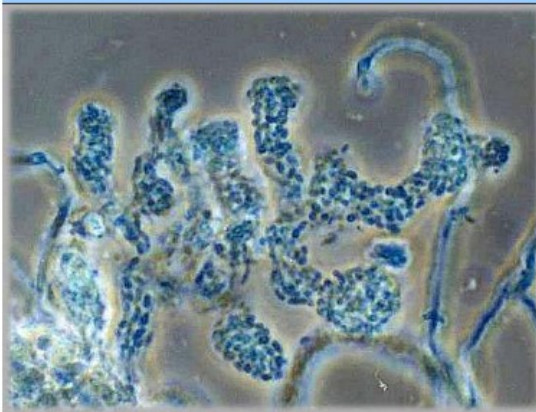
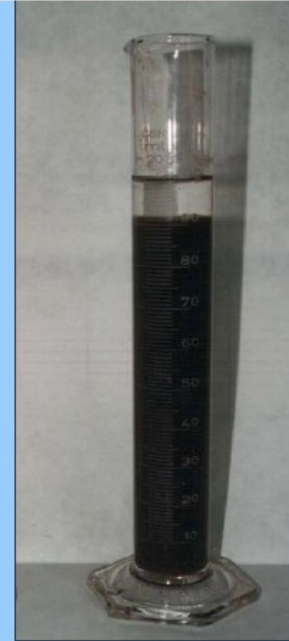
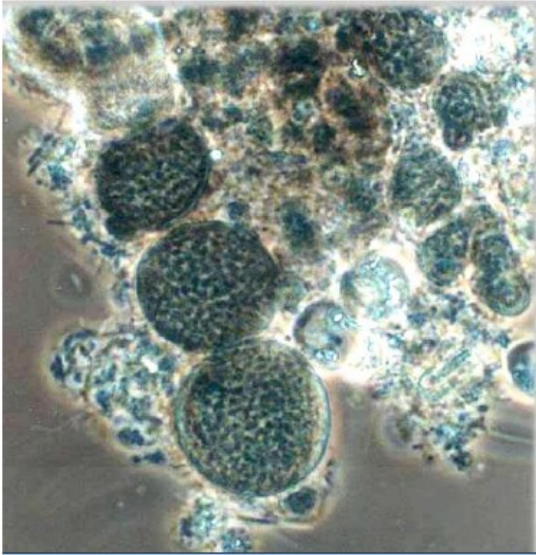


*Nostocoida limicola*

**GALO - *Gordona amarae* like organisms**

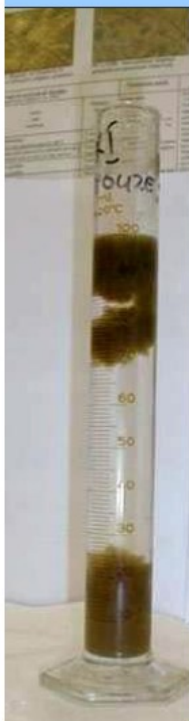


Typ 0092

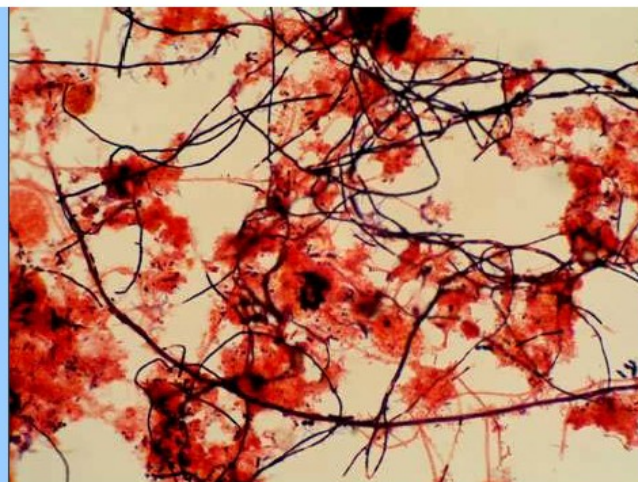


*Viskózní zoogleové  
bytnění*

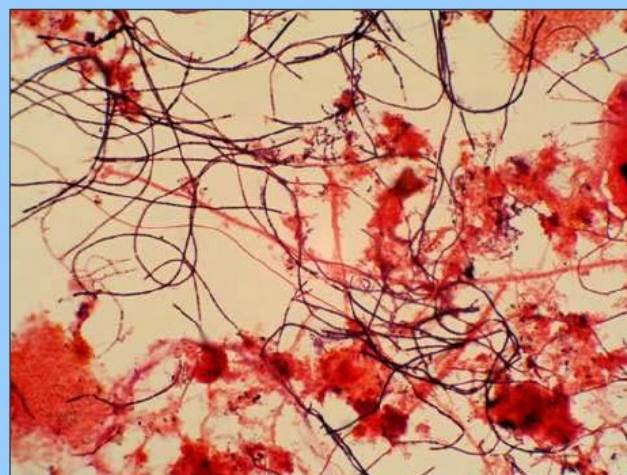
*Vláknité bytnění*

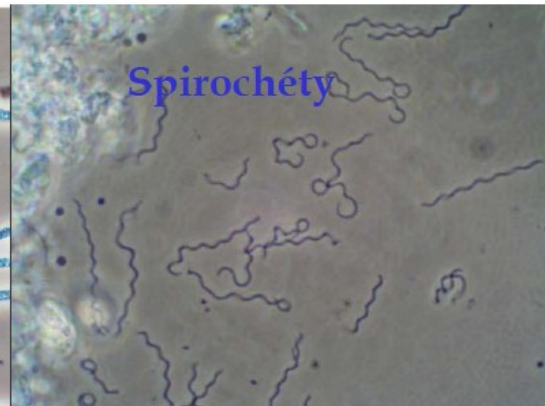
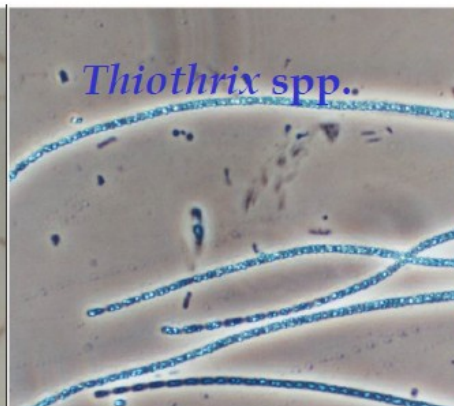


*Vzplývání  
aktivovaného kalu na  
hladině dosazovací  
nádrže*

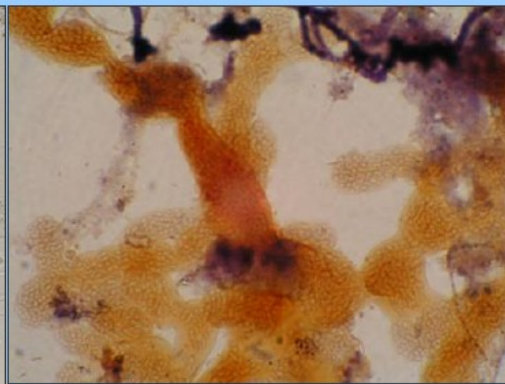


*Aktivovaný kal x Biomasa  
plovoucí na hladině*





*Indikace: snadno rozložitelné látky, nízká koncentrace kyslíku*



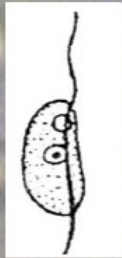
*Indikace: málo nutrientů, nízká hodnota pH*

## Biologické hodnocení charakteru aktivovaného kalu:

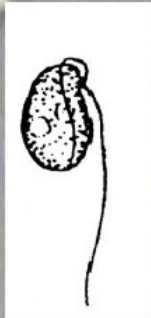
### Cenóza bezbarvých bičíkovců

Indikace: ↑ zatížení ↓ aerace, zkažený kal

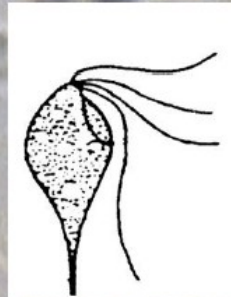
*Oicomonas*



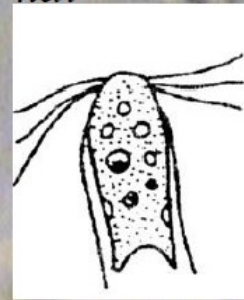
*Bodo*



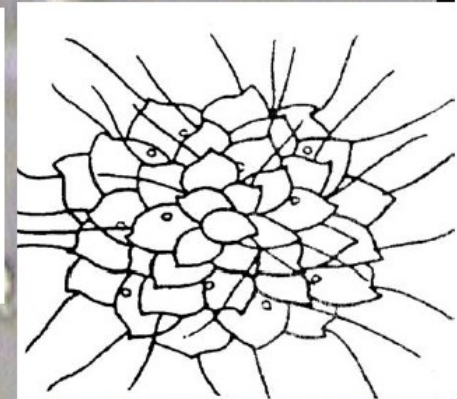
*Pleuromonas*



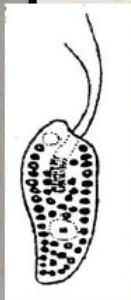
*Tetramitus*



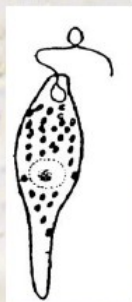
*Hexamitus*



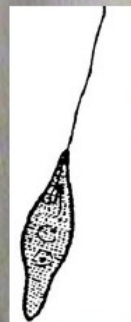
Indikace: ↓ zatížení ↑ vyčištěná voda



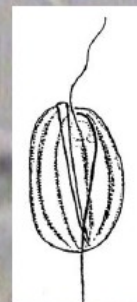
*Chilomonas*



*Astartia*



*Peranema*



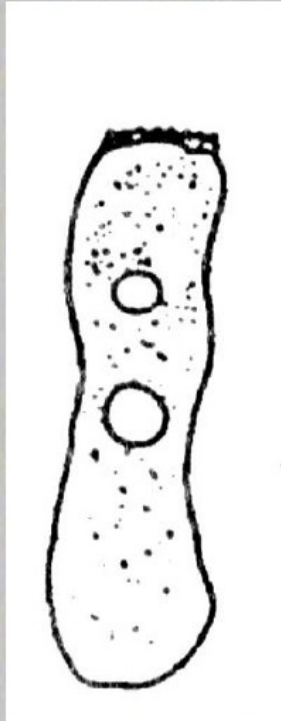
*Entosiphon*



odtoky

## Biologické hodnocení charakteru aktivovaného kalu:

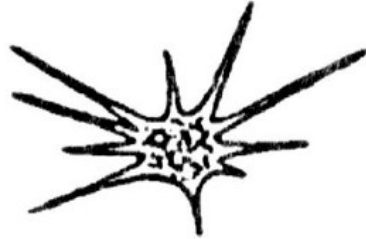
### *Cenóza nahých měňavek*



*Vahlkampfia limax*

Malé limax améby: indikace:  
období zapracování, ↑ zatížení či  
přetížení a nedočistěnou vodu

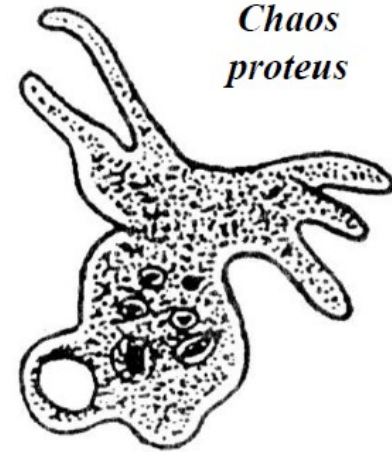
*Amoeba radiosa*



Hvězdicovité typy: indikace:  
↓ zatížení



*Chaos proteus*

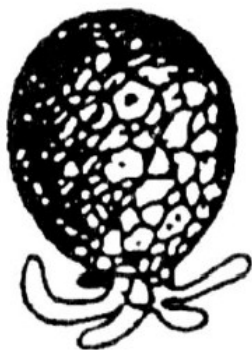


Velké typy: indikace:  
↓ zatížení aktivace  
s ↑ stářím kalu

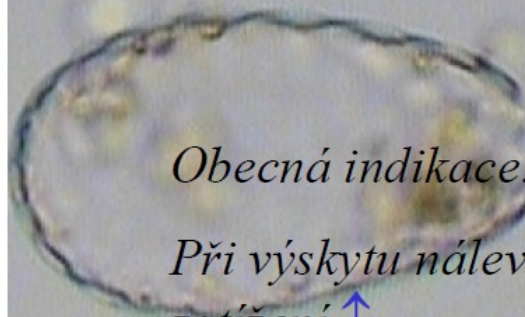
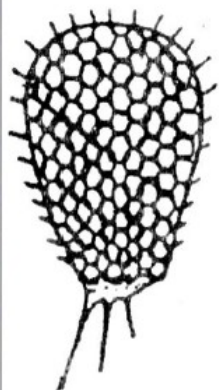
## Biologické hodnocení charakteru aktivovaného kalu:

### *Cenóza krytének*

*Diffugia limnetica*



*Euglypha ciliata*



Obecná indikace: ↓ zatížení

Při výskytu nálevníků *Aspidisca*  
zatížení ↑

*Arcella dentata*



Při výskytu nálevníků

*Euplotes*, *Vaginicolla*, *Stentor*  
spolu s vířníky rodu *Lecane*  
extrémně ↓ zatížení

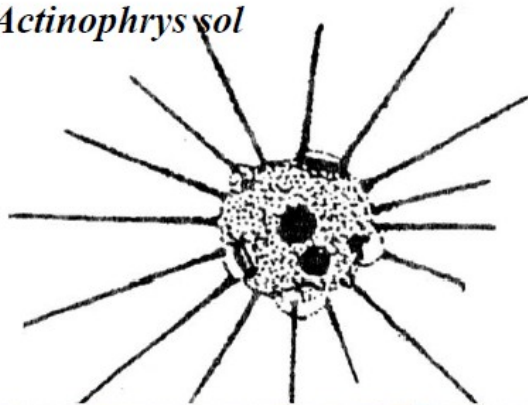


## Biologické hodnocení charakteru aktivovaného kalu:

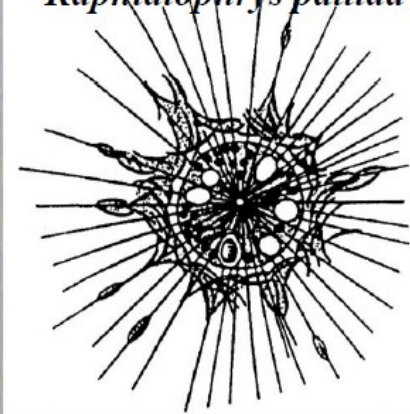
### *Cenóza slunivek*

Indikace: ↓ zatížení, výborná kvalita vyčištěné vody

*Actinophrys sol*



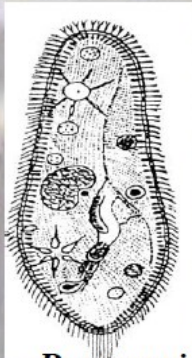
*Raphidiophrys pallida*



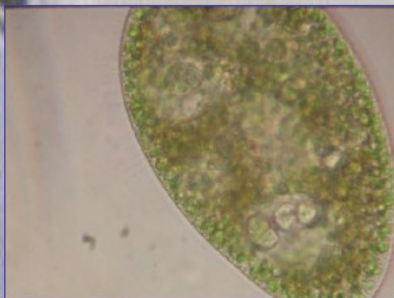
## Biologické hodnocení charakteru aktivovaného kalu:

### *Cenóza nálevníků*

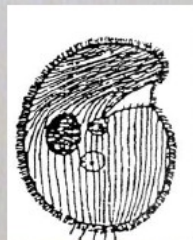
*Volně žijící nálevníci:* indikace: krátká doba zdržení, ↑ bakterií, přetížení a nedostatečná aerace, neúplné vyčištění odpadní vody - *Uronema*, *Colpidium*, *Glaucoma*, *Paramecium* a *Tetrahymena*



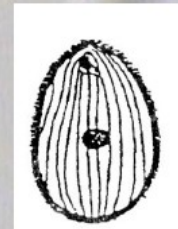
*Paramecium*



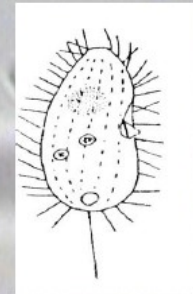
*Glaucoma*



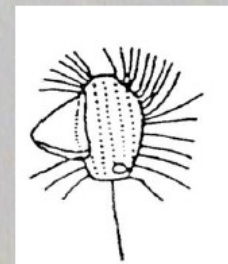
*Colpidium*



*Tetrahymena*



*Uronema*



*Cyclidium*

## Biologické hodnocení charakteru aktivovaného kalu:

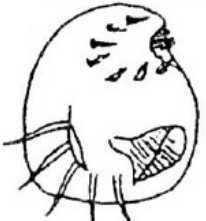
### *Cenóza nálevníků*

*Lezoucí nálevníci*: indikace: dobrý čistící účinek, ↓ bakterií, kvalitní odtok  
- *Aspidisca*, *Euplotes*, *Stylonichia*

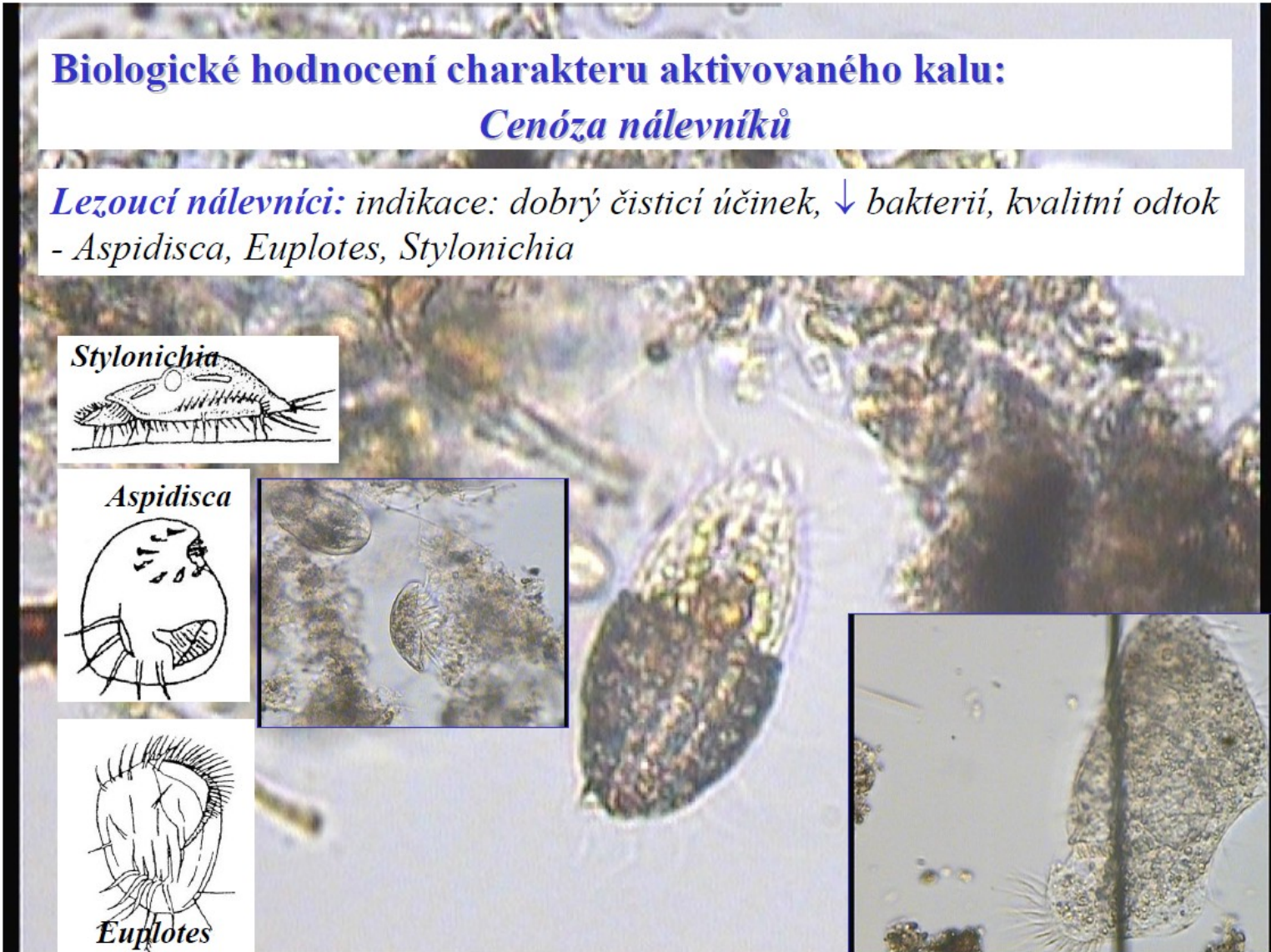
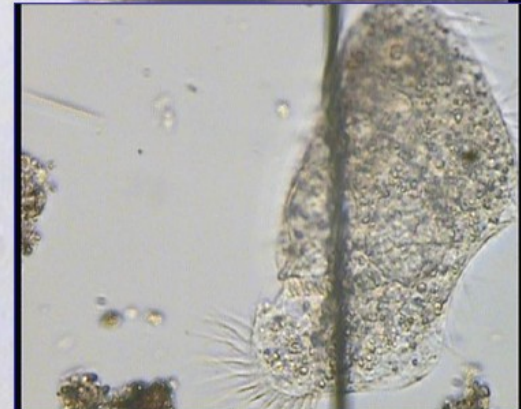
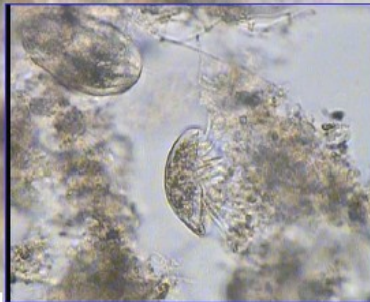
*Stylonichia*



*Aspidisca*

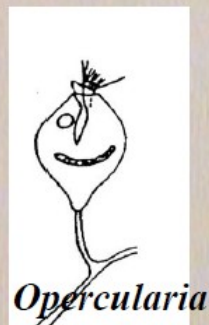
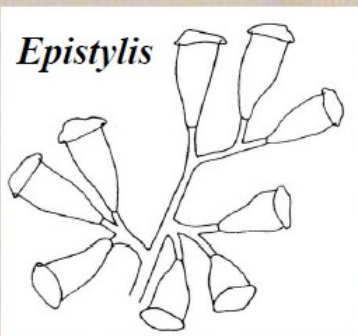
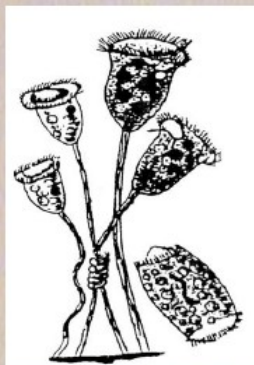
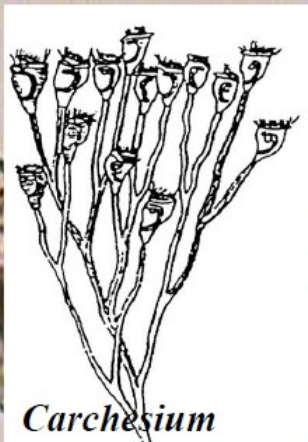


*Euplotes*



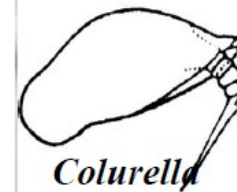
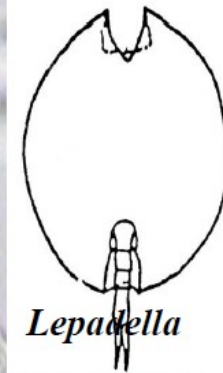
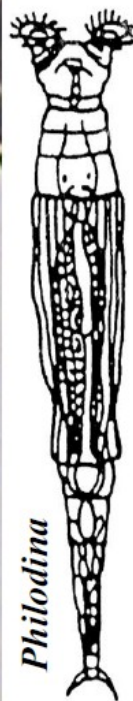
## Biologické hodnocení charakteru aktivovaného kalu: Cenóza nálevníků

*Přisedlí nálevníci: indikace: dobrý čistící efekt - Carchesium, Epistylis, Opercularia, Vorticella (x masový výskyt)*



## Biologické hodnocení charakteru aktivovaného kalu: *Cenóza vířníků*

Indikace: ↑ stáří kalu (*Rotaria*, *Philodina*, *Cephalodella*)  
*Lecane*, *Monostyla*, *Colurella* – indikace nejvyššího stupně vyčištění



**Protokol**

Mikroskopický rozbor a hodnocení aktivovaného kalu

1. Morfologie vloček /pozorování při zvětšení cca 100 x  
v počítací komůrce Z. Gyru, hloubka 100 μm/

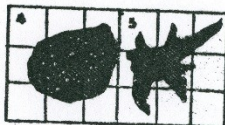
1.1. velikost :

1. velké
2. střední
3. malé



1.2 tvar :

4. sférický /2/
5. nepravidelný



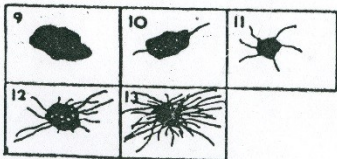
1.3. struktura :

6. pevná /kompaktní/
7. řídká /uvolněná/
8. přemostování /propojení vláknitými mikroorganismy/



1.4. viditelné organismy ve vločkách

9. žádné
10. ojedinělé
11. roztroušené
12. hojně
13. velmi hojně



2. Biocenóza /pozorovaná v komůrce při zvětšení 100 x /.

Zástupci hlavních skupin organismů ,

četnost vyjádřená stupnicí : 0 - nepřítomné, 1 - ojediněle,  
2 - roztroušené , 3 - hojně, 4 - velmi hojně, 5 masově.

	Zoogloea ramifera Četnost:		Bezbarví bičíkovci Četnost:		Vorticella microstoma Četnost:
	Sphaerotilus Četnost:		Colpidium Četnost:		Carchesium polypinum Četnost:
	Spirillum Četnost:		Paramecium Četnost:		Epistylia nebo Opercularia Četnost:
	Beggiatota Četnost:		Aspidisca Četnost:		Podophrya Četnost:
	Amoeba Četnost:		Vorticella convallaria Četnost:		Rotaria Četnost:

3. Stav biocenózy /na začátku mikroskopování, t.j. vylou-

žit vliv teploty, nedostatku kyslíku, tlaku krycího sklíčka/

Aktivní, zdravá :

Poškozená :

Mrtvá :

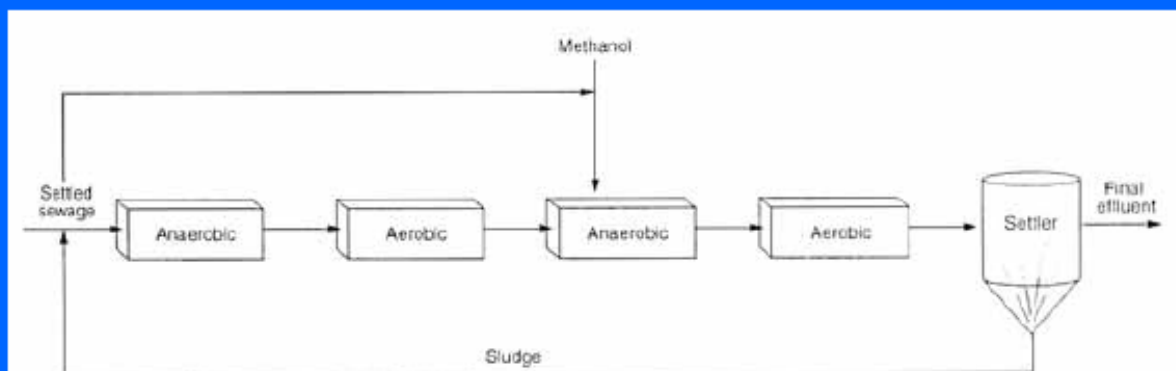
4. Závěr pozorování :

Neliší se od posledního odběru :

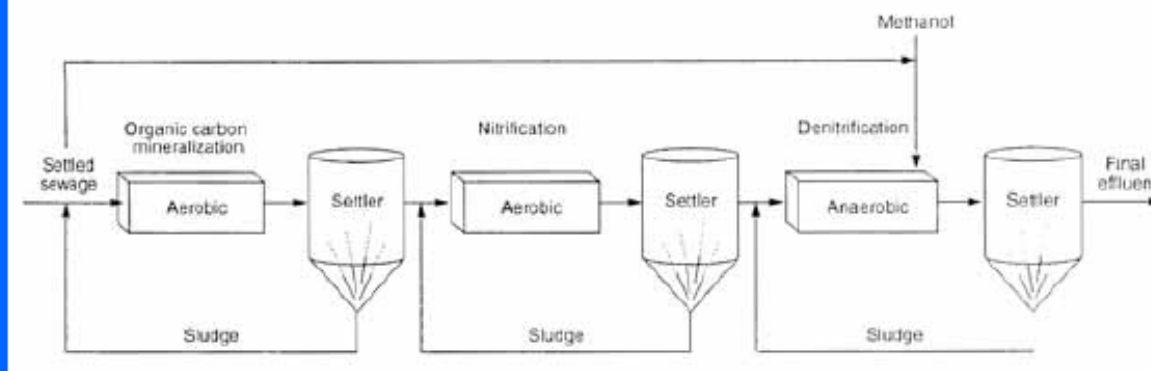
Výrazně se liší /v čem/ :

ZJIŠTĚNÍ ZÁŠKRTNĚTE !

## Různé způsoby uspořádání aktivačního procesu zahrnujícího aerobní a anaerobní čištění pro odstraňování dusíku a redukcí BSK



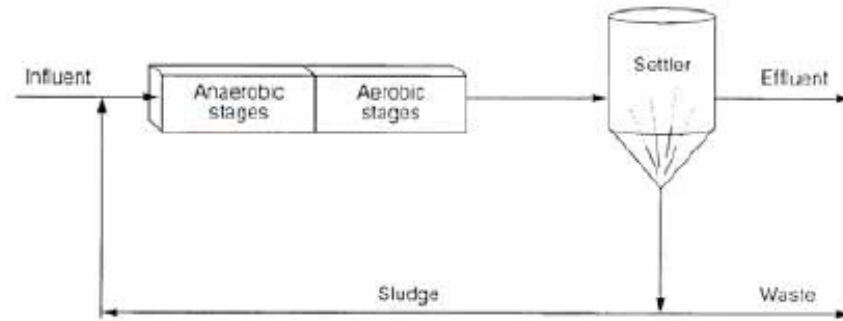
Jednoduchý systém se sérií anaerobních a aerobních nádrží



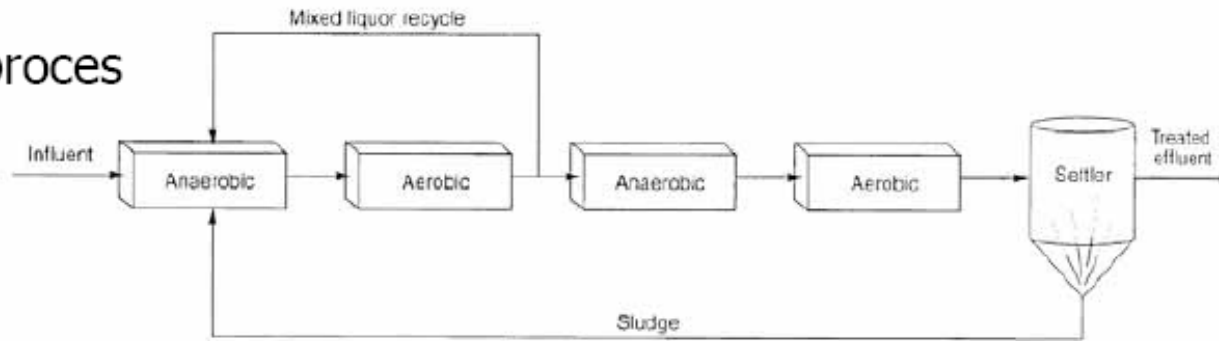
Multisystém se 3 oddělenými reaktory pro aerobní dekompozici organického uhlíku, aerobní nitrifikaci a anaerobní denitrifikaci

# Modifikovaný aktivační proces s odtraňováním fosforu z odpadní vody

A/O proces

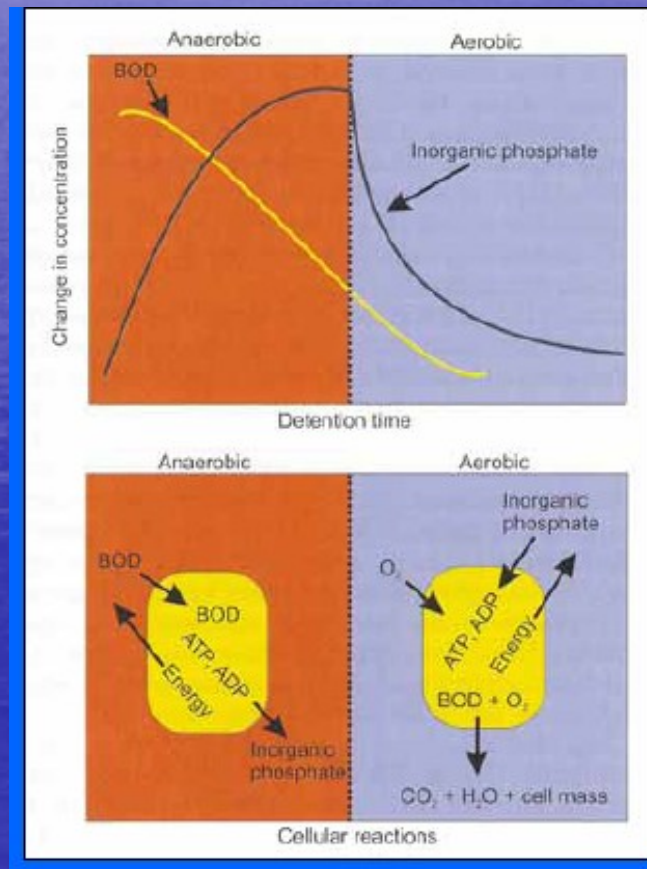


Bardenpho proces



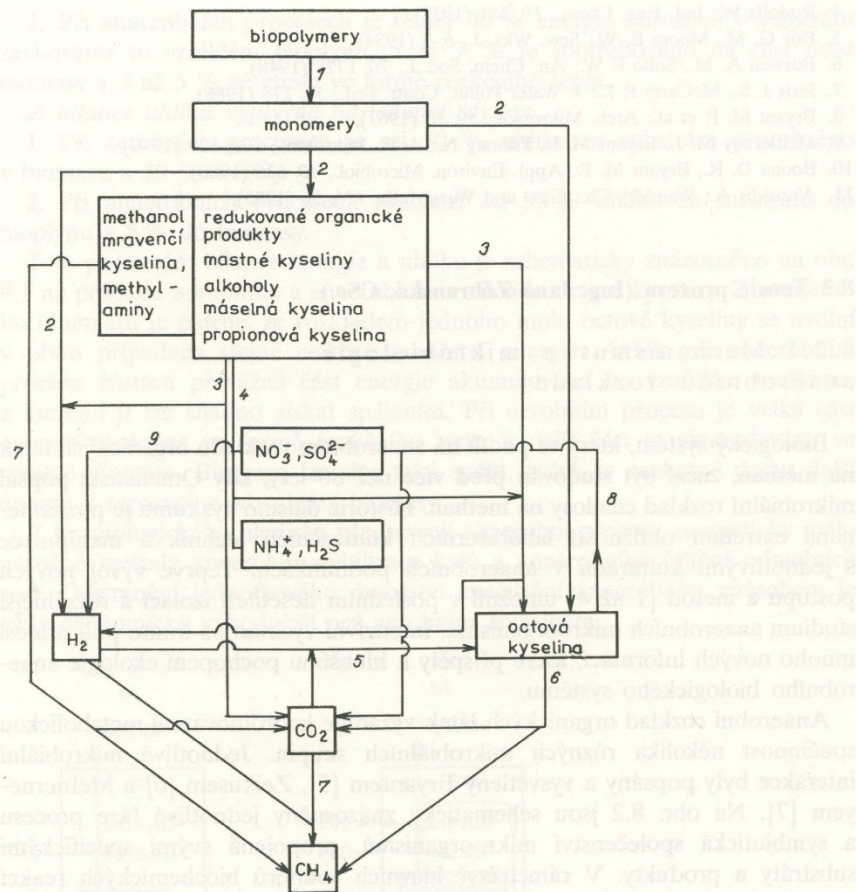


# Odstraňování fosforu – kombinace anaerobních a aerobních procesů



# Anaerobní způsoby čištění komunálních odpadních vod

- Extenzivní způsoby
  - Žumpy
  - Septiky
- Intenzivní způsoby
  - Přímé čištění odpadních vod
  - Likvidace – mineralizace kalů z ČOV



Obr. 8.2 Schéma anaerobního rozkladu organických látek

1 – hydrolyza organických polymerů (bílkoviny, tuky, polysacharidy) na jednotlivé monomery (aminokyseliny, organické kyseliny a glycerol, monosacharidy), 2 – acidogenese – přeměna organických monomerů na vodík, oxid uhličitý, máselnou, propionovou a octovou kyselinu a další nízkomolekulární látky jako ethanol, mléčná kyselina apod. (oxid uhličitý není v kapalném prostředí přítomen, okamžitě se rozpouští a reaguje s vodou za vzniku hydrogenuhlíčanů), 3 – acetogenese – oxidace redukováných organických produktů na vodík, oxid uhličitý a octovou kyselinu acetogenními mikroorganismy produkujícími vodík, 4 – oxidace redukováných organických produktů na oxid uhličitý a kyselinu octovou denitrifikačními a desulfurikačními baktériemi, 5 – acetogenní respirace oxidu uhličitého a vodíku homoacetogenními mikroorganismy, 6 – methanogenese z octové kyseliny acetotrofními methanogenními mikroorganismy, 7 – methanogenese z jednouhlikatých substrátů, oxidu uhličitého a vodíku hydrogenotrofními mikroorganismy, 8 – oxidace octové kyseliny na oxid uhličitý denitrifikačními a desulfurikačními baktériemi, 9 – oxidace vodíku denitrifikačními a desulfurikačními baktériemi.

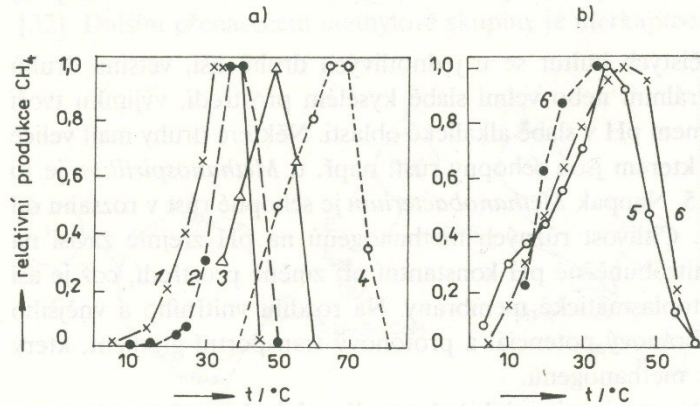
Všechny tyto procesy by měly být v dynamické rovnováze, aby mohla methanogenese probíhat maximální rychlostí [8]

# Methanové bakterie

Tabulka 8.4 Specifické substráty methanogenních bakterií

Substrát	Druh organismu
H <sub>2</sub>	<i>Methanobacterium bryantii</i> , <i>M. formicicum</i> , <i>M. thermoautotrophicum</i> <i>Methanobrevibacter arboriphilus</i> , <i>M. ruminantium</i> , <i>M. smithii</i> <i>Methanococcus mazei</i> , <i>M. vanniellii</i> , <i>M. voltae</i> <i>Methanomicrobium mobile</i> <i>Methanogenium cariaci</i> , <i>M. marisnigri</i> <i>Methanospirillum hungatei</i> <i>Methanosarcina barkeri</i>
HCOOH	<i>M. formicicum</i> , <i>M. ruminantium</i> , <i>M. smithii</i> , <i>M. vanniellii</i> , <i>M. voltae</i> <i>M. mobile</i> , <i>M. cariaci</i> , <i>M. marisnigri</i> , <i>M. hungatei</i>
CO	<i>M. barkeri</i> , <i>M. thermoautotrophicum</i>
CH <sub>3</sub> OH	<i>M. mazei</i> , <i>M. barkeri</i>
CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> , (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH, (CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	<i>M. mazei</i> , <i>M. barkeri</i>
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> -N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	<i>M. barkeri</i>
CH <sub>3</sub> COOH	<i>M. mazei</i> , <i>M. barkeri</i> , <i>Methanotherix soehngenii</i>

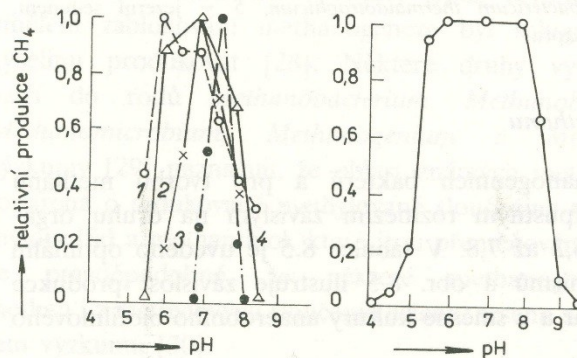
# Podmínky procesů



Obr. 8.4 Závislost produkce methanu na teplotě [31]

a – pro jednotlivé druhy methanogenních bakterií, b – pro směsné kultury z anaerobního reaktoru a z jezerního sedimentu (jezero Mendota)

1 – *Methanobrevibacter arboriphilus*, 2 – *Methanotherix soehngeni*, 3 – *Methanobacterium therautotrophicum*, 4 – *Methanobactericum therautotrophicum*, 5 – jezerní sediment, 6 – směsná kultura anaerobního reaktoru



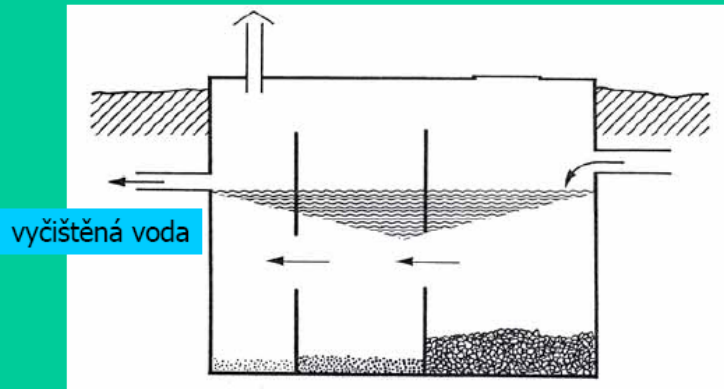
Obr. 8.5 Závislost produkce methanu na pH [31]

a – pro jednotlivé druhy methanogenních bakterií, b – pro směsnou kulturu anaerobního biofilmového reaktoru

1 – *Methanosarcina* sp., 2 – *Methanobrevibacter arboriphilus*, 3 – *Methanotherix soehngeni*, 4 – *Methanococcus mazei*

# Biologický septik

Biologický septik



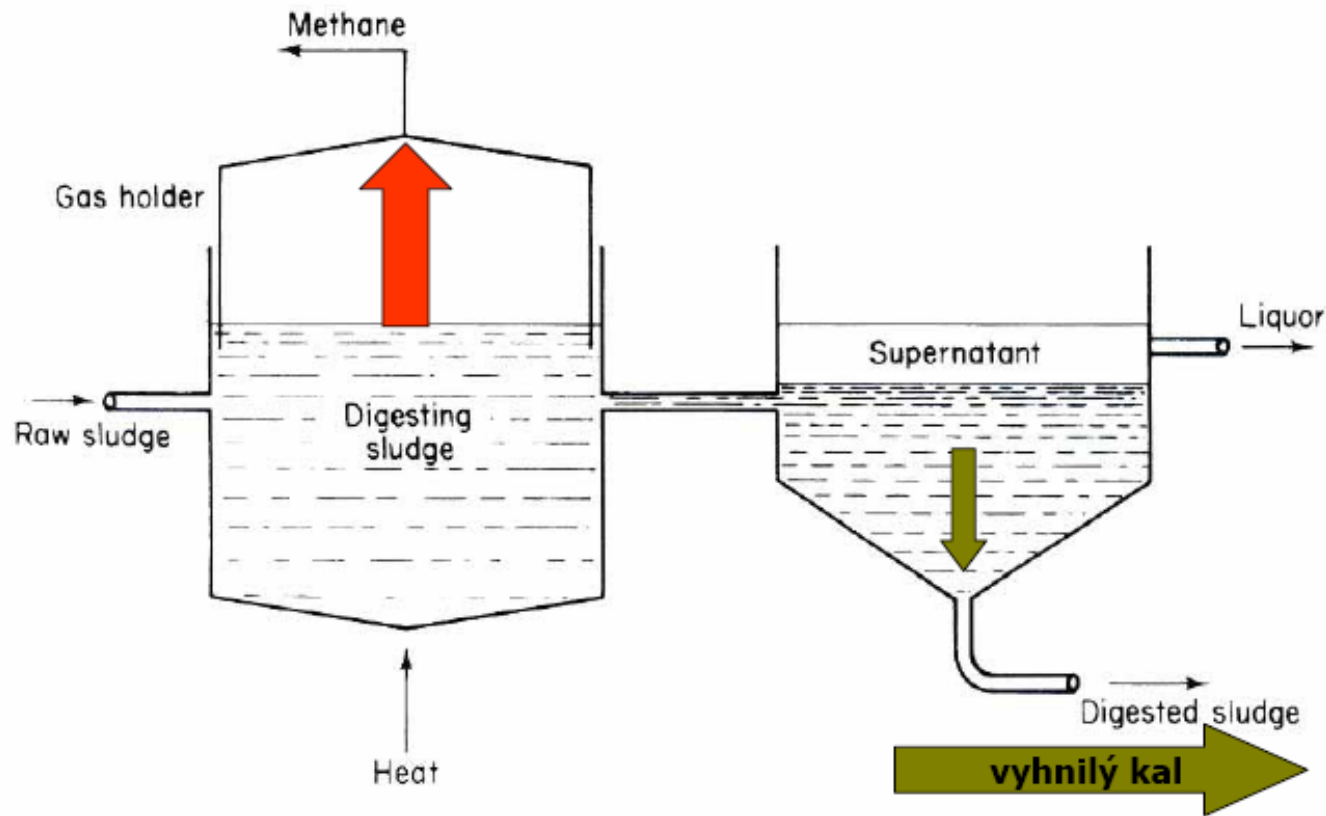
vyčištěná voda

lehký kal    pevné částice

Domovní sestava septik-zemní filtr



## Anaerobní stabilizace kalu



**Stabilizací kalu** rozumíme rozklad jeho lehce odbouratelných látek, tj. mineralizaci

Předpokládá se, že v průběhu anaerobní stabilizace klesne obsah organické sušiny kalu asi o 45-65 %.

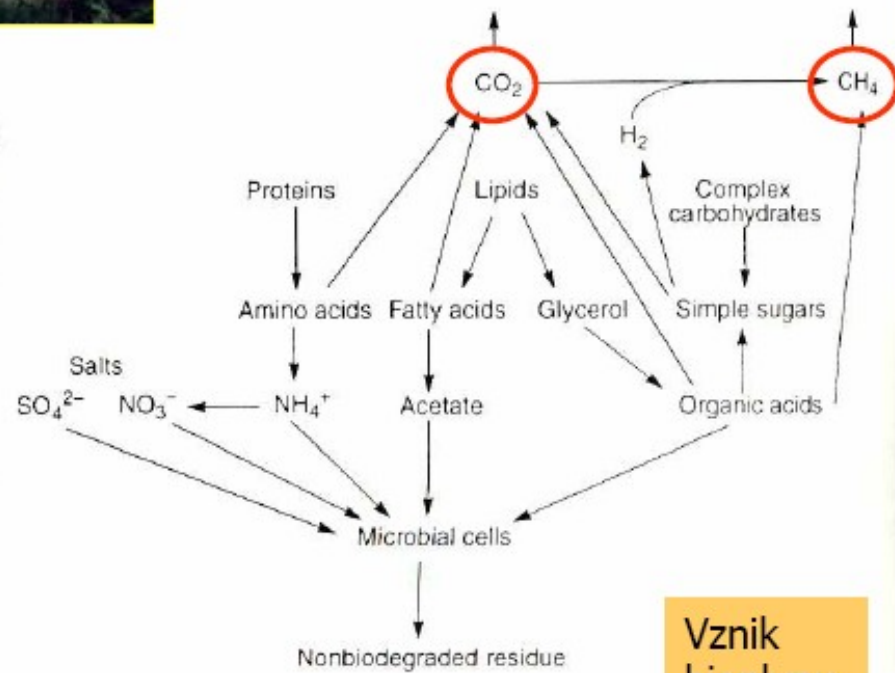
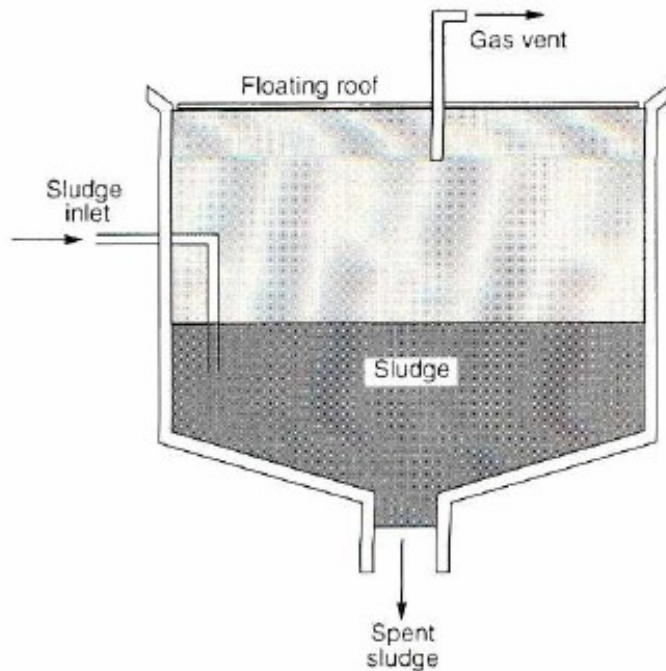


Plynojem



**Bioplyn**

CH<sub>4</sub> (65-75 %) a CO<sub>2</sub> (25-35 %)  
 menší množství H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>S



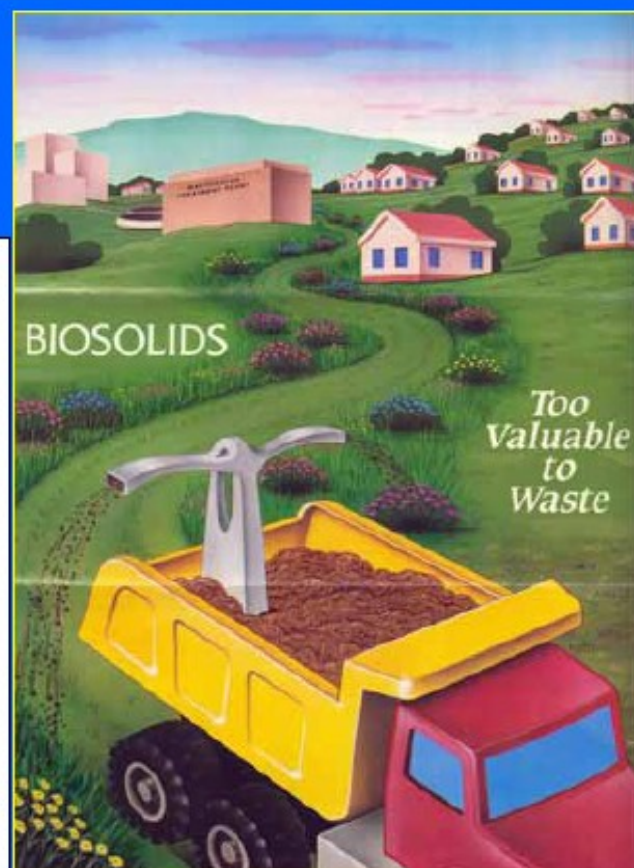
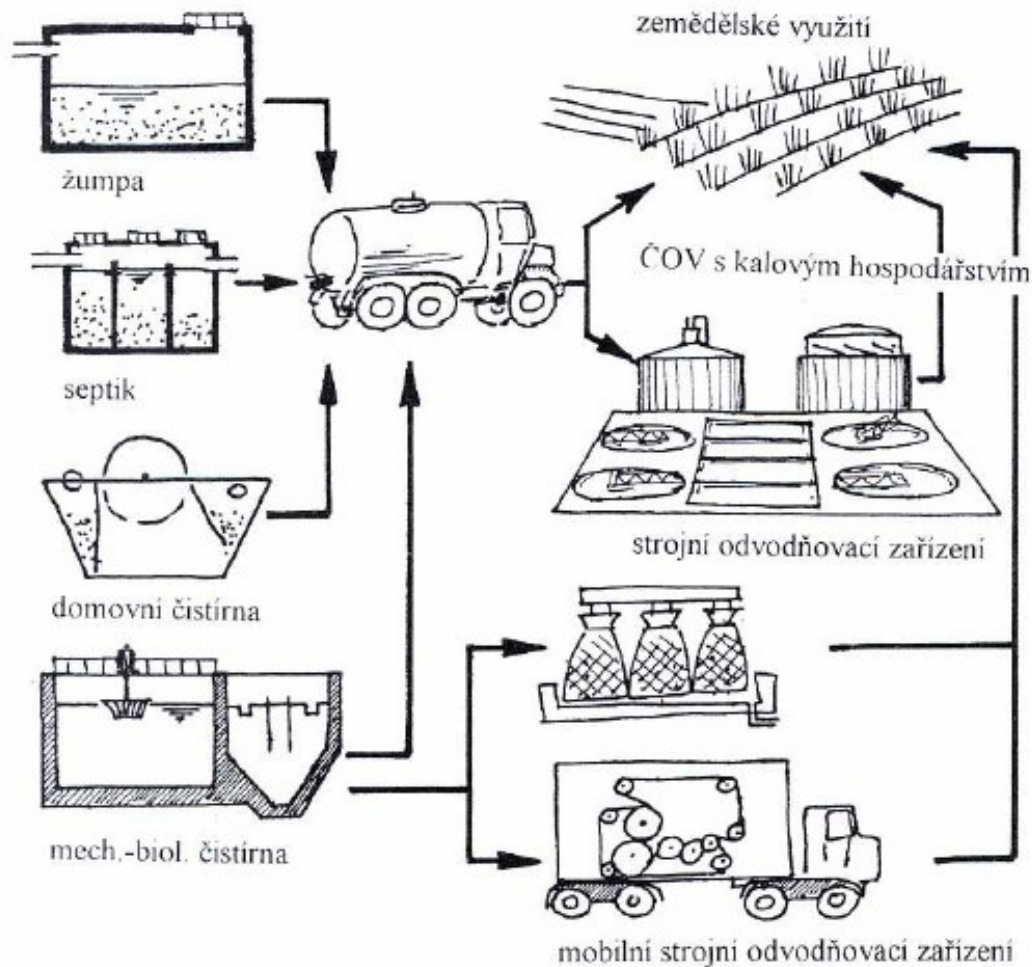
**Vznik bioplynu**



Vyhnilý, stabilizovaný kal – ČOV Olomouc



# Nakládání s kaly



# Chemické čištění průmyslových odpadních vod

- Neutralizační reakce
- Srážecí reakce
- Adsorpce a absorpce
- Flotační metody
- Iontové metody

# Chemicko – fyzikální čištění odpadních vod

- Vody s vysokým obsahem inhibujících nebo toxických látek
- Vody biochemicky nečistitelné – hodnoty BSK významně menší než hodnoty CHSK
- Vody obsahující choroboplodné zárodky

# Flotační čistírny

- **Flotace** je separační proces, používaný pro oddělení dispergovaných částic z kapaliny, při které se tyto částice spojují s mikrobublinami plynu za vzniku flotačních komplexů lehčích než voda a vynášených tedy k její hladině. Dispergované částice mohou být tuhého i kapalného skupenství, tedy tvořící suspenze nebo emulze. Vzniku mikrobublin (optimální velikost 10 až 100  $\mu\text{m}$ ) dosáhneme různými způsoby, mezi hlavní patří:
  - snížení tlaku v systému = vakuová flotace
  - jemnobublinné provzdušnění = volná flotace
  - expanze vody nasycené vzduchem při zvýšeném tlaku = tlaková flotace
  - denitrifikační pochody v biomase za vzniku plynného dusíku = biologická flotace
  - přidavek chemikálií uvolňujících plyn = chemická flotace
  - elektrolýzou vody = elektroflotace

# Filtrační metody

- Jako filtrace označujeme proces, při němž jsou částice zachycovány na přepážce nebo ve vrstvě materiálu. Nutnou podmínkou je průchodnost disperzního materiálu (např. vody) přes filtr. Při filtraci nedochází zpravidla k chemické reakci mezi filtračním materiálem a látkami disperzního prostředí. Filtrací lze z vodné (kapalné) disperze odstranit částice suspendované, příp. emulgované, tedy větší než cca  $1 \mu\text{m}$ . Při tom se rozlišují podle velikosti průlin, určujících průchodnost částic česle a síta ( $1 \text{ mm}$ ), mikrosíta ( $10 \mu\text{m}$ ) a mikrofiltry ( $0.1 \mu\text{m}$ ). Speciálními filtračními postupy s použitím polopropustných membrán lze docílit zachycení částic řádově menších. U mikrofiltrace bývá velikost částic zachycených na mikrofiltrech cca od  $1 \mu\text{m}$ . Pro poměrně velký odpor filtračního média je třeba použít při filtraci zvýšený tlak. U mikrofiltrů probíhá filtrace ve filtrační vrstvě, tvořené různými materiály.
- *Dělicí metody na principu polopropustných membrán*
  - Základem těchto postupů jsou polopropustné membrány, propouštějící molekuly vody (disperzum) a podle typu membrán pak jen další částice určité velikosti nebo určitého elektrického náboje. V přírodě jsou takovými membránami buněčné blány organismů. Pro účely uvedené níže jsou vyráběny uměle.
- *Ultrafiltrace*
  - je vhodná pro zachycení částic od cca  $5 \mu\text{m}$  do  $0,1 \mu\text{m}$ , což odpovídá molekulám o molekulové hmotnosti od 10 000 do 100 Da. Je tedy vhodná pro čištění koloidních roztoků, např. olejových emulzí, pro separaci hydroxidů kovů, vyloučených v koloidní formě apod. Podobně jako u mikrofiltrace je principem separace tzv. screeningový efekt, tj. mechanické zachycení částic větších než je velikost pórů.
- *Nanofiltrace*
  - Je vhodná pro zachycení částic velikosti přibližně od 1 do 10 nm, odpovídající relativní molekulové hmotnosti 200 až 20 000 Da, tedy řady rozpustných organických sloučenin, jako jsou cukry a částečně i soli. Propustnost solí je výrazně vyšší než u reverzní osmózy.

# Sedimentace

- Teoreticky lze sedimentací separovat částice větší než 4  $\mu\text{m}$ , u nichž ustává Brownův pohyb. Prakticky lze použít sedimentaci pro separaci suspendovaných částic větších než 10  $\mu\text{m}$ , spíše však větších než 50  $\mu\text{m}$ . V technologii vod se rozlišují suspenze tvořené z částic zrnitých a vločkovitých. U prvních nemění částice při usazování svůj tvar; patří sem suspenze hlinito-jílovitých částic, kaolinu, uhelného prachu, částic rudy a některé anorganické sraženiny, jako je  $\text{CaCO}_3$ . U vločkovitých suspenzí netvoří pevné částice s kapalinou ostré rozhraní. Na částici v klidné kapalině působí proti sobě síly:
  - 1) tíhová
  - 2) vztlaková (dle Archimedova zákona)
- Podle výsledné síly se částice pohybuje - je-li hustota větší než je hustota kapaliny, sedimentuje, je-li menší, pohybuje se směrem k hladině (flotuje). Při těchto pohybech na ni působí další síla - tření, a to opačného směru než je pohyb částice. Výsledná síla při sedimentaci:
  - $F = F_g - F_v - F_r = V_s \cdot g (\rho_s - \rho_f) - F_r$  ;
  - kde  $F_g$  je síla gravitační,  $F_v$  je vztlak,  $F_r$  je tření odporem prostředí,  $V_s$  je objem suspendované částice,  $g$  je gravitační zrychlení  $[9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}]$ ,  $\rho_s$  je hustota suspendované částice,  $\rho_f$  je hustota vody (kapaliny).

# Stripování

- Stripováním jsou z kapaliny odháněny proudem procházejícího plynu těkavé látky. Pro tento účel lze použít vzduch, kouřové plyny a vodní páru. Stripováním lze odstranit z vody těkavé látky:
  - a) organické
    - alifatické a aromatické uhlovodíky
    - jejich chlorované a nitrované sloučeniny
    - fenoly a jejich deriváty
    - pesticidy
  - b) anorganické sloučeniny v jejich nedisociované formě
    - amoniak, sulfan, oxid uhličitý, kyanovodík



# Další metody

- *Chemická koagulace nebo čerění*
  - Používá se pro odstranění jemně dispergovaných (koloidních) částic (jemná vlákna a barviva v textilním a papírenském průmyslu, olejové emulze atd.).
- *Sorpční pochody*
  - Jako sorbentů se využívá aktivní uhlí, škvára, popílek
- *Extrakce*
  - Extrakce je postup, kterým se z jedné kapaliny převádí látka do jiné kapaliny na základě rozdílné rozpustnosti této látky v obou kapalinách. Jednou kapalinou bývá obvykle vodný roztok, druhou jiné rozpouštědlo, zpravidla organické, které se s vodou nemísí, což je podmínkou úspěšné extrakce. Čím je rozpustnost látky v tomto rozpouštědle větší než ve vodě, tím je extrakce účinnější.
  - Protřepeme-li vodný roztok látky s extrahovadlem, dojde k rozdělení látky mezi extrahovadlo a vodu v poměru, který vyjadřuje tzv. rozdělovací koeficient:  **$K_r = c_e/c_v1$**  ;
    - kde  $c_e$  je koncentrace látky v extrahovadle a  $c_v1$  je koncentrace látky ve vodném roztoku.

# Čiření

- Čiření je proces používaný pro odstranění koloidních, příp. jemně suspendovaných částic z vody. Jeho podstatou je převedení malých částic na větší, které lze separovat sedimentací, filtrací apod. Tohoto cíle se dosáhne destabilizací koloidních částic a vytvořením podmínek pro jejich spojování (aglomeraci). Prostředkem k tomu je přidavek sloučenin zvaných **koagulanty** a proces destabilizace se nazývá koagulací. Koagulanty, příp. produkty vzniklé jejich reakcí s vodou mají koloidní charakter a za vhodných podmínek se shlukují neboli koagulují spolu s koloidními a suspendovanými částicemi obsaženými ve vodě za vzniku hrubé disperze, z níž lze suspendované částice odstranit mechanickými způsoby. Aglomerace koloidních částic do mikrovloček a následně do objemných vloček se nazývá **flokulace**. Lze ji urychlit přidavkem látek, zvaných flokulant neboli pomocné koagulanty. Často se celý proces koagulace, flokulace a separace nazývá čiření nebo koagulace.
  - Nejobvyklejší anorganické koagulanty jsou soli železa a hliníku. jejich přidavkem do vody dochází k hydrolýze za tvorby příslušných hydroxidů:
    - $\text{Fe}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}^+$
    - $\text{Al}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}^+$
    - $\text{Fe}^{2+} + 2 \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2 \text{H}^+$
- Obvyklými koagulanty, používanými při chemickém čiření jsou: síran hlinitý  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , síran železitý (obchodní název Prefloc)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ , bezvodý chlorid železitý  $\text{FeCl}_3$  aj.

# Neutralizační čistírny

- Čištění kyselých nebo zásaditých odpadních vod; přídavek činidla opačných vlastností upravuje reakci vody (pH) do normálních mezí. Častěji se vyskytují kyselé odpadní vody, které se obvykle neutralizují přídavkem vápna ve formě vápenného mléka. Neutralizační čistírny se využívá i při čištění odpadních vod z povrchových úprav kovů, kde se nejedná pouze o úpravu pH, ale též o odstranění toxických kyanidů a těžkých kovů. Odpadní vody vypouštěné do veřejné kanalizace a do recipientů nesmí být ani příliš kyselé ani příliš zásadité. **Rozsah povoleného pH bývá od 6,0 do 8,5 až 9,0.** Pokud odpadní vody tento požadavek nesplňují, musí být předem **neutralizovány**. Neutralizační reakci lze vyjádřit rovnicí:
  - $HX + BOH = H_2O + BX$ ;
    - kde HY je kyselina a BOH je zásada. Produktem neutralizace je tedy voda a sůl.
- Neutralizační stanice pracují na principu
  - (1) odstavném - neutralizace se provede jednorázově v nádrži, jejíž obsah se pak vypustí nebo
  - (2) průtočném - neutralizace probíhá v průtočné nádrži průběžným přidáváním neutralizačních činidel.
- Běžná je neutralizace kyselých vod vápencem  $CaCO_3$ , magnezitem  $MgCO_3$ , dolomitem  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$  a páleným dolomitem  $CaCO_3 \cdot MgO$ . Podstatou probíhajících chemických reakcí je vytěsnění slabé kyseliny uhličitě z uhličitanu působením silnější kyseliny obsažené ve vodě:
  - $CaCO_3 + 2H^+ = Ca^{2+} + H_2O + CO_2$
- Analogicky reaguje magnezit a dolomit. Složka páleného vápence  $MgO$  reaguje takto:
  - $MgO + 2H^+ = Mg^{2+} + H_2O$

# Srážecí reakce

- Srážecími reakcemi lze převést některé látky z rozpuštěné formy do formy nerozpustné a pak je separovat od kapalného prostředí sedimentací, filtrací apod.. K vysrážení látky z vodného roztoku dochází z různých příčin. Např. bílkoviny při zvýšené teplotě, při změně pH koagulují a vyloučí se z roztoku. U anorganických sloučenin je nejčastější příčinou jejich vysrážení překročení tzv. součinu rozpustnosti, což je násobek molárních koncentrací v roztoku přítomných iontů, tvořících sloučeninu.
  - Běžné je srážení fosforečnanů. Pro jejich odstranění z vod se nejčastěji používá přídavek železité nebo hlinité soli, tvořící málo rozpustné fosforečnany  $\text{FePO}_4$ , resp.  $\text{AlPO}_4$ . V případě, že je voda dobře provzdušňována, lze použít rovněž železnatou sůl (síran), čímž je  $\text{Fe(II)}$  oxidováno na  $\text{Fe(III)}$ . Voda nesmí být příliš kyselá, neboť z kyselých roztoků se fosforečnany nevysrážejí. Vhodné je pH 8 až 9. Při vysoké koncentraci  $\text{OH}^-$  však dochází k vytěsňování fosfátových iontů ze sráženin do roztoku:
    - $\text{FePO}_4 + 3 \text{OH}^- = \text{Fe(OH)}_3 + \text{PO}_4^{3-}$
    - $\text{AlPO}_4 + 3 \text{OH}^- = \text{Al(OH)}_3 + \text{PO}_4^{3-}$
- Jako srážedla se používají nejčastěji síran nebo chlorid železitý, síran hlinitý, síran železnatý a hlinitan sodný. Všechny uvedené soli s výjimkou poslední okyselují vodné roztoky vlivem hydrolyzy, naopak přídavek hlinitanu alkalizuje roztok.

# *Ionexy*

- Jedná se o látky, které z roztoků diferencovaně zachycují určité látky (jejich ionty). Měníče iontů (ionexy) jsou vysokomolekulární látky, nesoucí na svém skeletu funkční skupiny, které jsou disociovatelné. Při disociaci těchto funkčních skupin se uvolňují jednoduché ionty, zvané protionty, kdežto funkční skupiny jsou pak nabitý nábojem opačným. Protionty jsou ke zbytku ionexu, nesoucího funkční skupiny, vázány nepřilíš pevnými vazbami opačných elektrických nábojů a jsou za vhodných podmínek vyměnitelné za jiné ionty, obsažené ve vodném roztoku, s nímž je ionex ve styku. Ionexy se dělí na:
  - a) katexy - u nichž je protiontem kation (nabitý kladně - obvykle  $H^+$ ,  $Na^+$ )
  - b) anexy - u nichž je protiontem anion (nabitý záporně - obvykle  $OH^-$ ,  $Cl^-$ )

# Osmotické metody

- *Reverzní osmóza*

- Reverzní neboli vratná osmóza je tlakový membránový proces pro oddělení částic v rozsahu 0.1 až 1 nm. Nutná tlaková diference před a za membránou je 1 až 10 MPa. Separační mechanismus je založen na rozdílech v rozpustnosti a difúzi rozpouštědla a rozpuštěných látek v membráně. V ideálním případě propouští membrána jen rozpouštědlo.

- *Dialýza*

- Principem dialýzy je prostup malých molekul a iontů membránou vlivem koncentračního rozdílu na obou stranách membrány. Slouží především k oddělení solí - soli procházejí membránou do ředícího roztoku, v němž musí být udržována jejich nízká koncentrace. Dialýza tedy slouží k oddělení nízkomolekulárních látek, nikoliv k jejich zakoncentrování.
  - **Elektrodialýza** - využívá bipolárních membrán, tj. membrán propouštějících selektivně jen kationty nebo jen anioty.